

Ilya Prigogine
a Isabelle Stengersová
Řád z chaosu

Nový dialog člověka s přírodou

Předmluva Alvin Toffler

MLADÁ FRONTA

Tato kniha je věnována památce

Ericha Jantsche
Aharona Katchalského
Pierra Résiboise
Léona Rosenfelda

Copyright © 1984 by Ilya Prigogine and Isabelle Stengers

The foreword „Science and Change“ copyright © 1984 by Alvin Toffler
This book may not be reproduced in whole or in part,
by mimeograph or any other means, without permission.

Translation © Jan Pichal, 2001

ISBN 80-204-0910-6

Předmluva **Věda a změna**

Alvin Toffler

Jednou z nejrozvinutějších schopností současné západní civilizace je umění pitvat, schopnost dělit problémy do co nejmenších částí. V tom jsme dobří. Umíme to tak dobře, že často zapomeneme tyto části složit opět dohromady.

Tato schopnost pitvat je asi nejvíce ceněna v oblasti vědy. Problémy zde nejen rutinně rozebíráme na části, které pak ještě dále dělíme, ale každou z nich často ještě šikovně oddělujeme od jejího okolí. Říkáme *ceteris paribus* - za jiných okolností stejné. Nedbáme na složité vzájemné působení našeho problému se zbytkem vesmíru.

Ilya Prigogine, který získal za své práce o termodynamice nerovnovázných systémů v roce 1977 Nobelovu cenu, se však s pouhým „pitváním“ problémů nespokojil a významnou část svého života zasvětil „zpětnému skládání částí dohromady“. Částmi jsou v tomto případě biologie a fyzika, nezbytnost a příležitost, věda a lidskost.

Ilya Prigogine se narodil v Rusku v roce 1917 a byl od deseti let vychováván v Belgii. Je to podsaditý muž s šedými vlasy, ostře řezanými rysy a s velkou energií. Protože se hluboce zajímá o archeologii, umění a historii, přistupuje k vědě s pozoruhodně všestranným nadshledem. S manželkou Marinou, inženýrkou, a synem Pascalem žije v Bruselu. V Bruselu pracuje i mezioborová skupina, která intenzivně zkoumá důsledky jeho úvah v oblastech tak vzdálených, jako je sociální chování kolonií mravenců, šíření reakcí v chemických systémech a disipativní procesy v kvantové teorii pole.

Prigogine každoročně stráví několik měsíců ve středisku pro statistickou mechaniku a termodynamiku na Texaské univerzitě v Austinu, jež nese jeho jméno „Ilya Prigogine Center for Statistical Mechanics and Thermodynamics of the University of Texas“. Nobelovu cenu, která ho zřetelně potěšila, ale i překvapila, obdržel za svou práci o „disipativních strukturních“ vznikajících při nelineárních procesech v nerovnovázných systémech. Spoluautorkou knihy je Isabelle Stengersová, filosofka, chemička a historička vědy, která po určité době pracovala v Prigoginově skupině v Bruselu. Nyní pracuje v Paříži, kde spolupracuje s Musée de la Vilette.

Knihou *Řád z chaosu* vytvořili mezník, dílo, které je diskutabilní a současně podněcuje k úvahám o problémech, jež zpochybňují většinu našich základních předpokladů a zároveň k nim nabízejí nový, neotřelý přístup.

Kniha *Řád z chaosu* vyšla v roce 1979 ve Francii pod názvem *La nouvelle alliance* (*Nová aliance*). Její vydání vyvolalo nádhernou otevřenou vědeckou diskusi mezi odborníky z oblastí tak rozdílných, jako je entomologie nebo literární kritika.

Je ukázkou americké izolovanosti a kulturní domýšlivosti, že tato kniha, která je vydávána ve dvanácti jazycích, tak dlouho hledala cestu přes Atlantik. Zpoždění s sebou přineslo i něco dobrého, neboť toto vydání zahrnuje i Prigoginovy nejnovější výzkumné výsledky týkající se druhé věty termodynamiky, kterou uvádí do nových souvislostí.

Ze všech těchto důvodů je *Řád z chaosu* něčím jiným než ostatní knihy. Je pákou k tomu, aby se věda změnila, pákou, která nás nutí přezkoumat její cíle, metody a teorii poznání – celý její pohled na svět. Konečně je i symbolem dnešní historické přeměny vědy, kterou žádná informovaná osoba nemůže pomíjet.

Někteří učenci líčí vědu jako poháněnou její vlastní vnitřní logikou, jako vyvíjející se podle vlastních zákonů, žijící mimo okolní svět ve „skvělé izolaci“. Ale mnoho vědeckých domněnek, teorií, metafor a modelů (pomineme-li ty, které vědci vybrali ke studiu nebo pro zanedbání různých problémů) je utvářeno ekonomickými, kulturními a politickými vlivy mimo laboratoře.

Neminím zde položit rovnítko mezi charakterem společnosti a panujícím vědeckým světovým názorem nebo „paradigmatem“. A stále méně bych vědu vykazoval do nějaké „superstruktury“, kupíci se kolem sociálněekonomické „základny“, jak jsou zvyklí činit marxisté. Věda není „nezávislou proměnnou“, ale je otevřeným systémem ve společnosti se silnou zpětnou vazbou. Je mocně ovlivňována vnějším okolím a její rozvoj je obecně spoluutvářen významnými myšlenkami kulturního prostředí.

Vezměme si myšlenky, které v sedmnáctém a osmnáctém století tvořily základnu „klasické vědy“ nebo „newtonismu“. Zobrazovaly svět, v němž každá událost byla určena počátečními podmínkami, které

* Paradigmata – všeobecně uznávané výsledky vědeckého výzkumu, které jistý čas slouží společenství odborníků jako modely problémů a jejich řešení. (T. S. Kuhn: *Struktura vědeckých revolucí*, Pravda, Bratislava 1982)

byly zpravidla předem přesně vymezené. Byl to svět, v němž neměla místo náhoda, v němž do sebe všechny části zapadaly jako kolečka kosmického stroje.

Přijetí tohoto mechanistického názoru se ztotožňovalo s počátkem technologického a kulturního rozvoje společnosti. „Boží hry v kostky“ stěžejí postačovaly k vysvětlení skutečnosti, že „věk strojů“ nadšeně přijímal za své vědecké teorie zobrazující celý svět v podobě stroje.

Tento světový názor přivedl Laplace k známému tvrzení, že mít dostatek faktů, mohli bychom nejen předpovídat budoucnost, ale i zpětně určovat minulost. A tato podoba jednoduchého, stále stejného mechanického světa nejen utvářela vývoj vědy, ale rozšířila se i do mnoha jiných oblastí. Tvůrce americké ústavy ovlivnila natolik, že vytvořili vládní mechanismus s vyváženými pravomocemi zapadajícími do sebe jako kolečka v hodinkách. Když se kancléř Metternich vydal na cestu za vytvořením rovnováhy sil v Evropě, měl opis Laplaceova spisu s sebou v zavazadle. Obrovský rozmach průmyslové společnosti s jejími hlasitě řinčícími stroji, s jejími zásadními technickými objevy, nástupem železnice a vznikem nových výrobních odvětví, jako ocelářství, textilní a automobilový průmysl, se zdál pouze potvrzovat představu světa jako „technického všemůla“.

Dnes se však věk strojů se skřipáním zastavuje (pokud období může skřipat – a náš svět rozhodně skřípe). A úpadek průmyslového věku nás nutí, abychom se střetli s nepříjemnými omezeními skutečnosti pojaté jako stroj.

Samozřejmě, že se většina těchto omezení neobjevila až nyní. Představa, že svět je hodinovým strojem, že planety věčně obíhají, že všechny systémy pracují podle předem daných požadavků (tedy deterministicky) v rovnováze, že všechny podléhají obecně platným zákonům, které by mohl odhalit vnější pozorovatel, tento model se ocitl ve zničující palbě již v okamžiku svého vzniku.

Na počátku devatenáctého století termodynamika zpochybnila mechanistickou představu světa neovlivňovaného časem. Tvrdila, že je-li svět obrovským strojem, vyčerpává se únikem užitečné energie. Takový stav by byl neudržitelný, a čas proto získal nový význam. Darwinovi následovníci brzy přišli s protichůdnou myšlenkou: svět-stroj by se mohl zpomalovat, ztrácet energii a uspořádání, nicméně biologické systémy by *narůstaly* a stávaly by se více, nikoliv méně organizovanými.

Na počátku dvacátého století to byl Einstein, komu se podařilo včlenit pozorovatele zpět do systému. Stroj vypadal odlišně, a pro všechny praktické účely, v závislosti na tom, kde jste v něm stáli, *byl* vskutku

odlišný. Avšak stále ještě šlo o deterministický stroj a Bůh „nehrál v kostky“. A zastánci kvantové teorie a zastánci principu neurčitosti napadali model krumpáči, motykami, palicemi a dynamitovými náložemi.

Avšak přes všechna pro a proti je třeba přiznat, tak jako to učinili Prigogine a Stengersová, že paradigma stroje je pro fyziku stále „vztažným bodem“ a základním modelem vědy obecně. Jeho vliv je nadále tak silný, že mnoho společenských věd, a zvláště ekonomika, zůstávají v jeho zajetí.

Význam této knihy nespočívá pouze ve věcné kritice newtonovského modelu, ale že ukazuje, jak je přes mnohá omezení stále platný, a dokládá, že newtonismus je slučitelný s širším vědeckým obrazem skutečnosti. Ukazuje, že staré „univerzální“ zákony nejsou univerzální ve všem, ale že je lze užít jen pro omezené oblasti „reality“. A přihodilo se, že těmto oblastem věda věnovala největší úsilí.

Prigogine a Stengersová v široce pojatých ukázkách dokazují, že tradiční věda měla ve „věku strojů“ sklon k zdůrazňování stability, řádu, stejnorodosti a rovnováhy. Sama se zajímala především o uzavřené systémy a lineární vztahy, v nichž „malé“ vstupy poskytují stále stejné „malé“ výsledky.

S přechodem od průmyslové společnosti, založené na mohutných vstupech energie, kapitálu a práce, k společnosti vysoce technologické, v níž jsou rozhodujícími prostředky informace a inovace, nepřekvapuje, že by se měly objevit i nové vědecké modely světa.

Tím, co Prigoginův přístup činí tak zajímavým, je skutečnost, že přesouvá pozornost k těm rysům současnosti, které vykreslují dnešní překotné společenské změny: zmatek, nestálost, různorodost, nerovnováhu, nelineární vztahy (v nichž „malé“ vstupy mohou vyvolat rozsáhlé následky) a časovost – zvýšenou citlivost k toku času.

Práce Ilyi Prigogina a jeho kolegů z tzv. Bruselské školy mohou představovat příští revoluci ve vědě, neboť vstupují do dialogu nejen s přírodou, ale též se společností.

Myšlenky Bruselské školy, vycházející z Prigoginova díla, přispívají k nové jednotné teorii změny.

Souhrmně a zjednodušeně řečeno, jejich zastánci mají za to, že některé části vesmíru mohou pracovat jako stroje. Stroje jsou ale uzavřené systémy a ty v nejlepším případě tvoří jen malou část fyzikálního vesmíru. Většina jevů, které nás zajímají, jsou ve skutečnosti *otevřené* systémy s výměnou energie nebo hmoty (dodejme – i informaci) s oko-

lím. Biologické a společenské systémy jsou nepochybně otevřené, což znamená, že pokusy o jejich pochopení na základě mechaniky jsou odsouzeny k nezdaru.

To navíc naznačuje, že valná část reality, místo aby byla uspořádaná, stabilní a rovnovážná, kypí a bublá změnami, neuspořádaností a ději.

Vyjádřeno v Prigoginových pojmech, všechny systémy obsahují pod-systémy, které neustále kolísají, „fluktuují“. Občas se některé jednotlivé zakolísání nebo jejich kombinace může následkem kladné zpětné vazby stát tak silným, že silně naruší nebo zničí předcházející uspořádání. V tomto převratném okamžiku, který autoři nazývají „singularitou“ nebo „bifurkačním* bodem“, je předem nemožné určit vnitřní vývoj změny – zda se systém rozpadne v „chaos“, nebo přeskočí do nově, více rozlišené, vyšší úrovně „řádu“ či uspořádání, kterou nazývají „disipativní strukturou“. (Takovému fyzikální nebo chemické struktury jsou nazývány disipativními, protože ve srovnání s jednoduššími strukturami, které nahrazují, potřebují k svému udržení více energie.)

Základní rozpor tohoto pojetí souvisí s tím, že Prigogine neústupně trvá na představě, že řád a uspořádanost mohou skutečně vzniknout „samovolně“ z chaosu „samospořádáním“.

K pochopení této neobvykle nosné myšlenky musíme nejprve rozlišovat mezi systémy, které jsou v „rovnováze“, „blízko rovnováhy“ a „silně nerovnovážné“.

Představte si primitivní domorodý kmen. Jsou-li počty jeho nově narozených a zemřelých členů v rovnováze, zůstává četnost této populace stálá. Předpokládáme-li odpovídající potravinové a další zdroje, je kmen částí místního systému v rovnováze s daným životním prostředím.

Nyní počet nově narozených narůstá. Několik nově narozených navíc (bez odpovídajícího počtu úmrtí) má jen malý vliv. Systém se může „posunout“ do stavu, který je blízký „rovnovážnému“ stavu. Nic významnějšího se nestane. K vyvolání rozsáhlých následků v systémech, které jsou v rovnováze či v její blízkosti, je třeba většího otřesu.

Pokud by měl počet nově narozených najednou prudce vzrůst, systém se posune daleko od „rovnovážného“ stavu do oblasti „silně nerovnovážných“ podmínek, v níž převažují nelineární vztahy. Systémy se zde chovají „podivně“. Stávají se neobyčejně citlivými k vnějším vlivům. „Malé“ vstupy mají obrovské a zarážející následky. Celý systém se může přetvořit způsoby, které nás uchvacují svou bizarností.

* bifurkace–větvení řešení (pozn. překl.)

V této knize je uvedeno mnoho příkladů „samopřetváření“. Teplo stejnoměrně procházející kapalinou náhle, za jistých podmínek, vytvoří konvekční tepelný tok, který kapalinu pronikavě přetváří, a miliony molekul se náhle, jakoby na pokyn, formují do hexagonálních buněk.

Ještě nápadnější jsou Prigoginem a Stengersovou popisované „chemické hodiny“. Představte si milion bílých míčků na stolní tenis, které jsou v nádrži s průhledným okénkem náhodně promíchány s milionem dalších stejných míčků, tentokrát černých. Míčky v nádrži chaoticky poskakují. Po většinu času vidíme v okénku šedou „masu“, ale tu a tam, v naprosto nepravidelných okamžicích, v závislosti na okamžitě rozdělení míčků v blízkosti okénka, se směs může jevit jako černá nebo bílá.

Nyní si představte, že okénko bude náhle celé bílé, potom celé černé a potom opět bílé, a změny barev budou dále a dále v pravidelných intervalech pokračovat podobně jako tikání hodin.

Proč se všechny bílé a všechny černé míčky najednou uspořádají tak, aby se barvy pravidelně měnily?

Tento stav by podle všech tradičních pravidel vůbec neměl nastat. Ale necháme-li míčky stranou a podíváme se na molekuly v určitých chemických reakcích, zjistíme, že přes všechno, co nám klasická fyzika a Boltzmannovy pravděpodobnostní teorie říkají, může výše popsané samouspořádání či přetváření nastat – a dochází k němu.

V „silně nerovnovázných“ stavech dochází v prostoru a čase i k jiným, viditelně samovolným a často dramatickým přeměnám hmoty. A začneme-li uvažovat ve dvou či třírozměrných pojmech, počet a rozmanitost možných struktur prudce narůstá.

K doposud zmíněnému připojme další zjištění. Představte si stav, v němž chemická či jiná reakce vytváří enzym, jehož přítomnost „povzbuzuje“ jeho další vytváření. Jde o příklad toho, co by počítačovní odborníci nazvali smyčkou kladné zpětné vazby. V chemii se nazývá „autokatalýzou“. V anorganické chemii jsou podobné stavy vzácné. Molekulární biologové však v posledních desetiletích zjistili, že takové smyčky (společně s inhibitory či „negativní“ zpětnou vazbou a složitějšími katalytickými procesy „s křížovým průběhem“) jsou samy o sobě podstatou života. Tyto procesy nám pomáhají vysvětlit, jak od malých molekul/fragmentů DNA dospíváme k složitým živým organismům.

Obecněji vzato, malé poruchy či odchylky mohou při „silně nerovnovázných“ podmínkách systému zesílit do obrovských, struktury rozbíjejících vln. Tato skutečnost vrhá světlo na všechny „kvalitativní“ nebo „revoluční“ změny v procesech. Spojíme-li nové poznatky ziska-

né studiem „silně nerovnovázných stavů“ a nelineárních dějů se složitými zpětnovazebními systémy, otvírá se cesta k novým přístupům, které umožňují propojit „reálné“ vědní obory s těmi „abstraktnějšími“, souvisejícími se životem a snad i s procesy ve společnosti.

(Taková zjištění mají přinejmenším obdobný význam pro sociální, ekonomickou nebo politickou realitu. Slova jako „revoluce“, „zhroutení ekonomiky“, „převratné technologické změny“ a „změna přístupu“ nabývají nového významu, začneme-li o nich uvažovat v pojmech fluktuací, zpětnovazebního zesílení, disipativních struktur, bifurkací a dalších pojmů z Prigoginova slovníku.) A právě takové panoramatické výhledy nám *Řád z chaosu* otevírá.

Kromě toho je zde tajemnější, vše prostupující role času.

Součástí dnešní rozsáhlé revoluce ve vědě i v kultuře je i nové promýšlení času – a to si, dříve než se budeme zabývat Prigoginovou rolí v těchto úvahách, zaslouží krátkou zmínku.

Za příklad si vezmeme dějiny. Jedním z velkých příspěvků dějepisectví je Braudelovo trojí dělení času: na „čas zeměpisný“, v němž k událostem dochází během dlouhých období, epoch, dále na mnohem kratší „společenský čas“, jímž se měří ekonomiky, státy a civilizace, a na ještě kratší „čas individuální“, jímž se měří události v životě člověka.

Ve společenských vědách zůstává čas nezmapovanou oblastí. Antropologie nás učí, že kultury se výrazně odlišují ve způsobu, jak čas pojímají. Pro některé má čas cyklickou podobu – dějiny se ustavičně opakují. Pro jiné kultury včetně naší je čas spojnicí minulosti a budoucnosti, po které se pohybují lidé i celá společenství. A v dalších kulturách se na lidské životy pohlíží jako na neměnné v čase. Budoucnost se přibližuje k nám, místo abychom se my přibližovali k ní.

Každá společnost prozrazuje svou vlastní zaujatost časem, míru, v jaké zdůrazňuje minulost, přítomnost nebo budoucnost. Jedna žije minulostí, jiná může být posedlá budoucností.

Každá kultura a každá osoba mají navíc sklon uvažovat v pojmech „časových obzorů“. Někteří z nás myslí jen na bezprostřední současnost – dnešek. Například politici jsou často kritizováni za hledání bezprostředních, krátkodobých řešení. O jejich časových obzorech se říká, že jsou ovlivněny termínem příštích voleb. Jiní z nás plánují dlouhodobě. Tyto lišící se časové obzory jsou přezíraným zdrojem společenského a politického napětí, a přitom možná patří k tomu nejdůležitějšímu.

Přes rostoucí poznání, že kulturní chápání času se liší, se spolecenské vědy, pokud jde o koherentní teorii času, vyvinuly jen málo. Taková teorie by mohla zasahovat do mnoha oblastí, od politiky až po dynamiku společnosti a psychologii mezilidských vztahů. Mohla by například počítat s tím, co jsem ve *Future Shock (Budoucím otřesu)* nazval „trvalým očekáváním“ – naší kulturou vyvolaným předpokladem, jak dlouho budou jisté děje trvat.

Záhy se například naučíme, že čištění zubů by mělo trvat jen několik minut a ne celé ráno, nebo že když otec odchází do práce, odchází asi na osm hodin, nebo že „obvyklá doba jídla“ může trvat několik minut až hodin, ale nikdy ne rok. (Televizní program se svým dělením dne na pevné třiceti- či šedesátiminutové časové úseky naší představu trvání mírně upravuje, a tak běžně očekáváme, že hrdina v melodramatu získá dívku, nalezne peníze nebo vyhraje válku v posledních pěti minutách. V USA rovněž očekáváme, že se v pravidelných intervalech objevují reklamy.) Naše mysl je takových předpokladů trvání plná. Očekávání dětí se výrazně liší od představ dospělých a i zde jsou odlišnosti zdrojem rozporů.

V průmyslové společnosti jsou děti navíc „cvičeny v čase“ – učí se znát hodiny a učí se rozlišovat i krátké chvílky, jako když jim rodiče řeknou: „Máš už jen tři minuty na to, abys šel do postele!“ Pomalu žijící rolnická společenství tyto usilovně cvičené časové návyky zpravidla nemají, neboť ve svém denním rozvrhu nepotřebují takovou přesnost, jakou vyžaduje naše časem posedlá společnost..

Takové představy, které by zapadly do Braudelovy stupnice „společenského“ času a času „individuálního“, nebyly ve společenských vědách nikdy systematicky rozvíjeny. Nebyly významně zformulovány ani v našich vědeckých teoriích času, a to přesto, že jsou nezbytně spojeny s našimi předpoklady o fyzikální skutečnosti. A to nás znovu přivádí k Prigoginovi, jež představa času poutala od dětství. Jednou mi řekl, že byl ještě jako student překvapen obrovskými protiklady ve způsobu, jakým věda na čas pohlíží. Ve své práci se trvale k těmto protikladům vracel a čerpal z nich.

V modelu světa vytvořeném Newtonem a jeho následovníky byl čas dodatečnou myšlenkou. Okamžik byl bez ohledu na to, zda se týkal přítomnosti, minulosti nebo budoucnosti, považován za přesně stejný jako ostatní. Nekonečné obíhání planet, chod hodin nebo jednoduchého stroje může v zásadě probíhat v čase kupředu či nazpátek, aniž se změní podstata systému. Vědci z tohoto důvodu o čase v newtonovských systémech hovoří jako o „vratném“.

Avšak v devatenáctém století, v němž se hlavní pozornost fyziky přesunula od dynamiky k termodynamice a byla „vyhlášena“ druhá věta termodynamiky, se čas najednou ocitl ve středu pozornosti. Podle druhé věty termodynamiky dochází ve vesmíru k nevyhnutelným ztrátám energie. A pokud se stroj-svět skutečně vyčerpává, dobíhá a blíží k tepelné smrti, vyplývá z toho i to, že není okamžik, který by byl přesně stejný jako ten předcházející. Chod vesmíru nelze obrátit, abychom „nahradili“ entropii. Události se dlouhodobě nemohou opakovat. Znamená to směřování, které Eddington později nazval „šipkou“ času*. Ve skutečnosti celý vesmír stárne. A pokud tomu tak je, je čas jednosměrnou ulicí. Není již vratný, nýbrž nevratný.

Stručně řečeno, pokud jde o čas, věda se se vznikem termodynamiky rozštěpila. A co horšího, také ti, kteří na čas pohlíželi jako na nevratný, se brzy rozdělili do dvou táborů. Uspořádané struktury se poté, co ze systému unikala energie a oslabovala se schopnost systému podporovat je, drobily v méně uspořádané, zato náhodnější složky. Avšak právě uspořádání dává každému systému jeho vnitřní rozmanitost. Jakmile se s nárůstem entropie energie ze systému odváděla, omezovaly se i rozdily uvnitř systému. Druhá věta termodynamiky tak ukazuje směrem ke stále stejnorodější a z lidského hlediska pesimističtější budoucnosti.

Vezměme si problémy, které nastolil Darwin a jeho následovníci! Vždyť vývoj, místo aby směřoval k jednoduchému uspořádání a rozmanitosti, se ubírá opačným směrem; směřuje od jednoduchého ke složitějšímu, od „jednoduchých“ ke „složitějším“ formám života, od nerozlišených k rozlišeným strukturám. A z lidského hlediska vypadá vše optimisticky. Zároveň se stárnutím se vesmír stává „lépe“ uspořádaným, a jak čas postupuje, neustále se posouvá k vyšší úrovni.

Vědecké představy o čase lze v tomto smyslu shrnout jako „nesrovnalost v protikladu“.

Právě tyto paradoxy se Prigogine se Stengersovou jali objasňovat, ptají-li se: „Jaké je typické uspořádání, struktura dynamického systému, které umožňují „rozlišovat“ mezi minulostí a budoucností? Jakou minimální složitost to vyjadřuje?“

Odpovědí jim je, že čas vystupuje náhodně: „Pouze pokud se systém

* (arrow of time) Toto označení se používá v české fyzikální literatuře. Použijeme ho i v této knize, přestože by byl možný i překlad „ukazatel“ nebo „orientace“ času, jak se někdy užívá. I při překladu jiných pojmů budeme důsledně užívat české fyzikální normy. (pozn. překl.)

chová dostatečně náhodně, může se rozdílit mezi minulostí a budoucností, a tedy i nevratnost v popisu objevit.“

Děje v klasické nebo mechanistické vědě začínají „počátečními podmínkami“ a atomy nebo částice se pohybují „světem čar-trajektorií“. Ty lze sledovat buď zpětně do minulosti, nebo dopředu, do budoucnosti. Jde o opak určitých chemických reakcí, v nichž se například dvě kapaliny po nalití do stejné nádoby „prolínají“ tak dlouho, až je směs stejnorodá. Tyto kapaliny se samy zpětně neoddělí. Směs je v každém časovém okamžiku jiná a celý proces je „vázan na čas“.

V klasické vědě, přinejmenším v jejích počátečních obdobích, byly podobné procesy považovány za cosi zvláštního, za anomálie, které byly důsledkem vysoce nepravděpodobných počátečních podmínek.

I. Prigogine a I. Stengersová razí tezi, že taková časová závislost, „jednocestné“ děje nejsou ve světě, v němž je čas nevratný, pouhými odchylkami nebo anomáliemi. Mohlo by tomu být naopak a vratný čas spojený s „uzavřenými systémy“ (pokud něco takového ve skutečnosti vůbec existuje) by sám mohl být vzácným jevem nebo odchylkou.

A co víc, nevratné děje jsou zdrojem řádu – odtud název *Řád z chaosu*. Jsou to děje související s náhodností a otevřeností, které vedou k vyšším úrovním uspořádání, jako jsou disipativní struktury.

Jedním z klíčových témat této knihy je nový přehodnocující výklad Druhé věty termodynamiky. Entropie podle autorů není pouhou „skluzavkou“ ke zmatku a rozkladu. I ona se za jistých podmínek stává původcem řádu.

Autoři zde nabízejí rozsáhlou syntézu zahrnující jak vratný, *tak* nevratný čas. Tato syntéza ukazuje vzájemnou souvislost obou časů, a to nejen na úrovni makroskopických dějů, ale i na úrovni dějů mikroskopických.

Je to úžasný pokus, jak „dát znovu střepy dohromady“. Argumentace je složitá a pro laického čtenáře občas i obtížně pochopitelná. Přímě však srší neotřelými přístupy a naznačuje způsob, jak spojit zdánlivě nesouvisející, ba dokonce protichůdné filosofické představy.

Prigogine a Stengersová zdůrazňováním skutečnosti, že nevratný čas není pouhou odchylkou, ale vlastností většiny vesmíru, rozvracejí klasickou dynamiku. Není to však pro ně otázka „bud, anebo“. Vratnost je (přinejmenším pro dostatečně dlouhá období) stále použitelná, ale jen v uzavřených systémech. Nevratnost se týká zbytku vesmíru.

Prigogine a Stengersová narušili i dosavadní názory termodynamiky tím, že ukázali, jak entropie, přinejmenším za nerovnovážných podmínek, místo aby narušovala, spíše řád, a tedy i život, vytváří.

Je-li tomu tak, potom i entropie ztrácí svůj charakter „bud, anebo“. Zatímco se některé systémy vyčerpávají, jiné systémy se současně vyvíjejí a stávají soudržnějšími. Tento nezaujatý pohled se dvou stran umožňuje fyzice a biologii, aby existovaly vedle sebe, místo aby se vzájemně potíraly.

Dalším tématem knihy je nové pojetí příležitosti a nezbytnosti.

Význam „náhodné shody okolností“ v otázkách vesmíru bezpochyby lidé zvažovali již od okamžiku, kdy první paleolitický bojovník zakopl o skálu. Ve Starém zákoně je Boží vůle svrchovaná a Bůh řídí nejen obíhající nebeská tělesa, ale určuje i vůli všech a každého jednotlivce, jak pokládá za vhodné. Bůh je Stvořitel, od kterého vychází veškerá příčinnost a všechny události ve vesmíru jsou tak předem určeny. O správný výklad předurčení nebo svobodné vůle byly vedeny krvavé spory od doby Augustinovy po celé karolinské* období. Viklef, Hus, Luther, Kalvín, ti všichni se touto otázkou zabývali a přispěli do diskuse.

Nespočet vykladačů se pokoušelo usmířit determinismus se svobodou vůle. Podle jedné takové představy Bůh události ve vesmíru plně určuje, ale zároveň uznává svobodnou vůli jednotlivců, a nikdy od nich nevyžaduje určitou činnost. Bůh pouze předem nastavuje způsob chování lidských bytostí. Svobodná vůle v jednom směru byla možná jen v mezích svobodné vůle ve směru opačném.

V sekularizované kultuře „věku strojů“ se nekompromisní determinismus víceméně udržel i přes výzvy a protesty Wernera Heisenberga a „nejjistých“. I dnes myslitelé jako René Thom odmítají náhodnost jako klamnou a ve své podstatě nevědeckou.

Podobně nekompromisní postoj zaujali k těmto filosofickým problémům někteří z obránců svobodné vůle, živelnosti a maximální nejistoty, především existencialisté. (Pro Sartra byla lidská bytost „vždy a úplně svobodná“, ale i Sartre v některých spisech uznával praktické meze této svobody.)

Zdá se, že v souvislosti se současnými koncepty náhodnosti a determinismu vznikají dvě otázky. Na začátku je to větší složitost. Jak napsal Edgar Morin, vůdčí francouzský sociolog a teoretik poznání:

„Nezapomeňme, že problém determinismu se v průběhu století změnil... Myšlenka svrchovanosti, anonymity, trvalých zákonů řídících přírodu byla nahrazena myšlenkou zákonů o vzájemném působení... Tak se problém determinismu stává problémem řádu ve ves-

* karolinský – vztahující se ke Karlu Velikému a jeho době (pozn. překl.)

míru. Řád znamená, že současně se ‚zákony‘ se ve vesmíru uplatňují rezervovanost, neměnnost, stálost a pravidelnost... Stejnorodé a bezejmenné představy minulého determinismu nahradily různé, *předem určené* možnosti vývoje.“

Současně s tím, jak se koncept determinismu rozvíjel, prohlubovalo se úsilí o poznání přítomné náhodnosti a nutnosti, a to bez podřízenosti jednoho druhému, ale jako rozhodujících veličin ve vesmíru, který se sám zároveň uspořádává i rozpadá.

A zde vstupují na scénu Prigogine a Stengersová. Jejich argumenty zacházejí dál. Ukazují (pro mne přesvědčivě, nikoliv však pro kritiky, jako je matematik René Thom), že determinismus a náhoda nejenže „spolupůsobí“, ale pokoušejí se i ukázat, jak do sebe tato dvojice zapadá.

A tak ve smyslu změny naznačené v myšlence disipativních struktur, nutí-li flukuační síly stávající systém do „silně nerovnovážného stavu“ a ohrožují-li jeho strukturu, přibližuje se systém k bifurkačnímu bodu. Určit předem příští stav systému v tomto bodě z vnitřních stavových podmínek je podle Prigogina a Stengersové nemožné. Před tím, než se systém dále vyvíjí, „ovlivňuje“ ho náhoda, ale jakmile si z mnoha vývojových možností vybere svou další cestu, probíhá vývoj deterministicky až po dosažení dalšího bifurkačního bodu.

Krátce, nezbytnost a příležitost již nepokládáme za nesmiřitelné protiklady, ale za partnery, z nichž každý má svou předurčenou roli. Tak je dosaženo další syntézy.

Vložíme-li vratný a nevratný čas, chaos a řád, fyziku a biologii, příležitost a nezbytnost do stejného neotřelého rámce a určíme jejich vzájemný vztah, dojdeme k závažnému filosofickému poznatku, bezpochyby diskutabilnímu, ale v daném případě významnému i velkolepému.

To však za vzrušení, vyvolané *Řádem z chaosu*, zodpovídá jen částečně. Je to tím, že tato všeobecná syntéza má, jak jsem naznačil, i silný společenský a politický podtext. Stejně jako newtonovský model vyvolal analogie v politice, diplomacii a ostatních oblastech vědě zdánlivě vzdálených, má podobné důsledky i Prigoginův model.

Nabízí přesné způsoby modelování kvalitativních změn, osvětlil například myšlenku revoluce. Tím, že vysvětluje, jak následující nestability vyvolávají transformační změny, objasňuje teorii uspořádání. Osvětluje též jisté psychologické procesy – například inovace, které autoři pokládají za „neběžné“ chování vznikající za nerovnovážných podmínek.

Snad ještě významnější jsou důsledky pro studium kolektivního chování. Prigogine a Stengersová varují před opomíjením genetického nebo sociobiologického vysvětlení nejasného společenského chování. Za množstvím jevů, které jsou přičítány prvotnímu biologickému chování, nestojí egoistické, sobecké a deterministické geny, ale spíše společenské vzájemné ovlivňování za nerovnovážných podmínek.

(V nedávne studii byli například mravenci rozděleni do dvou skupin – jedna obsahovala „pracovité“ a druhá nesnaživé, „líné“ mravence. Ve způsobu rozdělení by se ukvapeně mohly spatřovat znaky genetické předurčenosti. Avšak studie ukázala, že pokud se původní soubor mravenců násilně rozdělí na dva, vyvinou se i v každém novém souboru obě skupiny – jak „pracovitých“, tak „líných“ mravenců, přičemž se z významného počtu původně líných mravenců rázem stanou „stachanovci“.)

Nikterak nepřekvapí, že myšlenky z této pozoruhodné knihy podnítily výzkum i v ekonomice, urbanistice, demografii, ekologii a mnoha dalších oborech.

Nikdo, ani autoři, není schopen ocenit plný význam díla tak myšlenkově bohatého, jakým je *Řád z chaosu*. Pro některého čtenáře nepochybně budou jisté části textu problematické (pro čtenáře bez předběžné průpravy jsou některé příliš odborné), jiné (znalé problematiky) překvapí, polekají či naopak povzbudí, někdo zůstane skeptický; nicméně všechny myšlenkově obohatí.

Je ještě několik bodů, které mě znepokojují.

Jak by se mimo laboratoř dala definovat „fluktuace“? Co míní Prigogine pojmy „příčina“ a „výsledek“? A pokud autoři hovoří o molekulách, které se navzájem dorozumívají, aby docílily plynulé, souběžně probíhající změny, lze předpokládat, že molekulám nepřisuzují lidské vlastnosti. Autoři však pro mne nastolili spoustu netušených a překvapujících otázek – zda všechny části prostředí vysílají signály nepřetržitě po celou dobu, či jen přerušovaně; jak je to s nepřímým dorozumíváním a spojením, ať druhotným či *n-tého* řádu, které molekule nebo organismu umožňuje odpovídat na signály, jež nemůže vnímat, protože jí chybějí patřičná čidla. (Signál od A poslaný prostředím, které je pro A nezjistitelné, může být přijat B a přeměněn v signál jiného druhu, který je již A schopno přijímat. B tedy slouží jako převaďeč a A odpovídá na změnu prostředí, která mu byla oznámena zprostředkovaně.)

Dále, co udělali autoři s představou, s kterou přišel harvardský astronom David Layzer a která se týká času? Mohli bychom předpokládat

tři odlišné „šipky-ukazatele času“, jednu vycházející z nepřetržitého rozpinání vesmíru po Velkém třesku, druhou založenou na entropii a třetí související s biologickým a historickým vývojem?

Nabízí se další otázka: „Jak převratná byla newtonovská revoluce?“ Prigogine a Stengersová nesouhlasí s některými historiky a zdůrazňují návaznost Newtonových myšlenek na alchymii a starší náboženské představy. Někteří z čtenářů by z toho mohli dovozovat, že nástup newtonismu nebyl ani náhlý, ani převratný. Podle mého názoru by se však nemělo pohlížet na prudký vzestup a pokrok newtonismu jako na přímý důsledek těchto starších představ. Zdá se mi naopak, že teorie změny vypracovaná v knize *Řád z chaosu* svědčí proti takovému „následnickému“ názoru.

A i v případě, že by newtonismus byl odvozený, neznamena to, že vnitřní struktura newtonovského modelu světa byla skutečně stejná, nebo že byla ve stejném vztahu k jeho vnějšímu prostředí.

Newtonovský systém vznikl v době, kdy se v západní Evropě rozpadl feudalismus a společenský systém měl „daleko k rovnováze“. Model vesmíru (i když částečně odvozený) předložený „klasickými“ vědci byl obdobně užíván v nových oblastech a úspěšně se rozšiřoval, a to nikoliv pro svou vědeckou sílu či „správnost“, ale především proto, že vznikající průmyslová společnost založená na revolučních principech vytvářela mimořádně příznivé prostředí pro jeho přijetí.

Jak bylo již dříve naznačeno, civilizace strojů se ve vesmírném řádu věci při hledání vysvětlení sebe sama chopila newtonovského modelu a odměnila ty, kteří jej dále rozvíjeli. A autoři knihy by jistě jako první potvrdili, že to nejsou jen chemické kádinky, kde se setkáváme s auto-katalýzou. Je to pro mne zdůvodnění, abych na newtonovský systém poznávání pohlížel jako na „kulturní disipativní strukturu“ vznikající ze společenských fluktuací.

Jak jsem se ironicky vyjádřil, jsem přesvědčen, že myšlenky I. Prigogina a I. Stengersové jsou ty nejdůležitější v poslední vědecké revoluci a nemohu si pomoci a musím na tyto myšlenky pohlížet v souvislosti se zánikem „věku strojů“ a nástupem toho, co jsem nazval civilizací „třetí vlny“. Dnešní úpadek průmyslové společnosti, jinak „druhé vlny“, bychom podle názvosloví autorů mohli označit za civilizační „bifurkaci“ a nástup více rozlišené společnosti „třetí vlny“, za přeskok k nové „disipativní struktuře“ ve světovém měřítku. Když přijmeme tuto analogii, nemohli bychom stejně pohlížet na přechod od newtonismu k prigoginismu? Nepochybně pouhá analogie, nicméně názorná.

Konečně se ještě jednou dostáváme k stále podnětné výzvě náhody a nutnosti. Mají-li Prigogine a Stengersová pravdu a příležitost má svůj význam v blízkosti nebo přímo v bifurkačním bodě, za kterým až do dalšího rozvětvení (bifurkace) převládají deterministické děje, nezasažují příležitost samu do deterministického rámce? Jestlipak ji prisuzováním zvláštního významu zároveň nesnižují?

Měl jsem to potěšení prohodit tuto otázku s Prigoginem při obědě. Usmál se a řekl: „Ano. Mohlo by to tak být. Nemůžeme však stanovit, kdy vznikne další bifurkace.“ Příležitost, podobně jako bájný fénix, vyvstává vždy znovu.

Řád z chaosu je skvělá, náročná, úžasná kniha. Je pro všechny výzvou a bohatě odmění pozorného čtenáře. Je to kniha ke studiu, k opakovanému čtení, provokativní. Vědu a lidstvo umísťuje zpátky do světa, v němž *ceteris paribus* je mýtem, do světa, v němž jsou ostatní podmínky zřídkakdy stále, stejné nebo neměnné. Krátce řečeno, vědu promítá do dnešního světa nestabilit, nerovnováh a turbulencí. Tim, že tak činí, má vrcholnou tvůrčí úlohu, pomáhá *nám* vytvářet nový, svěží řád.

Předmluva

Nový dialog člověka s přírodou

Náš pohled na přírodu se pronikavě mění směrem k mnohočetnosti, časovosti a složitosti. Po dlouhou dobu převládal v západní vědě mechanistický světový názor. Svět se z tohoto pohledu jevil jako obrovský automat. Nyní již chápeme, že žijeme v pluralistickém světě. Je pravda, že existují jevy, které se nám jeví jako deterministické a vratné, například pohyb kyvadla bez tření nebo pohyb Země kolem Slunce. Vratné děje neznají žádný význačný směr času. Existují však i nevratné procesy, které šipku času obsahují. Slíjeme-li dvě tekutiny, jako je například voda a alkohol, zkušenost nám říká, že po čase vznikne směs. Nikdy jsme však nepozorovali obrácený jev – samovydělování čisté vody a čistého alkoholu ze směsi. Je to nevratný děj. A takových nevratných dějů je v chemii mnoho.

Je zřejmé, že některé základní jevy, jako je například biologický vývoj nebo vývoj lidských kultur, musí kromě deterministických dějů obsahovat i prvek pravděpodobnosti. I vědec, který je o platnosti deterministických popisů přesvědčen, by pravděpodobně váhal dovodit, že v okamžiku „velkého třesku“, v okamžiku vytváření vesmíru, byla již tato kniha zapsána v přírodních zákonech. V klasických představách byly základní přírodní děje považovány za deterministické a vratné. Náhodné nebo nevratné děje byly považovány za pouhé výjimky. Dnes zjišťujeme všude kolem nás vlivy nevratných dějů a fluktuací.

Přesto, že západní věda dala podnět k obzvlášť plodnému dialogu člověka s přírodou, některé kulturní důsledky jsou katastrofální. Dichotomie „dvou kultur“ je ve značné míře způsobena střetem představ klasické vědy neuvážujících závislost na čase a názorů beroucích v úvahu tok času, které ve většině společenských a humanitních věd převládají. Ve vědě se však v průběhu několika desetiletí událo něco tak dramatického a tak nečekaného jako vznik geometrie nebo vize kosmu, jak je představuje Newtonovo dílo. Jsme si stále více vědomi skutečnosti, že na všech úrovních, počínaje nejjednoduššími částicemi a konče kosmologií, význam náhodnosti a nevratnosti stále roste. Věda znovu objevuje čas. A o popis této koncepční a pojmové revoluce zde usilujeme.

Tato revoluce probíhá na všech úrovních, od elementárních částic až po tzv. „makroskopickou fyziku“, zahrnující fyziku a chemii atomů a molekul, které zkoumá jak jednotlivě, tak i v souborech, například při studiu kapalin nebo plynů. Zdá se, že na této makroskopické úrovni lze koncepční změny vědy sledovat nejsnadněji. Klasická dynamika a moderní chemie procházejí obdobím pronikavých změn. Pokud by před několika málo lety někdo požádal fyzika o vysvětlení, které problémy zůstávají otevřené, byl by odpověděl, že jsme asi v plné míře nepochopili elementární částice nebo vývoj vesmíru, ale že znalosti ostatní problematiky máme zcela dostatečné. Dnes by rostoucí menšina, k níž patříme, tento optimismus nesdílela. Teprve začínáme chápat úroveň přírody, ve které žijeme, a to je i úroveň, na niž se soustředíme v této knize.

K tomu, abychom si dnes probíhající koncepční a pojmové změny ve fyzice uvědomovali, musíme je zasadit do správných historických souvislostí. Dějiny vědy jsou vzdáleny lineárnímu rozvoji, který by odpovídal řadě postupných přiblížení k nějaké skutečné pravdě. Jsou plny rozporů a nečekaných zvratů. Velká část této knihy je věnována historickým vzorům sledovaným západní vědou, počínaje Newtonem před třemi sty lety. Pokoušeli jsme se umístit dějiny vědy do rámce dějin idejí a začlenit je do vývoje západní kultury v posledních třech stoletích. Jen tak lze ocenit jedinečnost doby, ve které žijeme.

Naše vědecké dědictví zahrnuje též dvě doposud nezodpovězené základní otázky. Jedna se týká souvislosti mezi chaosem a řádem. Proslulý zákon o růstu entropie popisuje svět jako vyvíjející se od řádu k chaosu. Biologický nebo společenský vývoj nám neustále ukazují, jak se z jednoduchého vyvíjí složitě. Jak je to možné? Jak může z neuspořádanosti vzniknout struktura? V řešení této otázky bylo dosaženo značného pokroku. Dnes již víme, že nerovnováha, tok hmoty a energie mohou být zdrojem řádu a uspořádání.

Ale existuje ještě druhá, možná zásadnější otázka: klasická nebo kvantová fyzika popisuje svět jako vratný a statický. V tomto popisu vývoj neexistuje, a to ani k uspořádání, ani k neuspořádání. „Informace“, které bychom mohli formulovat na základě dynamiky, zůstávají v čase stálé. Proto existuje jasný rozpor mezi statickým pohledem dynamiky a vývojovým paradigmatem termodynamiky. Co je nevratnost? Co je entropie? Jen málo otázek v dějinách vědy bylo probíráno častěji. Začínáme být schopni na některé otázky odpovědět. Řád, neuspořádanost jsou složité pojmy: „jednotky“ obsažené ve „statickém“ popisu dynamiky nejsou totožné s „jednotkami“ („stavebními kame-

ny“), které se musí pro dosažení vývojového paradigmatu, vyjádřeného nárůstem entropie, zavést. Tento obrat vede k novému pojetí hmoty, která je „aktivní“, a jako taková vede k nevratným procesům a nevratné procesy ji organizují.

Vývojové paradigma zahrnující představu entropie je předmětem zájmu, který zasahuje daleko mimo oblast vlastní vědy. Doufáme, že naše sjednocení dynamiky a termodynamiky vysvětlí a ukáže zásadní novost pojetí entropie vzhledem k mechanickému světovému názoru. Čas a skutečnost spolu úzce souvisí. Skutečnost je pro člověka zaznamenána do toku času. Jak uvidíme, samotná nevratnost času je úzce spojena s entropií. K tomu, abychom tok času obrátili, museli bychom překonat nepřekonatelnou překážku – entropii.

Tradiční věda se doposud zabývala obecnými pojmy, humanitní obory podrobnostmi. Sblížení vědy a humanitních oborů bylo zdůrazněno francouzským názvem naší knihy – La Nouvelle Alliance, vydané nakladatelstvím Gallimard v Paříži roku 1979. Při hledání vhodného anglického ekvivalentu tohoto názvu jsme však neuspěli. Text anglického vydání se navíc od vydání francouzského liší, a to především v kapitolách 7 až 9. Přestože části týkající se původu struktur jako výsledku nerovnovážných dějů byly ve francouzském vydání (a v následujících překladech) zpracovány přiměřeně, museli jsme zcela přepracovat třetí část, v níž pojednáváme o našich nových výsledcích týkajících se kořenů času, a rovněž i formulování vývojového paradigmatu v rámci fyzikálních věd.

To vše je zcela nové. Vytváření a změny pojmů ve fyzice nejsou daleka ukončeny. Rozhodli jsme se však ukázat stav tak, jak se nám dnes jeví. Cítíme velké intelektuální vzrušení: zahlédli jsme cestu, která vede od bytí k „nastávání“. Protože jeden z nás zasvětil skoro celou svou vědeckou dráhu tomuto problému, lze ho snad omluvit za vyjádření pocitů uspokojení, které s ním, jak doufá, bude sdílet i čtenář. Po velmi dlouhou dobu se zdálo, že existuje střet mezi tím, co se jeví jako věčné, co je mimo čas, a tím, co podléhá času. Dnes vidíme, že existuje složitější pojetí skutečnosti, které obsahuje jak čas, tak věčnost.

Předkládaná kniha je výsledkem společného úsilí, na kterém se podílelo mnoho našich spolupracovníků a přátel. Nelze poděkovat všem jednotlivě. Rádi bychom však alespoň zdůraznili podíl Ericha Jantsche, Aharona Katchalského, Pierra Résiboise a Léona Rosenfelda, kteří již bohužel nejsou mezi námi. Rozhodli jsme se věnovat tuto knihu jejich památce.

Rádi bychom také poděkovali za trvalou podporu, kterou nám poskytovaly Instituts Internationaux de Physique et de Chimie, založené E. Solvayem, a Nadace Roberta A. Welche.

Lidstvo se nachází v období přechodu a věda v něm snad bude mít v okamžiku demografické exploze významnou úlohu. Je proto více než kdy jindy třeba, abychom vzájemnou informovanost vědy a společnosti pěstovali i v budoucnosti. Současný vývoj vyvedl západní vědu z kulturního prostředí 17. století, ve kterém vznikla. Věříme, že věda je dnes nositelkou univerzálního poselství, které je přijatelnější různým kulturním tradicím.

V posledních desetiletích byla veřejnost knihami Alvina Tofflera upozorňována na některé vlastnosti „třetí vlny“, která charakterizuje naši dobu. Jsme mu proto vděční, že napsal předmluvu pro anglické vydání naší knihy. Angličtina není naším rodným jazykem. Myslíme si, že každá řeč se při popisování každodenní skutečnosti, která nás obklopuje, do jisté míry liší. Některé z těchto odlišností v knize přežívají i při nejpéčlivějším překladu. Rozhodně však za přípravu anglického vydání chceme poděkovat Josephu Earlymu, Ianu MacGilvrayovi, Carole Thurstonové a především Carlu Rubinovi. Za pečlivý přepis rukopisu bychom chtěli poděkovat i Pamele Papeové.

Úvod

Výzva vědě

1

Není nadsázka, řekneme-li, že jedním z nejdůležitějších dnů v dějinách lidstva byl 28. duben roku 1686, kdy Newton předložil Královské společnosti v Londýně svá *Principia*. V *Principiích* byly formulovány základní pohybové zákony společně se základními, dodnes používanými pojmy, jako jsou hmota, zrychlení a setrvačnost. Nejdůležitější poznatky však pravděpodobně přinesla 3. kniha *Principií*, nazvaná *The System of the World*, která pojednává o všeobecném gravitačním zákoně. Newtonovi současníci ihned pochopili jedinečný význam této práce a gravitace se stala námětem odborných diskusí jak v Londýně, tak i v Paříži.

Od vzniku Newtonových *Principií* uplynula tři století. Věda se v nich rozvíjela neuvěřitelnou rychlostí a prostupuje život každého z nás. Naše vědecké obzory se v tomto období neuvěřitelně rozšířily. V mikroskopickém měřítku se fyzika elementárních částic zabývá procesy v oblasti rozměrů řádu 10^{-17} m a časů řádu 10^{-22} s, na druhé straně pak nás kosmologie vede k časům řádu 10^{10} roků, k „stáří vesmíru“. Věda a technika jsou si blíže než kdykoliv předtím a například nové biotechnologie a pokroky v informační technice slibují pronikavou změnu našich životů.

Společně s kvantitativním růstem dochází k hlubokým kvalitativním změnám, jejichž důsledky sahají daleko mimo hranice vlastní vědy a ovlivňují představy o přírodě. Velcí zakladatelé západní vědy zdůrazňovali univerzálnost a věčnou platnost přírodních zákonů, a snažili se proto zformulovat obecné představy tak, aby byly v souladu s ideály racionality. Jak píše Roger Hausheer v úvodu ke knize Isaiaha Berlina *Against the Current (Proti proudu)*: „Hledali všezahrnující schémata, univerzálně sjednocující systémy, v nichž vše, co existuje, může být ukázáno jako vzájemně, příčinně či náhodně propojené, obrovské struktury, ve kterých není místo pro spontánní, samovolný vývoj, kde vše, co se stane, by mělo být alespoň v principu vysvětlitelné pomocí neměnných obecných zákonů“.¹

Příběh tohoto hledání je skutečně pozoruhodný. Existovaly okamžiky, kdy se tento ctižádostivý program zdál být blízko dokončení. Zdá-

lo se, že „základní popis“, z něhož lze odvodit všechny další vlastnosti hmoty, je na dohled. Jedním z těchto okamžiků byl vznik návrhu proslulého Bohrova modelu, který popisuje atom jednoduchým planetárním modelem s elektrony a protony. Další okamžik velkého očekávání nastal, když Einstein doufal, že se podaří zahrnout všechny fyzikální zákony do „jednotné teorie pole“. Významného pokroku bylo zatím dosaženo při sjednocování popisu některých základních druhů sil vyskytujících se v přírodě, ale nalezení „základního popisu“ (tj. úplného sjednocení) je stále v nedohlednu. Kam se podíváme, nacházíme pozvolný vývoj (evoluci), mnohotvárnost a nestabilitu. A platí to kupodivu všude a na všech úrovních, ve fyzice elementárních částic, v biologii i v astrofyzice s jejím rozpínajícím se vesmírem a černými dírami.

Jak jsme uvedli v Předmluvě, naše představa přírody se výrazně mění směrem k mnohočetné, složité a závislé na toku času. Neočekávané složitosti objevené v přírodě kupodivu nevedly ke zpomalení pokroku vědy, ale naopak k naléhavé potřebě nových koncepčních modelů, které se nyní ukazují jako nezbytné pro naše pochopení fyzikálního světa – světa, kam patříme i my. A právě této nové situaci, která nemá v historii vědy obdoby, chceme v knize věnovat pozornost.

Příběh přeměny našeho pojetí vědy a přírody můžeme obtížně odělit od jiného příběhu, a to o pocitech vyvolaných vědou. S každým novým intelektuálním programem přicházejí vždy nové naděje, obavy a očekávání. V klasické vědě se klade důraz na obecně platné, na čase nezávislé zákony. Jak uvidíme, je-li jednou stanoven určitý stav systému, lze těmito zákony stanovit jeho budoucnost, stejně jako definovat jeho minulost. Je přirozené, že pátrání po věčné pravdě v měnících se jevech vzbudilo nadšení. Současně však způsobilo otřes poznání, že příroda je tímto způsobem znehodnocována, neboť významné pokroky vědy ji představují jako automat či robota.

Snahu omezit rozmanitost přírody na soustavu představ nalézáme na Západě již od doby řeckých atomistů. Lucretius, jdoucí ve stopách svých učitelů Demokrita a Epikura, píše, že svět jsou „jen“ atomy a prázdno a pobízí nás, abychom hledali to, co je skryto za „obvyklým“: „Aby však neztratil víru v má slova snad proto, že prvotní tělíska všem je nemožno vidět: poslyš, co svět má tělísek, v kterých uznáš jistě, že jsou, ač je oko nemůže vidět!“² *

Je dobře známo, že podnětem k pracím řeckých atomistů nebyla snaha o znehodnocování přírody, ale snaha osvobodit člověka od stra-

* T. Lucretius Carus: O přírodě, přel. Julie Nováková, Svoboda, Praha 1971

chu z nadpřirozených bytostí a řádu přesahujícího řád lidstva a přírody. Lucretius opakovaně prohlašuje, že se nemáme ničeho bát, že podstatou světa je stále se měnící spojení atomů „v prázdnu“.

Moderní věda přeměnila tento úvodně etický přístup v obecně uznávanou pravdu. Tato pravda, omezující podstatu přírody na atomy a vakuum, způsobila to, co Lenoble³ nazývá „neklidem moderních lidí“. Jak se máme poznat v náhodném světě atomů? Musí být věda definována v pojmech rozporů mezi člověkem a přírodou? „Všechna tělesa, obloha, hvězdy, Země a jejich království nejsou rovny nejjednodušším myšlenkám a vědomí, neboť paměť toto vše již obsahuje v sobě a tělesa neobsahují nic.“⁴ Tato Pascalova „Pensée“ vyjadřuje stejný pocit odcizení, jaký nacházíme u současných vědců, jako je Jacques Monod:

„Člověk musí konečně procitnout ze svého tisíciletého snu a objevit svou totální osamělost a naprostou odloučenost. A již ví, že je jako cizák na okraji nepřátelského světa, v němž má žít. Světa, který je hluchý k jeho hudbě, lhostejný k jeho nadějím, utrpení či zločinům.“⁵

Je to paradox. Skvělý průlom v molekulární biologii, rozluštění genetického kódu, na kterém se Monod aktivně podílel, vyúsťuje v tragické poznání. Tento skutečný pokrok z nás dělá cikány vesmíru. Jak si můžeme tuto situaci vysvětlit? Není věda cestou k dorozumívání se s přírodou?

V minulosti bylo ostře rozlišováno mezi světem lidí a pravděpodobně jiným světem přírody. Úryvek ze známé Vicovy práce *The New Science* to popisuje nejživěji:

„...v husté noční tmě zahalující dávnověk, od nás tak vzdálený, svítí věčné a nikdy neselehávající světlo pravdy za všemi otázkami: že svět občanské společnosti byl určitě vytvořen lidmi a že jeho základy lze proto nalézt v přízpůsobení naší vlastní mysli. Každého, kdo o tom přemýšlí, musí udivovat, že filosofové by měli svou veškerou energii věnovat spíše studiu světa přírody, kterou od doby, kdy ji Bůh stvořil, zná jen on, a že by měli naopak zanedbávat studium světa národů neboli občanský svět, který by lidé od doby, kdy ho stvořili, měli znát.“⁶

Dnešní badání nás stále vzdaluje od protikladů mezi člověkem a přírodním světem. Jedním z hlavních cílů této knihy bude ukázat místo rozporů a protikladů rostoucí pochopení spojitosti našich znalostí o člověku a přírodě.

2

V minulosti mělo kladení otázek přírodě nejrozmanitější podoby. Sumerové vytvořili písmo a sumerští kněží báдали, zda by budoucnost mohla být nějak skrytě zapsána v současných událostech kolem nás. Těmto snahám se snažili dát řád směřováním magických a racionálních prvků.⁷ V tomto smyslu můžeme říci, že západní věda, která vznikala v 17. století, pouze započala novou kapitolu věčného dialogu člověka s přírodou.

Alexandre Koyré⁸ stanovil nové možnosti, které moderní věda vytvořila „experimentováním“. Moderní věda je založena na objevu nového a charakteristického způsobu dorozumívání s přírodou, tj. na přesvědčení, že příroda na položenou otázku odpovídá experimentálním výsledkem. Jak lze přesněji stanovit takovýto experimentální dialog? Experimentování neznamená jen co nejpřesnější pozorování skutečností tak, jak se odehrávají, ani pouhé pátrání po empirickém spojení jevů, ale předpokládá soustavné vzájemné ovlivňování teoretických představ a pozorování.

Vědci vyjádřili mnoha rozličnými způsoby své překvapení, když při snaze o položení „správné“ otázky přírodě objevili, že díky skládanky do sebe zapadají. V tomto smyslu se věda podobá hře dvou hráčů, v níž musíme odhadovat, jak se zachová skutečnost bez ohledu na naše mínění, naše sny nebo naděje. Přírodu nelze donutit, aby říkala, co bychom chtěli. Vědecké badání není monolog. A právě riziko obsažené ve hře je činí vzrušující.

Jedinečnost západní vědy nespočívá v těchto metodologických úvahách. Když Karl Popper hovořil o normativním popisu racionálního vědeckého uvažování, byl nucen připustit, že racionální věda vděčí za svou existenci dosaženým úspěchům. Vědecká metoda je použitelná jen díky styčným bodům mezi předem vytvořenými modely a experimentálními výsledky.⁹ Věda je náročná a svým způsobem obtížná hra, ale zdá se, že objevuje otázky, na které příroda poskytuje logické odpovědi.

Úspěchy západní vědy jsou historickou skutečností, kterou *a priori* nelze předvídat, ale kterou nelze ani pominout. Překvapivé úspěchy moderní vědy vedly k nezvratné přeměně našeho vztahu k přírodě a v tomto smyslu lze oprávněně hovořit o „vědecké revoluci“. Historie lidstva je vyznačena mnoha kritickými body, mnoha jedinečnými okolnostmi vedoucími k nezvratným změnám. Jedna taková rozhodující událost je známa jako „revoluce v mladší době kamenné - neolitická

revoluce“. Ale v tomto případě, stejně jako v případě „výběrů“ dopro-
vázejících biologickou evoluci, jsme odkázáni jenom na dohady, jakko-
li o rozhodujících obdobích jejího vývoje bylo již získáno množství
poznatků. Takzvaná neolitická revoluce trvala tisíce let. Jestliže histo-
rii vědy trochu zjednodušíme, můžeme říci, že vědecká revoluce zača-
la teprve před třemi sty lety. Tehdy jsme získali jedinečnou možnost
vnímat specifickou a našemu myšlení srozumitelnou směs „náhod“
a „nezbytnosti“, které tuto revoluci vyznačují.

Věda sice podnítila úspěšný dialog s přírodou, ale jeho prvním vý-
sledkem byl objev mlčenlivého světa. Je to paradox klasické vědy. Li-
dem odhalil mrtvou, netečnou přírodu, která se chová jako automat,
který je-li jednou naprogramován, se i nadále chová pouze podle pra-
videl určených tímto programem. A v tomto smyslu rozhovor s pří-
rodou člověka od přírody oddělil, namísto aby ho s ní více sblížil. Ví-
tězství lidského rozumu se změnilo ve smutnou pravdu. Zdálo se, že
věda znehodnotila vše, čeho se dotkla.

Moderní věda vyděsila jak své protivníky, kterým se jevila jako smr-
teelné nebezpečí, tak některé ze svých příznivců. Ti si v lidské osamě-
losti „odhalené“ vědou uvědomili, jak velkou cenu musíme za tuto
novou racionalitu platit.

Vratké postavení vědy ve společnosti může být alespoň z části přiči-
táno kulturnímu napětí spojovanému s klasickou vědou; to vedlo k od-
vážnému přijetí trpkých důsledků racionality, ale vedlo i k jejímu váš-
nivému odmítání. K současným protivědeckým hnutím se dostaneme
později. Teď si připomeňme starší příklad – hnutí iracionalistů v Ně-
mecku ve 20. letech tohoto století, které tvořilo kulturní pozadí kvan-
tové mechaniky.¹⁰ V protikladu k vědě, která se ztotožnila s množinou
pojmu, jakó je příčinnost, determinismus, redukcionismus a racio-
nalita, nastal též prudký rozvoj myšlenek vědou odmítaných a popí-
raných, které se však jeví jako ztělesnění zásadní iracionality přírody.
Život, osud, svoboda a spontánnost se tak staly manifestací přízračné
podsvětní sféry nepřístupné rozumu. Aniž bychom zacházeli do pří-
značných společenskopolitických souvislostí, troufáme si tvrdit, že toto
„odmítání“ je názornou ukázkou, jaká nebezpečí jsou spojená s kla-
sickou vědou. Přisuzuje-li se určitému souboru zkušeností, který je
obecně považován za důležitý, pouze subjektivní význam, věda se vy-
stavuje nebezpečí, že se tyto zkušenosti octnou v oblasti iracionality
a že nabudou hroživé síly.

Joseph Needham zdůraznil, že západní myšlení vždy kolísalo mezi
pojetím světa coby automatu a pojetím teologickým, podle kterého

ovládá vesmír Bůh. Needham to nazývá „charakteristickou evropskou
schizofrenií“¹¹. Tyto představy ve skutečnosti souvisejí. Automat potře-
buje pána-boha, který jej řídí a ovládá.

Je skutečně nutné, abychom podstoupili tuto tragickou volbu? Mu-
síme volit mezi vědou, která vede k odcizení, a mezi nevědeckým me-
tafyzickým pohledem na přírodu? Pokud změny, kterými věda v sou-
časnosti prochází, povedou k naprosto novému stanovisku, není už tato
volba patrně nutná. Současný vývoj vědy nám přináší jedinečnou příle-
žitost znovu uvážit její místo v obecné kultuře. Moderní věda vznikla ve
zvláštních podmínkách Evropy 17. století. Nyní jsme na konci 20. stole-
tí a zdá se, že věda přináší stále univerzálnější poselství, které se týká vzá-
jemného ovlivňování člověka a přírody stejně jako člověka člověkem.

3

Jaké jsou předpoklady klasické vědy, od nichž, jak si myslíme, se věda
již dnes osvobodila? Obecně se soustřeďuji na základní představu, že
na určité úrovni je svět jednoduchý a řízený časově zvratnými základní-
mi zákony. Dnes se to zdá jako přehnané zjednodušení. Je to, jako by-
chom budovy považovali za pouhé hromady cihel. Ze stejných cihel
však můžeme postavit továrnu, palác nebo katedrálu. Je to právě úro-
veň budovy jako celku, na níž chápeme svět jako výtvor času, kultury,
společnosti, stylu. Existuje však další problém: neexistuje-li nikdo, kdo
stvořil přírodu, musíme se pro vysvětlení tohoto tvůrčího procesu obrá-
tit k popisu právě těchto cihel – tj. k jejich mikroskopické aktivitě.

Samo úsilí klasické vědy je vyjádřením dichotomie, kterou nalézá-
me všude v dějinách západního myšlení. Pouze neměnný svět idejí byl
tradičně považován za „osvětlený sluncem rozumu“, použijeme-li Pla-
tonových slov. Právě tak byly věčné zákony považovány za výraz vědec-
ké racionality. Na časovost se pohlíželo jako na iluzi. To už dnes dáv-
no není pravda. Objevili jsme, že nevratnost – která zdaleka není iluzí
– hraje v přírodě podstatnou roli a je na počátku většiny procesů sa-
mouspořádání. Nacházíme se ve světě, ve kterém se vratnost a deter-
minismus týkají jen mezích, jednoduchých případů, zatímco nevrat-
nost a nahodilost jsou pravidlem.

Popření času a složitosti se v kulturní debatě vyvolané z vědeckých
pohnutek stalo ústředním tématem. Odmítnutí tohoto konceptu bylo
rozhodující pro přeměnu vědy, kterou bychom rádi popsali. Artur Ed-
dington¹² ve své významné knize *The Nature of a Physical World* zavádí

rozdíl mezi „prvotními“ a „druhotnými“ zákony. „Prvotní“ zákony řídí chování samostatných částic, zatímco „druhotné“ zákony jsou použitelné pro soubory atomů nebo molekul. Trvat na „druhotných“ zákonech znamená zdůraznit, že popis elementárního chování nepostačuje pro pochopení systému jako celku. Vynikajícím příkladem „druhotného“ zákona je podle Eddingtonova názoru druhá věta termodynamiky, věta, která do fyziky zavádí „šipku času“. Eddington píše:

„Domnívám se, že z hlediska filosofie vědy musí být pojetí spojené s entropií hodnoceno jako velký příspěvek 19. století k vědeckému způsobu uvažování. Je reakcí na představu, že vše, čemu věda musí věnovat pozornost, je odhaleno mikroskopickým pitváním objektů.“¹³ Toto zaměření se dnes významně rozšířilo.

Je pravda, že k největším úspěchům moderní vědy patří objevy na mikroskopické úrovni – jako molekuly, atomy, elementární částice. Například molekulární biologie úspěšně izolovala molekuly, které hrají významnou roli v mechanismu života. Byl to úspěch tak ohromující, že pro řadu vědců je účel výzkumu ztotožněn, jak říká Eddington, s „mikroskopickým pitváním objektů“. Nicméně druhá věta termodynamiky byla první výzvou k vytvoření takové představy přírody, která by přírodu nevysvětlovala v její složitosti, ale jako svého druhu jednoduchý utajený svět. Zájmem dneška je posun od podstaty k souvislostem, dorozumívání k času.

Tato změněná perspektiva není výsledkem nějakého svévolného rozhodnutí. Ve fyzice nám byla vnucena novými objevy, které nikdo nemohl předvídat. Lze očekávat, že většina (a snad všechny) elementárních částic bude nestabilní? Lze očekávat, že s experimentálním potvrzením existence rozpínajícího se vesmíru bychom mohli vytvořit představu historie světa jako celku?

Na konci 20. století jsme se naučili lépe chápat smysl dvou velkých převratů, které daly fyzice dnešních dnů její podobu – kvantové mechaniky a relativity. Začaly jako snaha o opravu klasické mechaniky a zahrnul do ní nově nalezené základní fyzikální konstanty. Dnes se situace změnila. Kvantová teorie nám poskytla teoretický rámec, v němž můžeme popisovat nepřetržité vzájemné přeměny částic. Obecná teorie relativity se obdobně stala základem pro popis tepelného vývoje našeho vesmíru v jeho počátečních fázích.

Naš vesmír má pluralistické, komplexní rysy. Struktury mohou zmizet, ale také se mohou objevit. Některé pochody jsou, jak víme, dobře popsány deterministickými rovnicemi, ale jiné obsahují náhodné děje.

Jak tedy můžeme překonat zjevné rozpory těchto pojetí? Žijeme

v jediném vesmíru. Jak uvidíme, začínáme uznávat smysl těchto problémů. Mimoto důležitost, kterou nyní přisuzujeme různým jevům, které pozorujeme a popisujeme, je zcela rozdílná či dokonce opačná od té, kterou jim přisuzovala klasická fyzika. Jak jsme se již zmínili, klasická fyzika chápe základní procesy jako deterministické a vratné a procesy obsahující náhodnost a nevratnost jsou v ní výjimkou. A dnes všude pozorujeme úlohu nevratných procesů, fluktuací. Modely uvažované klasickou fyzikou odpovídají jen určitým limitním případům, které můžeme uměle vytvořit například tak, že vybranou látku umístíme do krabičky a vyčkáme, až dosáhne rovnováhy.

Umělé může být deterministické a vratné. Přírozené obsahuje základní složky náhodnosti a nevratnosti. To vede k novému pohledu na hmotu, ta již není pasivní látkou popsanou mechanisticky, ale stává se aktivní. Jak jsme napsali v Předmluvě, tato změna je tak hluboká, že vskutku můžeme mluvit o novém dialogu člověka s přírodou.⁹

4

Tato kniha se zabývá přeměnou koncepce vědy od zlatého období klasické vědy do současnosti. Tuto přeměnu lze popsat mnoha způsoby. Mohli bychom ji předvést na problematice elementárních částic. Mohli bychom sledovat současný úžasný rozvoj astrofyziky. Jsou to témata, která se zdají vymezovat hranice vědy. Jak jsme se zmínili v Předmluvě, v minulých letech byly objeveny mnohé nové rysy přírody. To nás přimělo k rozhodnutí, že se soustředíme na problémy našeho makroskopického světa, který zahrnuje atomy, molekuly a zejména biomolekuly. Nicméně stále je důležité zdůrazňovat, že vývoj vědy probíhá na všech úrovních přibližně souběžně, ať už jde o elementární částice, chemii, biologii nebo kosmologii. Pro každé měřítko hraje samovolné uspořádávání se, složitost a čas novou a nečekanou úlohu.

Naším záměrem je proto prozkoumat z určitého hlediska význam tří staletí vědeckého pokroku. Je nesporné, že k volbě tématu nás přivedly i subjektivní důvody. Problém času je skutečně těžištěm výzkumu, kterému se jeden z nás po celý svůj život věnoval. Když jsem se jako mladý student univerzity v Bruselu poprvé seznámil s fyzikou a chemií, byl jsem velmi překvapen, že věda má tak málo co říci k „času“. Bylo to především tím, že mé dřívější vzdělání se soustředilo hlavně na historii a archeologii. Pocit překvapení mohl vyústit ve dva možné přístupy, z nichž oba byly v minulosti jednoznačně vyhraněné: první by

znamenal problém zanedbat, neboť klasická věda nemá pro čas místo, a druhý by vedl k poohlédnutí se po jiném způsobu vnímání přírody, ve kterém by čas měl odlišnou, zásadnější úlohu; ten, který zvolili Bergson a Whitehead, máme-li jmenovat aspoň dva filosofy našeho století. První přístup by byl „pozitivistický“, druhý „metafyzický“.

Ale byla možná i třetí cesta, totiž položit otázku, zda jednoduchost časového vývoje tradičně odpovídajícího obvyklým úvahám ve fyzice a chemii souvisí s tím, že pozornost byla věnována jen některým velmi zjednodušeným stavům, například hromadám cihel místo katedrálám, jak jsme se zmiňovali.

Knihu jsme rozdělili do tří částí. První se zabývá triumfem klasické vědy a jeho kulturními důsledky. Věda byla zpočátku uvítána s nadšením. V dalším se pokusíme popsat rozštěpení kultury, které vyplynulo z existence klasické vědy a jejího úžasného úspěchu. Má být tento úspěch přijímán jako takový, možná i jako omezující svůj vlastní význam, nebo má být vědecká metoda sama odmítnuta jako dílčí či zavádějící? Oba přístupy vedou ke stejnému výsledku, totiž ke střetu mezi tím, co je často nazýváno „dvěma kulturami“, střetu vědy s humanitními obory.

Tyto otázky hrály v západním myšlení hlavní roli již od okamžiku zformulování klasické vědy. Znovu a znovu jsme se vraceli k problému „Co zvolit?“. Isaiah Berlin zřejmě správně již v této otázce spatřoval počátek rozkolu vědy a humanitních oborů:

„Charakteristické a jedinečné proti opakujícímu se a všeobecnému, konkrétní proti abstraktnímu, neustálý pohyb proti klidu, vnitřní proti vnějšímu, kvalita proti kvantitě, nadčasové principy proti kulturním zvyklostem, myšlenkový svár a sebezdokonalování coby věčný úděl člověka a naproti tomu možnost (a žádoucnost) míru, řád, konečný soulad a uspokojení všech racionálních lidských přání – to jsou některé rysy oněch protikladů.“¹⁴

Mnoho prostoru jsme v knize věnovali klasické mechanice. Podle našeho mínění je tím nevhodnějším východiskem pro úvahy o současných přeměnách vědy. Klasická dynamika jako by obzvlášť jasným a zřetelným způsobem vyjadřovala statický pohled na přírodu. Čas je v něm zřetelně zredukován na parametr a budoucnost a minulost jsou navzájem rovnocenné. Je pravda, že kvantová teorie později nastolila mnoho nových problémů, klasickou dynamikou neuvažovaných, přesto však zůstává řada zásadních otázek položených klasickou dynamikou, zvláště týkajících se času a v něm probíhajících dějů.

Již na začátku 19. století, právě když klasická věda vítězila a Newtonovy myšlenky ovládaly francouzskou vědu a ta vládla Evropě, se v Newtonově systému objevily náznaky prvních trhlin. V druhé části našich úvah budeme sledovat vývoj nauky o teple, soupeři Newtonovy gravitace, a to od okamžiku, kdy Fourier odvodil zákon o šíření tepla. Byl to ve skutečnosti první kvantitativní popis nevratného procesu – v klasické dynamice něco nemyslitelného.

Soupeření nauky o teple, nauky o přeměně energie a nauky o tepelných strojích dalo podnět ke vzniku první „neklasické“ vědy – termodynamiky. Nejpůvodnějším příspěvkem termodynamiky je proslulá druhá věta termodynamiky, zavádějící do fyziky směr toku času – šipku času. Tento příspěvek byl součástí širšího názorového pohybu, neboť 19. století bylo stoletím vývoje: v biologii, geologii a sociologii byly zdůrazňovány procesy se stále vzrůstající složitostí. A co se termodynamiky týče, ta je založena na odlišnostech dvou typů procesů – vratných procesů nezávislejících na směru toku času a nevratných procesů, které na směru toku času závisejí. Příklady uvedeme později. A aby bylo možné tyto dva druhy procesů rozlišit, byl zaveden pojem entropie, neboť entropie se zvětšuje jen při nevratných procesech.

V 19. století bylo úsilí vědeckého výzkumu věnováno především dovršení vývoje termodynamiky. Výsledkem byla rovnovážná termodynamika. Na nevratné procesy se přitom hledělo jako na něco nepřístojného, na něco, co ruší, na něco, co nemá smysl studovat. Dnes se situace zcela změnila. Nyní víme, že ve stavech velmi vzdálených od rovnováhy mohou samovolně vznikat nové typy struktur. Za „výrazně nerovnovážných“ podmínek může dojít k přeměně tepelného chaosu v řád. Mohou vznikat nové dynamické stavy hmoty, stavy, které odrážejí vzájemné působení daného systému s okolím. Abychom zdůraznili tvořivou úlohu disipativních procesů (dějů se ztrátami) při jejich vytváření, nazvali jsme tyto nové struktury *disipativními strukturami*.

V knize jsou popisovány některé metody, které byly v posledních letech* vyvinuty k tomu, abychom se mohli vznikem a vývojem disipativních struktur zabývat. Klíčovými slovy, která prostupují tuto knihu jako leitmotiv, jsou nelinearita, nestabilita, fluktuace. Tyto pojmy začaly prolínat do našeho pohledu na přírodu dokonce i mimo oblast fyziky a chemie.

Když jsme se zmiňovali o protikladech mezi vědou a humanitními obory, citovali jsme Isaiaha Berlina. Kládl charakteristické a jedinečné proti opakujícímu se a všeobecnému. Pozoruhodné je, že přejdeme-li

* před rokem 1984 (pozn. překl.)

od „rovnovážných“ k „silně nerovnovážným“ podmínkám, vzdálíme se od opakujícího se a všeobecného k charakteristickému a jedinečnému. Skutečně, zákony rovnováhy jsou univerzální. Látka ve stavu „blízko rovnováhy“ se chová „opakujícím se“ způsobem. Naopak v „silně nerovnovážných“ stavech se projevuje řada mechanismů odpovídajících možnostem výskytu různých typů disipativních struktur. V „silně nerovnovážných“ stavech můžeme například zjistit výskyt „chemických hodin“, chemických reakcí, které jsou koherentní a mají rytmický charakter. Můžeme se též setkat se samouspořádávajícími se procesy, pochody, které vedou k nehomogenním strukturám, k nehomogenním krystalům.

Je třeba zdůraznit neočekávanou povahu tohoto chování. Každý z nás má svou intuitivní představu o tom, jak probíhá chemická reakce. Představujeme si molekuly plující prostorem, srážející se a objevující se v novém uspořádání. Vidíme chaotické chování podobné tomu, co atomisté popsali, když hovořili o prachu tančícím ve vzduchu. Pochod v chemických hodinách probíhá zcela odlišně. Když ho přehnaně zjednodušíme, můžeme říci, že v chemických hodinách mění všechny molekuly svou chemickou totožnost současně, v pravidelných časových intervalech. Představíme-li si molekuly jako modré nebo červené, odpovídá sled změn jejich barev rytmickému průběhu reakcí v chemických hodinách.

Takový stav už obvykle nemůže být dále popsán v pojmech chaotického chování. Objevil se nový typ pořádku. Lze hovořit o nové „soudržnosti“, o mechanismu vzájemného „sdílení“ charakteristických veličin molekul. Tento způsob sdílení však může vzniknout jen za „silně nerovnovážných“ podmínek. A je obzvláště zajímavé, že toto sdílení se zdá být ve světě biologie pravidlem. Ve skutečnosti může být vzato za základ definice biologického systému.

Typ disipativní struktury navíc výrazně závisí na podmínkách, z nichž se struktura vytváří. Vnější pole, jakými jsou například gravitační pole Země nebo magnetické pole, mohou výběr mechanismu samouspořádávání struktury výrazně ovlivnit.

Začínáme chápat, jak počinaje chemii, lze vytvářet složité struktury a složité útvary, formy, z nichž některé mohly být předchůdci života. Je jisté, že tyto jevy velmi vzdálené od rovnováhy dokládají základní a neočekávané vlastnosti hmoty a fyzika může napříště popisovat struktury jako přizpůsobené vnějším podmínkám. V poměrně jednoduchých chemických systémech se setkáváme s mechanismem přizpůsobení předbiologickým podmínkám. Při použití antropomorfního jazyka: hmota v rovnováze je „slepá“, ale za „silně nerovnovážných“ podmínek začíná být schopna vnímat, „brát v úvahu“ působení

a rozdílů vnějšího světa (jako je slabé gravitační nebo elektrické pole).

Problém vzniku života zůstává složitý, a proto se nedomníváme, že by bylo nasnadě jeho jednoduché řešení. Život z tohoto hlediska neodporuje „běžným“ zákonům fyziky, nestaví se proti nim, aby odvrátil svůj běžný osud – svou zkázu. Zdá se, že život zvláštním způsobem vyjadřuje skutečné podmínky obklopující naši biosféru včetně nelineárních chemických reakcí a „silně nerovnovážných“ podmínek způsobených v biosféře slunečním zářením.

Zmínili jsme se o představách, které nám umožňují popsat vznik teorie bifurkací a disipativních struktur. Je pozoruhodné, že se v takových systémech ve stavu blízkém rozvětvení objevují velké fluktuace. Tyto systémy jako by „váhaly“ mezi mnoha možnými směry dalšího vývoje a známý zákon velkých čísel ve svém obvyklém smyslu selhává. Malé fluktuace mohou podnítit zcela nový vývoj, který výrazně změní celkové chování makroskopického systému. Podobnost se společenskými jevy, jakož i s dějinami je nepopíratelná. Aniž bychom byli proti „příležitosti“ a „nezbytnosti“, shledáváme obě hlediska jako nezbytná při popisu nelineárních systémů v „silně nerovnovážných“ stavech.

První dvě části knihy se proto zabývají dvěma protichůdnými názory na fyzikální svět: statickým názorem klasické dynamiky a evolučním názorem spojeným s entropií. Sřet těchto hledisek se stal nevyhnutelným. Byl sice po dlouhou dobu oddalován představami o nevrtnosti jako iluzi, jako přiblížení; neboť to byl člověk, kdo do bezčasového vesmíru zavedl čas. Řešení, ve kterém je nevrtnost omezena na iluzi nebo přiblížení, nemůže být nadále přijímáno, neboť jsme poznali, že nevrtnost může být zdrojem řádu, koherence a uspořádání.

Nadále se tomuto střetu názorů nemůžeme vyhýbat, a proto mu věnujeme třetí část knihy. Popíšeme tradiční snahy o řešení problému nevrtnosti, a to nejprve v klasické a potom v kvantové mechanice. Pionýrskou práci v této oblasti vykonali zvláště Boltzmann a Gibbs. Nicméně lze prohlásit, že problém zůstal zatím do značné míry nevyřešen. V očích Karla Poppera to bylo drama. Boltzmann nejprve předpokládal, že odvodil novou představu času zahrnutou v druhé větě termodynamiky. Ale po diskusích se Zermelem a dalšími musel ustoupit.

„Ve světle historie, či spíše v temnotách historie, byl podle dnes všeobecně přijímaných měřítek Boltzmann poražen, i když každý uznává jeho věhlas jako fyzika. Ale Boltzmannovi se nikdy nepodařilo objasnit postavení H-teorému, ani nikdy nevyšvětlil nárůst entropie... A tlak na něj byl takový, že ztratil viru v sebe sama...“¹⁵

Problém nevratnosti zůstává nadále předmětem živé rozporuplné diskuse. Jak je to možné 150 let po objevu druhé věty termodynamiky? Otázka zahrnuje mnoho hledisek, některá jsou kulturní, jiná technická. Nedůvěra v čas má kulturní příčiny. Při několika příležitostech budeme citovat Einsteina. Jeho konečné stanovisko: čas (jako nevratnost) je iluzí. Einstein ve skutečnosti opakoval to, co Giordano Bruno napsal již v 16. století a co bylo krédem vědy po staletí: „Svět je jeden, nekonečný, nehybný... Sám se nepohybuje... Sám nevzniká... Nepodléhá zkáze... Je nezměnitelný...“¹⁶ Brunovy představy dlouho ovládaly vědecký názor západního světa. Nepřekvapuje tedy, že když technické vědy a fyzikální chemie přišly s nevratností, bylo to přijímáno s pochybami. Kulturní důvody se zde sdružují s důvody technickými. Každý pokus o „odvození“ nevratnosti z dynamiky musel nutně selhat, neboť nevratnost není obecný jev. Můžeme si představit stavy, které jsou dokonale „vratné“, jako je pohyb kyvadla bez tření nebo pohyb planet. Toto selhání vyvolávalo sklíčenost a pocit, že představa o nevratnosti má pouze subjektivní původ. Ke všem těmto problémům se dostaneme později.

Podotkněme pouze, že nyní tento problém posuzujeme z různých hledisek, protože dnes jsou již známy různé druhy dynamických systémů. Svět je dalek toho, aby byl homogenní, a proto může být otázka položena různě: Co je ve struktuře dynamického systému zvláštní, co mu umožňuje „rozlišovat“ mezi minulostí a budoucností? Jaká menší míra složitosti je potřebná?

Pokrok probíhal v rámci těchto předpokladů. Dnes můžeme posuzovat podstatu času v přírodě mnohem přesněji. Má to dalekosáhlé důsledky. Druhý zákon termodynamiky, zákon o entropii, zavedl nevratnost do makroskopického světa. Stejně tak chápeme jeho význam na mikroskopické úrovni. Jak uvidíme dále, druhý zákon termodynamiky je ve shodě s výběrovým pravidlem, s omezením na počáteční podmínky vymezené zákony dynamiky. Druhá věta termodynamiky tak do popisu přírody zavádí nový nepominutelný prvek. Ten, ačkoli je s dynamikou v souladu, nemůže z ní být odvozen.

Již Boltzmann chápal, že pravděpodobnost a nevratnost jsou úzce spjaté. Rozdíl mezi minulostí a budoucností, a tedy i nevratnost, se mohou objevit v popisu systému jen tehdy, chová-li se systém převážně nahodile. Náš rozbor toto stanovisko potvrzuje. Ale jaký je význam „šipky času“ v deterministickém popisu přírody? Je-li již nějak obsažena budoucnost v současnosti, která již také obsahuje minulost, jaký je

význam šipky času? Šipka času jasně ukazuje, že budoucnost není dána, že jak zdůraznil francouzský básník Paul Valéry, „čas je vykonstruován“¹⁷.

Zkušenosti z našeho každodenního života ukazují zásadní rozdíl mezi časem a prostorem. Můžeme se pohybovat z jednoho bodu prostoru do druhého, ale čas obrátit nelze. Nemůžeme zaměnit minulost a budoucnost. Jak uvidíme, získává nyní tento pocit nemožnosti přesný vědecký smysl. Dovolené stavy jsou odděleny od stavů, které jsou druhým zákonem termodynamiky vyloučeny, přičemž nepřekročitelnou překážkou je entropie. Ve fyzice jsou i jiné překážky. Jednou z nich je rychlost šíření světla, tvořící z našeho dnešního pohledu mez rychlosti šíření signálů. Je důležité, že tato mez existuje. Pokud by neexistovala, příčinnost (kauzalita) by se rozpadla na jednotlivé části. Překážka daná entropií je podobně nutný předpoklad, aby komunikace měla smysl. Představte si, co by se stalo, kdyby naše budoucnost byla pro jiné lidi minulostí! Vrátime se k této otázce později.

Nedávný vývoj fyziky zdůrazňoval realnost času a byly odkryty jeho nové rysy. Zaujatost časem přetrvává po celé naše století. Vzpomeňme si na Einsteina, Prousta, Freuda, Teilharda de Chardin, Peirce nebo Whiteheada.

Jedním z nepřekvapivějších výsledků Einsteinovy speciální teorie relativity, zveřejněné roku 1905, je, že zavedení „místního času“ je spojeno s každým z pozorovatelů. Tento „místní čas“ však zůstává „vratným“ časem. Einsteinovým problémem, a to jak ve speciální, tak v obecné teorii relativity, bylo zejména „dorozumívání se“ mezi pozorovateli, způsob, kterým by mohli porovnávat časové intervaly. Ale my nyní můžeme čas zkoumat v jiných pojmových souvislostech.

Čas je v klasické mechanice číslem, které popisuje polohu bodu na jeho trajektorii. Na obecné úrovni však může mít čas jiný význam. Díváme-li se na dítě a odhadujeme-li jeho stáří, není věk spjat s nějakou určitou částí jeho těla. Jde o celkový úsudek. Často se tvrdilo, že věda dává času prostorovost. Nyní však objevujeme, že je možný i jiný pohled. Uvažujme krajinu a její vývoj: vesnice vznikají a rostou, mosty a silnice spojují různé oblasti a přetvářejí je. Prostor tak získává časový rozměr, podle slov zeměpisce B. Berryho jsme vedeni ke studiu „zčasování prostoru“.

Snad nejvýznamnějším pokrokem je skutečnost, že je nyní možné nahlížet na problém struktury, řádu, z rozdílného hlediska. Viděno očima dynamiky, a to ať již klasické nebo kvantové, nemůže existovat, jak

ukážeme v kapitole 8, jediný „časově orientovaný“ vývoj. „Informace“ tak, jak ji lze z pohledu dynamiky definovat, zůstává v čase neměnná. To zní paradoxně. Smícháme-li dvě tekutiny, nedojde k žádnému vývoji, přestože důsledek smíchání nejsme bez použití nějaké vnější pomůcky schopni zrušit. Naopak zákon entropie popisuje mísení jako vývoj k „nepořádku“ (chaosu), k nejpravděpodobnějšímu stavu. Lze ukázat, že mezi těmito dvěma popisy není rozpor, ale mluvíme-li o informaci, je nutné změnit definici jednotek, které jsou uvažovány. Novou významnou skutečností je, že lze zavést přesná pravidla pro přechod od jednoho typu veličiny ke druhému. Jinými slovy, dosáhli jsme mikroskopické formulace vývojového paradigmatu vyjádřeného druhým zákonem termodynamiky. Protože vývojové paradigma zahrnuje celou chemii i podstatné části biologie a společenských věd, je to pro nás důležitý závěr. Takovýto pohled odpovídá současným názorům. Vzhledem k obtížím, s nimiž se ve fyzice setkáváme, není proces zdaleka ukončen. Naším záměrem však není osvětlovat některé z nových úspěchů vědy, ale ani její trvalé a pevně stanovené výsledky. Co si přejeme, je zdůraznění koncepci jako výsledků vědecké činnosti a vyhlídek do budoucna a formulování nových problémů, které vzniknou. Každopádně jsme si vědomi, že stojíme teprve na počátku zkoumání a že naše odpovědi na dané otázky jsou dosud neúplné.

5

Erwin Schrödinger jednou k rozhořčení mnoha filosofů zabývajících se vědou napsal:

„... je snaha zapomenat, že veškerá věda je v podstatě spjata s lidskou kulturou a že vědecké objevy, ať se v okamžiku svého vzniku jeví sebevíc pokrokové a všeobecně stěží pochopitelné, nemají mimo vlastní kulturní kontext význam. Teoretická věda si neuvědomuje, že její závažné a významné konstrukce poskytují rámec představám a slovům, které jsou v popředí zájmu vzdělané veřejnosti a stávají se tak nedílnou součástí obecného obrazu světa. Tvrdím, že teoretická věda, kde se na to zapomíná a kde se o tom, k čemu dala podnět, uvažuje v nejlepším případě v pojmech srozumitelných pouze malé skupině zasvěcenců, se nutně oddělí od ostatní kultury. Taková věda je na dlouhou dobu odsouzena k zakrňování a kostnatění, třebaže izolované skupiny zanicených odborníků pokračují ve zhoubné „zasvěcencové diskusi“¹⁸

Jedním z hlavních témat této knihy je silné vzájemné ovlivňování problémů náležejících kultuře jako celku a vnitřních pojmových problémů vědy. Zjišťujeme, že otázky týkající se času jsou v těžišti vědy. Vznik, změna, nevratnost, to jsou problémy, kterým generace filosofů zasvětily celoživotní úsilí. Dnes, kdy se dějiny, ať hospodářské, demografické nebo politické, pohybují nebyvalým tempem, nové otázky a nové zájmy nás nutí, abychom zahájili nový rozhovor a abychom hledali nové souvislosti.

Víme, že pokrok vědy byl často popisován jako nespojitý proces, jako posun od konkrétní zkušenosti k stále obtížněji pochopitelné abstrakci. Domníváme se, že tento způsob výkladu je pouze gnozeologickým odrazem dějinné situace, v níž se klasická věda nalézala, a důsledkem její neschopnosti zahrnout do svého teoretického rámce rozsáhlou styčnou oblast vztahů člověka a jeho životního prostředí.

Bezpochyby existuje abstraktní vývoj vědeckých teorií. Nicméně zdokonalování, které bylo v průběhu vývoje vědy určující, nemusí být nutné tohoto druhu. Znovuobjevení času má své kořeny jak ve vnitřním vývoji vědy, tak ve společenských souvislostech, ve kterých se dnes věda nachází. Takové objevy jako například objev nestabilních elementárních částic či rozpínajícího se vesmíru zřetelně patří do vnitřních dějin vědy, ale ve všeobecném zájmu o nerovnovážné stavy, o vyvíjející se systémy se může obrážet náš pocit, že lidstvo jako celek je dnes v přechodném období. Mnohé výsledky, o kterých budeme pojednávat v kapitolách 5 a 6, například ty, které se týkají oscilujících chemických reakcí, mohly být objeveny již před mnoha lety, avšak studium těchto nerovnovážných problémů bylo potlačeno kulturními a ideologickými souvislostmi těchto období.

Jsme si vědomi, že prosazování vnímavosti ke kulturním souvislostem je proti tradičnímu pojetí vědy. Z tohoto hlediska se věda vyvíjí osvobozováním sebe sama od zastaralého chápání přírody a očisťuje se v procesu, který bychom mohli přirovnat k „askezi“ rozumu. A naopak to vede k závěru, že vědou by se mělo zabývat společenství žijící nezávisle, stranou světských událostí. Ideální vědecké společenství by mělo být ušetřeno všech tlaků, potřeb a požadavků společnosti. Pokroky vědy by v podstatě měly vznikat autonomní činností a vědec by se měl vyvarovat „vnějších“ vlivů, účasti na ostatním kulturním, společenském nebo hospodářském dění, které by ho pouze rušilo nebo zdržovalo.

Tento ideál abstrahování se, vědcovo stažení se, nachází spojení v druhém ideálu, který se týká nadání „skutečného“ výzkumníka, totiž

jeho touhy uniknout světským ranám osudu. Einstein popisuje typ vědce, který by se těšil přízni „Anděla Páně“ v případě, jestliže by měl za úkol vyhnat z „Chrámu vědy“ „nehodné“ – v jakém ohledu nehodné však není řečeno. Obvykle to jsou

....spíše podivínští, nemluvní, samotářští jedinci, kteří si jsou přes společné znaky méně podobní než zástup vyhnanců.

Co je vedlo do Chrámu? ...jednou z nejsilnějších pohnutek, která lidi vede k umění a vědě, je útek z každodenního života s jeho bolestivou nelibostí a bédnou jednotvárností a únik ze zajetí jejich vlastních měnicích se tužeb. Citlivější osoba je poháněna k úniku z oblasti vlastního bytí do světa objektivního zření (*Schauen*) a pochopení. Tyto pohnutky lze srovnat s touhou, která neodolatelně pudí obyvatele města pryč z jejich hlučných, přeplněných čtvrtí do tichých, vysokých hor, kde zrak v klidném, čistém vzduchu volně těká a zachycuje chladné a tiché obrysy, které se zdají být věčné.

S touto zápornou pohnutkou se pojí i jedna kladná. Člověk usiluje o to, vytvořit si jakýmkoli vhodným způsobem zjednodušený a zářivý obraz světa (*Bild der Welt*) a ze všech sil se snaží nahradit tímto obrazem svět zkušeností.¹⁹

Neslučitelnost mezi asketickou krásou hledanou vědou na jedné straně a mezi banálními osobními zkušenostmi, jak je pociťoval Einstein, jakoby posiluje jiná neslučitelnost, tentokrát zřetelně manichejská*, mezi vědou a společností, nebo přesněji, volnou lidskou tvořivostí a politickou mocí. V tomto případě nejde o uzavřenou společnost či chrám, ve kterém by měl být prováděn výzkum, ale o cosi jako pevnost nebo blázinec, jak to Dürrenmatt zobrazil ve své hře *Fyzikové*²⁰. V této hře tři fyzikové diskutují o cestách a prostředcích rozvíjející se fyziky v okamžiku, kdy lidstvo hledá spásu před důsledky toho, co nastane, jestliže se politická moc zmocní výsledků tohoto pokroku. Shodnou se nakonec na tom, že existuje jediné možné řešení – to, které již zvolil jeden z nich. Všichni se rozhodnou předstírat, že jsou šílení, a uchýlí se do blázince. Ale ani tam se jim osud nevyhne. Na konci hry se jejich poslední útočiště ukáže být pouhou iluzí, neboť ředitelka blázince, špehující své pacienty, fyzikovo řešení ukradne a uchvátí moc nad světem.

* manicheismus – učení Peršana Maniho ze 3. století, považující za základ světa boj světla a tmy, principu dobra a zla (pozn. překl.)

Dürrenmattova hra uvádí třetí pojetí vědecké činnosti: věda činí pokroky, jestliže omezuje složitost skutečnosti na skrytou jednoduchost. Fyzik Moebius se snaží v blázinci zatajit, že úspěšně vyřešil problém gravitace, jednotnou teorii elementárních částic, a co víc, Princip univerzálního zákona, zdroje absolutní moci. Aby dosáhl svého autorského záměru, Dürrenmatt problém samozřejmě zjednodušuje. Nicméně se všeobecně soudí, že tím, oč „Chrám vědy“ usiluje, není nic menšího než „vzorec“ vesmíru. Vědec, zobrazovaný vždy jako asketa, se nyní stává jakýmsi mágem, osamělou postavou, možným vlastníkem univerzálního klíče ke všem fyzikálním jevům, obdařeným všemohoucími znalostmi. A tak se vracíme k již učiněnému závěru – pouze v jednoduchém světě platí (zvláště ve světě klasické vědy, kde složitost pouze skrývá základní jednoduchost), že jen určitý druh poznání umožňuje existenci univerzálního klíče.

Jedním z problémů naší doby je překonání postoje, který ospravedlňuje a zároveň posiluje odloučenost společenství vědců. Musíme nalézt nové formy dialogu vědy se společností. A v tomto duchu byla napsána i tato kniha. Všeobecně je známo, že člověk v nevidané míře mění své přirozené životní prostředí, podle Serge Moscoviciho vytváří „novou přírodu“²¹. Abychom porozuměli tomuto světu vytvořenému člověkem, potřebujeme vědu, která není pouze poslušným nástrojem vnějších zájmů, ale ani rakovinným nádorem bujícím na živné půdě společnosti.

Před více než dvěma tisíci lety Čuang'c napsal:

„Jak se [trvale] otáčí Nebe! Jak Země [stále] zůstává v klidu! Zápasí spolu Slunce a Měsíc o svá místa? Řídí někdo tyto jevy? Kdo je navzájem svazuje a spojuje? Kdo je jejich příčinou a kdo je bez potíží a námahy udržuje? Nebo snad existuje nějaký tajný mechanismus, jehož působením zůstávají zmíněné jevy takové, jaké jsou?“²²

Věříme, že směřujeme k nové syntéze, k novému naturalismu. Snad nám bude možné spojit západní tradici s jejím důrazem na experimentování a vyjadřování hodnot s tradicemi, jako je čínská, s jejich představou samovolného, samouspořádávajícího se světa. Na začátku tohoto úvodu jsme citovali Jacquese Monoda, který dospěl k závěru, že „staré spojenectví bylo zničeno. Člověk zná konečně svou osamocenost v lhostejné mohutnosti vesmíru, z něhož se vynořil jen náhodou.“²³ Snad má Monod pravdu. Staré spojenectví bylo rozbito, naší úlohou není bédovat nad minulostí. Uprostřed neobyčejné rozmanitosti vědy

je nutné usilovat o nalezení určitého sjednocujícího řádu. Každé významné období vědy přineslo nějaký model přírody. V období klasické vědy jím byly hodiny. Ve vědě 19. století, v období průmyslové revoluce, jím byl běžící motor. Co bude našim symbolem? To, co máme na mysli, vyjádříme snad nejlépe odkazem na sochařství, od staroindického nebo staroamerických kultur až po současné. V některých nejkrásnějších sochařských dílech, ať je to tančící Šiva nebo miniaturní chrám z Guerrera, se zřetelně objevuje hledání spojnice mezi klidem a pohybem, mezi zastaveným a volně plynoucím časem. Věříme, že naše období tyto protiklady sjednotí.

Kniha 1 ROZČAROVÁNÍ Z UNIVERZALITY

Kapitola 1 Triumf rozumu

Nový Mojžíš

„Přírodu a přírodní zákony obestírá tma:
Bůh řekl: Budiž Newton! a bylo světlo.“

ALEXANDER POPE

– návrh epitafu Isaaca Newtona,
zesnulého roku 1727

Na dramatickém tónu Alexandra Popea není nic zvláštního. V očích Anglie 18. století byl Newton „novým Mojžíšem“, kterému bylo ukázáno „Desatero přikázání“. Básníci, architekti a sochaři se spojili, aby vytvořili památníky, a celý národ se sešel k oslavě jedinečné události, kdy člověk objevil jazyk, kterým příroda nejen hovoří, ale i mu naslouchá a řídí se jím.

„Před jeho Rozumem i Příroda se vzdává,
Všechna svá tajemství mu bez odmluvy dává.
Zákonům matematiky vzdorovat nemůže
A proti pokusu nic jí nepomůže.“¹

Newtonových myšlenek se chopily etika a politika a učinily z nich základ své argumentace. Například Desagulier přenesl nové chápání přírodního řádu do politiky: přišel s tvrzením, že nejlepší možnou formou vlády je konstituční monarchie, neboť pak má král, podobně jako Slunce, svou moc omezenou.

„Jak k trůnu dvořané své upírají oči
Šest světů stejně tak se v tanci kol něj točí.
K cestě klikaté on jejich pohyb váže,
Jich drátky ohýbá, jak jeho síla káže,
Sílu však zákon krotí, ona ho respektuje,
Svobodu neničí, jenom ji omezuje.“²

Ačkoliv Newton sám přímo do oblasti věd pojednávajících o morálce nezasahoval, neměl pochybnosti o všeobecných vlastnostech zákonů vyložených v jeho *Principiích*. Příroda je „velmi harmonická a přívětivá“, prohlašuje v oslavované 31. otázce své *Optiky* a toto silné, ale též neúplné tvrzení zahrnuje rozsáhlé problémy – hoření, fermentaci, teplo, přilnavost, magnetismus... Neexistuje tedy přírodní děj, který by nebyl vyvolán aktivními silami – přitažlivostí a odpuzováním, které řídí jak pohyb hvězd, tak i pohyb volně padajících těles.

Ještě za svého života se stal Newton národním hrdinou a téměř o století později se díky silnému Laplaceovu vlivu stal symbolem vědecké revoluce v Evropě. Astronomové zkoumali oblohu ovládnutou matematikou. Newtonovskému systému se dařilo překonávat všechny překážky. Navíc otevřel cestu k matematickým metodám, které umožňovaly vysvětlit nejen zřejmé odchylky, ale mohly být užity i k odvození existence dosud neznámých planet. Tak byla předpověděna existence planety Neptun.

Na počátku 19. století se stal Newton vzorem hodným následování, ačkoliv existovaly i rozporné výklady jeho metod. Někteří v nich spatřovali postup skýtající výsledky experimentů, které lze popisovat matematicky. Podle nich chemie našla svého Newtona v Lavoisierovi, který byl průkopníkem soustavného užívání rovnováhy. Byl to určující krok k stanovení definice kvantitativní chemie, kde zákon o zachování hmoty je Ariadninou nití. Podle jiných spočívala Newtonova strategie v oddělování některých zvláště významných skutečností, které použil jako základ k dalším úvahám o daném souboru jevů. Z tohoto pohledu tkvěla Newtonova genialita v jeho pragmatismu. Newton se nesnažil vysvětlit gravitaci, bral ji jako fakt. Podobně si každý vědní obor mohl stanovit nějakou typickou, dosud neobjasněnou skutečnost za výchozí bod. Fyzikové tak cítili, že byli Newtonem zmocnění ke změně vitalistického pojetí a k diskusi o „vitální síle“ *sui generis*, jejíž užití by vtisklo popisu živoucích úkazů systematickou jednotnost, v níž doufali. To je obdobná role, která byla při-

souzena afinitě*, která vystupuje jako charakteristická síla vzájemného působení v chemii.

Někteří důslední newtonovci se smířili s výjimkou při nárůstu počtu sil (proliferací) a pro osvětlení dalších jevů opět předpokládali univerzální schopnost gravitace. Ale na to bylo již příliš pozdě. Pojem „newtonovský“ byl nyní šmahem užíván pro vše, co bylo vyjadřováno soustavami zákonů, rovnováhou nebo všemi stavy, ve kterých přirozené uspořádání na jedné straně a mravní, společenský a politický řád na straně druhé mohou být vyjadřovány pojmy odpovídajícími všeobjímající harmonii. Romantičtí filosofové objevili v newtonovském vesmíru podivuhodný svět oživený přírodními silami. „Pravověrnější“ fyzikové v něm zase viděli mechanický svět řízený matematikou. Pro pozitivisty to představovalo úspěch metody (pracovního postupu), návod k určení nejpřesnější definice vědy.³

To ostatní je literární tvorba, často newtonovská: harmonie, která vládne mezi hvězdnými systémy; volitelná spříznění a nepřítelství zakládající „společenský život“ chemických sloučenin objevující se jako procesy, které lze přenést do světa lidské společnosti. Není divu, že toto období se jeví jako „zlatý věk“ klasické vědy.

Newtonovská věda má však dodnes jedinečné postavení. Některé ze základních představ, které zavedla, jsou základními příspěvky, které beze změn přežily všechny proměny, jimiž od té doby věda prošla. Přesto dnes víme, že „zlatý věk“ klasické vědy je již minulostí a s ním i přesvědčení, že newtonovská racionalita přes všechny své odporující si výklady vytváří vhodný základ našeho rozhovoru s přírodou.

Ústředním námětem této knihy je vítězství newtonovské vědy, trvalé odkrývání nových oblastí výzkumu, které šířily newtonovské myšlení až do dnešních dnů. Kniha se zabývá i pochybnostmi a zápasy, které byly tímto vítězstvím vyvolány. Dnes začínáme zřetelněji rozeznávat a chápat meze newtonovské racionality. Zdá se, že vytváří jednotnější pojetí vědy a přírody. A toto nové pojetí ukazuje a vytváří cestu k nové jednotě poznání a kultury.

* schopnosti látek slučovat se chemicky s jinými látkami (pozn. překl.)

Odlidštěný svět

„...nechť nás Bůh ochrání
od jednoduchých představ a Newtonova spánku!“

WILLIAM BLAKE
v dopise Thomasu Buttsovi
22. prosince 1802

Postavení newtonovské vědy v kultuře bylo nejmýšlivěji vyjádřeno v úvodu konference UNESCO o vzájemném vztahu vědy a kultury:

„Po více než století se vědecká činnost rozvíjela tak intenzivně, že se zdálo, že zcela nahradí kulturu samu. Někteří věří, že jde o zdání vyvolané rychlým růstem a že se vlastní rozvoj vědy znovu prosadí tak, že se věda vrátí zpět do služeb lidstva. Jiní mají za to, že současné výjimečné postavení vede vědu k ovládnutí kultury jako celku. Věda si svou nadvládu uchovává jen díky tomu, že její výsledky jsou převážně zprostředkovány vědeckými přístroji. Jiní, zděšení nebezpečím manipulace člověka a společnosti, jestliže se ocitnou v moci vědy, vidí děsivý příznak v dále se rýsující kulturní katastrofy.“⁴

V tomto prohlášení se věda jeví jako rakovina v těle kultury, rakovina, jejíž bujení hrozí zničit veškerý kulturní život. Otázkou je, zda můžeme vědu ovládnout a řídit její rozvoj, nebo se máme nechat zotročit. V průběhu pouhých sto padesát let se z vědy coby zdroje inspirace západní kultury stala hrozba. Neohrožuje pouze hmotnou existenci člověka, ale méně nápadně ohrožuje i tradice a zkušenosti, které jsou hluboko zakořeněny v našem kulturním životě. A to, z čeho ji obviňujeme, není jen pouhý technologický důsledek toho či jiného významného vědeckého objevu, ale „duch vědy“ sám.

Takové obviňování vede k všeobecné skepsi z vědecké kultury a ze závěřů dosažených vědeckými teoriemi; často se dnes prohlašuje, že věda podkopává základy našeho světa. To, co bylo pro generace zdrojem radosti a úžasu, nyní při přímém střetu lidstvo sužuje. Vše, čeho se věda dotkne, odlidšťuje.

Je zajímavé, že s myšlenkou osudového rozčarování vědeckým pokrokem nepřicházejí pouze kritikové vědy, ale často i ti, kteří ji obhajují nebo velejí. Historik C. C. Gillispie tak ve své knize *The Edge of Objectivity (Ostří objektivit)* sympatizuje s těmi, kdo vědu kritizují, a trvale se snaží „ostří objektivit“ otupit:

„Obnova subjektivního přístupu k přírodě je opravdu tklivé téma. Její trosky coby dobré úmysly leží roztroušeny v oblastech, kudy věda prošla. Věda přežívá jen v podivných zákoutích, jakými jsou lisenkismus a antroposofie, ve kterých je příroda zespolečenšována nebo umravňována. Takové přežitky jsou pozůstatkem neustálých pokusů uniknout důsledkům úspěšného tažení západního člověka, jež bylo předurčeno k vítězství! A tak jako každý políček do tváře osudu vyvolala romantická přírodní filosofie všechny odstíny nálad, zoufalstvím počínaje a hrdinstvím konče. Odpuzující na ní je, že je sentimentální nebo hrubě nepřátelská k intelektu. Úžasné, že inspirovala Diderotovu naturalistickou a moralizující vědu, Goethovu personifikaci přírody, Wordsworthovu poezii, filosofii Alfreda Northa Whiteheada, a také ty, kteří ve vědě nacházejí místo pro kvalitativní a estetické oceňování přírody. Je to věda těch, kdo vytvářejí botaniku květinok a meteorologii západů slunce.“⁵

Věda tak vede k tragické, metafyzické volbě. Člověk musí volit buď mezi uklidňujícím, ale iracionálním nutkáním hledat záruky lidských hodnot v přírodě, nebo znamením poukazujícím na zásadní souvztáhnosti a na věrnost racionalitě, která člověka vyděluje z mlčícího světa.

Ozvěna jiného „leitmotivu“ – nadvlády – se mísí s ozvěnou rozčarování. Svět ztracených iluzí je zároveň světem náchylným k ovládnutí a manipulaci. Každá věda, jež si představuje, že svět lze ovládnout univerzálním teoretickým postupem, který rozmanitou bohatost světa omezi na pouhé používání obecných zákonů, se stává nástrojem nadvlády. A člověk, cizinec v tomto světě, se vydává za jeho vládce.

Rozčarování nabylo v minulých desetiletích nejrůznějších forem. Podotýkáme, že se zde nebudeme hlouběji zabývat rozličnými protivědeckými formami, neboť jejich systematické studium se vymyká z rámce této knihy. Ve 3. kapitole podrobněji představíme odezvu západního myšlení na překvapující triumf newtonovské racionality. Na tomto místě jen poznamenejme, že v současnosti dochází k posunu obecně rozšířených přístupů k přírodě, spojovaných se široce rozšířeným, ale dle našeho názoru chybným přesvědčením, že existuje zásadní rozpor mezi vědou a naturalismem. K tomu, abychom názorně ukázali alespoň některé z forem nevědecké kritiky z posledních let, jsme vybrali tři příklady. Nejprve Heideggera, v jehož filosofii se projevuje hluboké zaujetí pro současné myšlení. Upozorníme i na kritiku vyjadřovanou Arthurem Koestlerem a slavným historikem vědy Alexandrem Koyréem.

Martin Heidegger svou kritiku zaměřil proti jádru vědeckého snažení, které je v jeho očích pevně spojené s trvalým úsilím o ovládnutí

přírody. Heidegger tvrdí, že vědecká racionalita je dovršením něčeho, co bylo již od doby starověkého Řecka mlčky předpokládáno, totiž vůle vládnout, uplatňující se v každém racionálním jednání nebo podnikání, a násilí skrývající se ve veškerém kladném a sdílitelném poznání. Heidegger zdůrazňuje, jak říká, technickou a vědeckou „kostru“ (*Gestell*)⁶, z níž vyplývá obecná pracovní aktivita zahrnující svět a lidstvo.

Heidegger nepředkládá podrobný rozbor jakéhokoliv dílčího technického nebo vědeckého výtvaru či postupu. To, co zpochybňuje, je podstata techniky, způsob, jakým je každá věc *nazírána*. Každá teorie je součástí hlavního projektu, který vytváří dějiny Západu. To, co nazýváme vědeckou „teorií“, je podle Heideggera způsob, jakým se dotazujeme věci, jakým jsou redukovány na otročení. Vědec, podobně jako technik, je hračkou v rukou vůle k moci maskované touhou po vědění. Právě tento přístup k věcem je vystavuje systematickému násilí.

„Moderní fyzika není experimentální fyzikou, přestože při kladení otázek přírodě používá experimentální pomůcky. Spíš opak je pravdou. Protože fyzika jako čistá teorie vyžaduje přírodu k ukázání sebe sama v podobě předvídatelných sil a připravuje pokusy pouze s prostým cílem: zeptat se, zda a do jaké míry se příroda tímto plánem předjímaným vědou řídí.“⁷

Podobně Heideggera nezajímá skutečnost, že průmyslové znečištění například zničilo všechnu faunu v Rýnu. Podle jeho mínění byla řeka dána člověku k službám.

„Hydroelektrárna je umístěna do proudu Rýna. Využívá hydraulickou energii Rýna k roztáčení turbín. ... Hydroelektrárna není na Rýně postavena jako starý most, který po staletí spojoval břeh s břehem. Rýn je v elektrárně spíš zaklet. To, čím je řeka teď, totiž dodavatelem vody, vyplývá z podstaty elektrárny.“⁸

Starý most přes Rýn není hodnocen jako důkaz důkladně vyzkoušené schopnosti, příčinnosti a přesného pozorování, ale protože „nevyužívá“ řeku.

Heideggerova kritika pokládající pravý ideál kladného, sdílitelného poznání za hrozbu, odráží některé náměty protivědeckých hnutí, o kterých se zmiňujeme v Úvodu. Myšlenkou trvalého spojení vědy a vůle k vládnutí je však prostoupeno i jiné, naprosto rozdílné hodnocení naší současné situace. Například Gunther Stent v díle s velmi sugestivním názvem „Příchod zlatého věku“⁹ tvrdí, že věda právě nyní dosahuje

svých mezí. Jsme blízko bodu, od kterého je již obtížný návrat, kde otázky, které směřujeme k věcem s cílem ovládnout je, se stávají čím dál složitějšími a méně zajímavými. Znamená to konec pokroku, ale je to i příležitost pro lidstvo, aby zastavilo své horečné úsilí, ukončilo prastarý boj proti přírodě a přijalo stálý a bezpečný mír. Přejeme si ukázat, že zdánlivě oddělení vědeckého poznání předmětu zkoumání od možnosti jeho ovládnutí nenaznačuje konec vědy, naznačuje naopak množství nových vyhlídek a problémů. To je počátek vědeckého chápání světa kolem nás. Existuje ještě jiné pojetí vědy, jiná idea vědy, o které tušíme, že je možná stejně škodlivá. Totiž okouzlení tajemnou vědou, která nás myšlenkovými pochody normálnímu smrtelníkovi nepochopitelnými přivádí k závěrům, které mohou náhle způsobit odmítání významu základních pojmů jako je čas, prostor, příčinnost, vědomí nebo hmota. Tento druh „mysteriózní vědy“, jejíž výsledky pokládáme za schopné otrást souborem jakýchkoliv tradičních představ, byl současně povzbuzen úspěšným „objevem“ relativity a kvantové mechaniky. Je pravda, že některé minulé kroky, které vysoce přesáhly tehdejší možnou představivost, například Einsteinův výklad gravitace jako zakřivení časoprostoru nebo Diracovy antičástice, otrásly určitými, zdánlivě již zavedenými představami. Mezi představou, že z vědy může vzejít kdykoliv cokoliv, a jistým druhem přizemního realismu tedy existuje velmi křehká rovnováha. Tato rovnováha se dnes výrazně posunuje směrem k oživení zájmu o mystiku, ať je to v tisku, nebo ve vědě samotné, a to zvláště mezi kosmology.¹⁰ Jistí fyzikové a popularizátoři vědy naznačili, že mezi parapsychologií a kvantovou fyzikou existují tajemné souvislosti. Citujme Koestlera:

„Slyšíme unisono znějící hlasy laureátů Nobelovy ceny za fyziku, kteří nám dávají na vědomí, že hmota je mrtva, příčinnost je mrtva, determinismus je mrtev. Je-li tomu tak, vypravme jim slušný pohřeb a zádušní mši s doprovodem elektronické hudby. Je načase, abychom vyvodili poučení z postmechanické vědy 20. století a svlékli svěrací kazajku, kterou našim filosofickým názorům vnutil materialismus 19. století. Je paradoxní, že kdyby tyto názory šly s duchem moderní vědy, místo aby se loudaly o století za ním, mohli jsme již být ze svěrací kazajky dávno osvobozeni... Ale když už se to dávno ví, mohli bychom být vnímavější k jevům kolem nás, k nimž jsme se kvůli jednostrannému zdůrazňování fyzikálních věd stali nevnímavými. Mohli bychom ucítit průvan, který ze spár budovy příčinnosti táhne, věnovat víc pozornosti souběžným událostem, paranormální jevy zahrnout do našeho pojetí normalnosti a přiznat si, že žijeme v „zemi slepců“.“¹¹

Nechtěli bychom soudit nebo zatracovat a priori. V některém z fantastických tvrzení, která dnes slyšíme, může být semínko nového poznání. Nicméně jsme přesvědčeni, že skoky do nepředstavitelného jsou příliš jednoduchými úniky ze složitosti našeho světa. Nevěříme, že bychom „zemi slepých“ mohli opustit v jednom dni, neboť pojmová slepota není hlavní příčinou problémů a rozporů, při jejichž řešení naše společnost selhala.

Náš nesouhlas s jistou kritikou nebo komolením vědy však neznamená, že odmítáme veškerou kritiku. Vezměme si například postoj Alexandra Koyrého, který svým dílem výrazně přispěl k pochopení vývoje moderní vědy. Ve své studii o významu a důsledcích newtonovské syntézy Koyré napsal:

„Je ještě něco, za co Newton, lépe řečeno nikoli Newton sám, ale obecně moderní věda, mohou být voláni k zodpovědnosti. Je to rozštěpení našeho světa ve dva. Řekl jsem, že moderní věda prolomila hranice, které oddělovaly nebe a zemi, a spojila a sjednotila vesmír. A je to pravda. Ale jak jsem také řekl, učinila tak nahrazením našeho světa kvality a smyslového vnímání, světa, ve kterém žijeme, milujeme a umíráme, světem kvantity, zhmotnělé geometrie, světem, ve kterém, byť je místo pro cokoli, není místo pro člověka. Tak se svět vědy – skutečný svět – stal odcizeným a naprosto odloučeným od světa života, který věda není schopna ani vyložit, ani uspokojivě vysvětlit, nazývající ho ‚subjektivním‘.

Pravda, tyto světy každodenně a stále víc a víc propojuje *praxe*. Přes to jsou pro *teorii* odděleny propastí.

Dva světy, to znamená dvě pravdy. Nebo žádná pravda.

Je to tragédie novodobého myšlení, jež rozřešilo ‚záhady vesmíru‘, jen aby je nahradilo jinou hádankou: myšlením samotným.“¹²

V Koyrého závěrech slyšíme bohužel stejné náměty jako u Pascala a Monoda – tragický pocit odcizení. Koyrého kritika nemíří ani tak proti vědeckému myšlení, jako spíše proti klasické vědě založené na newtonovských stanoviscích. Už se nemusíme obtížně rozhodovat jako v minulosti mezi vědou, redukující člověka na cizince ve světě zbytečném iluzí, a nevědeckými, iracionálními protesty. Koyrého kritika se nedovolává racionality coby „svěrací kazajky“, ale jen neschopnosti klasické vědy zabývat se některými základními rysy světa, ve kterém žijeme.

V této knize stojíme za názorem, že věda popsaná Koyréem není již naší vědou. A to nikoliv proto, že se dnes zajímáme o nové nepředsta-

vitelné objekty, které mají blíže k magii než k logice, ale protože jako vědci začínáme nacházet cestu k složitým procesům vytvářejícím svět, který důvěrně známe, přirozený svět, v němž žijí bytosti a jejichž společenstva se rozvíjejí. Dnes vsuknutí začínáme přecházet na druhou stranu, podle Koyrého ze „světa kvantity“ do světa „kvality“, a tedy „vznikání“. Bude to hlavním námětem 1. a 2. knihy. Věříme, že právě posun k novému popisu činí tento okamžik v dějinách vědy tak vzrušujícím. Snad nepřeháníme, řekneme-li, že je to období srovnatelné s obdobím řeckých atomistů či renesance, kdy se zrodil nový názor na přírodu. Ale vraťme se nejprve k newtonovské vědě, bezesporu k jednomu z velkých okamžiků v dějinách lidstva.

Newtonovská syntéza

Kde se vzalo nadšení Newtonových současníků, jejich přesvědčení, že tajemství vesmíru, pravda o přírodě, byly konečně zjeveny? V newtonovské syntéze se slévá několik myšlenkových proudů přítomných pravděpodobně od prvopočátku lidstva: především věda jako způsob působení na naše okolí. Newtonovská věda je rozhodně *aktivní* vědou. Jedním z jejich základních zdrojů jsou znalosti středověkých řemeslníků a stavitelů strojů. Tato věda poskytuje prostředky k soustavnému působení na svět, k předpovídání a ovlivňování průběhu přírodních dějů, k vytváření pomůcek, které mohou spoutat a využít síly a materiální zdroje přírody.

V tomto smyslu je moderní věda pokračováním staletého úsilí člověka o uspořádání a využívání světa, ve kterém žije. O počátečních obdobích tohoto snažení máme velmi sporé znalosti. V pohledu do minulosti je však možno odhadnout znalosti a dovednosti potřebné ke vzniku „neolitické revoluce“, tedy období, kdy člověk postupně začal organizovat své přírodní a společenské okolí, přičemž k využití přírody a organizování své společnosti užíval nové pracovní postupy. „Neolitické“ postupy, jako například chov zvířat nebo pěstování rostlin, tkalcovství, hrnčířství a zpracování kovů, užíváme stále, nebo jsme je donedávna užívali. Po dlouhou dobu bylo uspořádání naší společnosti založeno na stejných způsobech psaní, geometrie a aritmetiky, jako byly ty, které byly nutné k uspořádání hierarchicky rozvrstvených a strukturovaných společenských skupin „neolitických“ městských států. Proto je třeba si uvědomit návaznost postupů období „neolitu“ a vědecké a průmyslové revoluce.¹³

Moderní věda tak pokračuje v pradávném úsilí, zesiluje ho a stále hledá jeho rytmus. Nicméně význam vědy ve smyslu, který jí vtiskl a newtonovská syntéza, to nevyčerpalo.

Jako doplněk k různým postupům užívaným v dané společnosti se hledáváme s množstvím domněnek a mýtů, které se snaží o pochopení postavení člověka v přírodě. Věda podobně jako mýty a kosmologie usiluje o *pochopení* povahy světa, způsobu, jakým je organizován, a postavení člověka v něm.

Z našeho hlediska je zcela nepodstatné, že rané úvahy předsokratovců se zdají být odvozeny z hésiodovského mýtu o stvoření světa, tedy o prvotních prvcích Nebe a Země, touhy vyburcované Erotem, zrození prvního pokolení bohů k vytvoření rozlišených vesmírných mocností, keshody a sváru, střídajících se krutostí a krevní msty, až je konečně dosaženo stability pod vládou zákona práva a spravedlnosti (*diké*). Co je významné, že předsokratovci během několika generací shromáždili, odrobili diskusi a posoudili některé koncepty, a my se v nich pokouíme nalézt řád a pochopit vztah mezi bytím a nastáváním.

Odkud vzniká nestabilita v stejnorodosti? Proč dochází k samovolnému rozdělování? Proč vůbec věci existují? Jsou křehkým a smrtelným výsledkem křivdy, nerovnováhou v ustálené rovnováze sil mezi svářícími se přírodními mocnostmi? Nebo síly, které vytvářejí a pohánějí věci, existují nezávisle jako soupeřící mocnosti lásky a nenávisti vedoucí k zrození, růstu, úpadku a rozptýlení? Je změna iluzí, nebo naopak neonočícím zápasem protikladů vytvářejících věci? Může být kvalitativní změna zjednodušena na pohyb ve vzduchoprázdnu, na atomy lišící se jen svým tvarem, nebo se atomy samy skládají z množství kvalitativně odlišných a navzájem lišících zárodků, z nichž se žádný nepodobá druhému? A konečně, je harmonie světa matematická? Jsou čísla klíčem k přírodě?

Numerické pravidelnosti mezi zvuky, které objevili pythagorovci, jsou nadále součástí našich současných teorií. Matematická schémata zpracovaná Řeky tvoří první soubor abstraktního myšlení v evropských dějinách, tj. myšlení, jehož výsledky jsou sdílitelné a reprodukovatelné pro všechny uvažující lidské bytosti. Řekové tak jako první dospěli k formě deduktivního poznání, obsahující určitý stupeň jistoty a neovlivněné přesvědčením, očekáváním či vášněmi.

Nejdůležitějším společným rysem řeckého myšlení a moderní vědy, který kontrastuje s náboženským a mytickým způsobem kladení otázek, je důraz na kritickou diskusi a ověřování.¹⁴

O této filosofii předsokratovců, která vznikla v jónských městech řeckých koloniích Velkého Řecka (Magna Graecia), je známo málo.

Proto se o souvislostech, které by mohly být mezi vývojem teoretických a kosmologických hypotéz a rozvojem řemesel a technických dovedností v těchto městech, můžeme jen domýšlet. Je známo, že v důsledku nepřátelsky naladěné náboženské a společenské reakce byli filosofové obviňováni z ateismu a posíláni do vyhnanství nebo odsuzováni k smrti. Toto rané „povolání k pořádku“ může sloužit jako symbol důležitosti společenských faktorů při vzniku a rozvoji nových pojmů a konceptů. Pro pochopení úspěchu moderní vědy musíme též vysvětlit, proč její zakladatelé nebyli většinou příliš pronásledováni a proč jejich teorie nebyly potlačovány ve prospěch názorů, které více odpovídaly tehdejšímu společenskému očekávání a přesvědčení.

Ať je tomu jakkoli, již počínaje Platonem a Aristotelem byly vytyčeny meze a myšlení bylo usměrňováno společensky přijatelným směrem. Především se začalo rozlišovat mezi *teoretickým myšlením* a *technickou činností*. Slova, která užíváme dodnes – stroj, mechanický, inženýr – mají stále podobný význam. Nevztahují se k racionálním znalostem, ale k dovednostem a účelnosti. Záměrem nebylo poučit se o přírodních procesech, abychom je účelněji využili, ale abychom přírodu podváděli, abychom proti ní „kuli pikle“, tj. abychom dělali divy a pomáhali vytvářet jevy nepatřící „přírodnímu řádu“ věcí. Pole praktického ovlivňování a pole racionálního pochopení přírody se přísně oddělila. Z tohoto pohledu je Archimedes pouze inženýrem. Jeho matematický rozbor rovnováhy strojů není ve světě přírody považován za použitelný, alespoň v rámci tradiční fyziky. Naproti tomu newtonovská syntéza je vyjádřením soustavného spojení mezi ovlivňováním a teoretickým pochopením.

Existuje ještě třetí důležitý prvek, který nachází své vyjádření v newtonovské revoluci. Je jím, jak každý ví z vlastní zkušenosti, pozoruhodný kontrast tichého a klidného světa hvězd a planet a prchavého, turbulentního světa kolem nás. Jak zdůraznil Mircea Eliade, v mnoha starobylých civilizacích došlo k oddělení profánního a sakrálního prostoru, k rozdělení světa na prostor, který je předmětem změny a degradace, a na prostor posvátný, který patří myšlenkám a není závislý na nahodilostech a historiích. Do tak velkého kontrastu postavil svět hvězd a náš sublunární svět Aristoteles. Tento protiklad je rozhodující pro způsob, jakým Aristoteles vyhodnotil možnost kvantitativního popisu přírody. Od okamžiku, kdy pohyb nebeských těles není změnou, ale „božským“ stavem, který je věčně stejný, lze přírodu popsat matematickou idealizací. Matematická přesnost a rigoróznost nejsou pro pozemský svět významné. Nepřesné přírodní děje lze popisovat jen přibližně.

V každém případě je pro aristotelovce důležitější vědět, proč k procesu dochází, než popisovat, *jak* se uskutečňuje, spíše však obě hlediska slučují. Jedním z hlavních zdrojů Aristotelových myšlenek bylo pozorování zárodečného růstu, vysoce organizovaného děje, ve kterém se vzájemně proplétají i zřetelně nezávislé události zúčastňující se děje, který se zdá být částí nějakého souhrnného plánu. Podobně jako vyvíjející se embryo je i veškerá aristotelovská příroda uspořádána podle konečného účelu. Smyslem všech změn, je-li to v souladu s povahou věci, je uskutečnit v každém bytí dokonalost jeho intelektuální podstaty. Tato podstata, která je v případě živých tvorů zároveň jejich konečnou, základní faktickou příčinou, je klíčem k pochopení přírody. V tomto smyslu je „zrod moderní vědy“ střetem mezi Aristotelovými přívrženci a Galileem, střetem dvou podob racionality.¹⁵

Z Galileova pohledu byla otázka „proč“, tak drahá aristotelovcům, velmi nebezpečný způsob kladení otázek přírodě, přinejmenším pro vědce. Naopak aristotelovci považovali Galileův postoj za formu iracionálního fanatismu.

A tak s příchodem newtonovského systému zvítězila nová univerzálita, která sjednotila to, co se až do té doby jevilo jako rozdělené.

Experimentální dialog

Již jsme zdůraznili jeden ze základních prvků moderní vědy: sňatek teorie a praxe, splyvání snahy o utváření světa a touhy porozumět mu. K tomu, aby to bylo možné, nestačí vzdor přesvědčení empiriků uznávat jen fakta získaná pozorováním. V jistých ohledech, včetně popisu mechanického pohybu, to ve skutečnosti byla aristotelovská fyzika, která se snaže dostala do styku s empirickými fakty. Experimentální dialog s přírodou objevený moderní vědou obsahuje spíše *aktivní přístup* než pasivní pozorování. Je nutno zpracovat fyzikální realitu, „vysvětlit“ ji tak, aby co nejdříve odpovídala teoretickému popisu. Studovaný jev musí být připravován a vydělován tak dlouho, dokud se nepřiblíží *ideálnímu stavu*, který může být sice fyzikálně nedosažitelný, nicméně odpovídá převzatému koncepčnímu a pojmovému modelu.

Jako příklad použijeme popis systému kladek, který je klasický již od časů Archimedových. Archimedovy úvahy byly novověkými vědci rozšířeny tak, aby se vztahovaly na všechny jednoduché stroje. Je překvapivé, že moderní vysvětlení vyloučilo s poukazem na to, že je to nepodstatné, skutečnost, kterou se aristotelovská fyzika snažila za po-

užití typické představy vysvětlit, totiž že kámen „se vzpírá“ úsilí koně táhnout ho a že tento odpor lze „překonat“ tažnou silou využívající systému kladek. Příroda se podle Galilea nikdy nevzdává, nekoná práci pro nic za nic a nikdy se nedá podvést. Je nemyslitelné, že by ji bylo možné nějakým úskokem nebo užitím lsti donutit k práci navíc.¹⁶ Protože práce, kterou je kůň schopen vykonat, je stejná jak s kladkami, tak i bez nich, dosažený výsledek *musí* být stejný. Tento poznatek se pak stává výchozím bodem mechanického vysvětlení, vysvětlení, které se vztahuje k idealizovanému světu. V tomto světě má „nový“ jev – kámen uvedený nakonec do pohybu – až druhotný význam. Odpor kamene je popsán jen kvalitativně v pojmech tření a ohřevu. To, co bylo popsáno přesně, je ideální stav, v němž příčina, práce vykonaná koněm, a výsledek, pohyb kamene, jsou rovnocenné. V tomto dokonalém světě *může kůň v každém případě posunout kámen* a systém kladek má jen jediný účel – pozměnit dráhu, po které tažné síly působí. Namísto pohybu kamene po dráze L , která je rovna vzdálenosti, kterou kámen urazí za dobu, po kterou taháme za provaz, kůň kámen odtáhne jen do vzdálenosti L/n , kde n závisí na počtu kladek. Jako všechny jednoduché stroje, i kladky vytvářejí pasivní zařízení, které může pohyb přenášet, ale není ho schopno vyvolat.

Experimentální dialog tak odpovídá zvláštnímu postupu. Příroda je experimentem podrobena křížovému výslechu, a to – podobně jako u soudu – podle předem stanovených pravidel. Odpovědi přírody jsou sice zaznamenávány co nejpřesněji, ale jejich správnost je hodnocena termíny té samé idealizace, z níž se vycházelo při přípravě experimentu. Vše ostatní není považováno za informaci, ale za plané tlachání bez vážnějšího významu. Může se ovšem stát i to, že příroda příslušné teoretické hypotézy odmítne. Ale i těch lze užít jako určité normy, vůči které měříme důsledky a význam odezvy, a to bez ohledu na její podobu. Na tento imperativní způsob kladení otázek přírodě se ve svých argumentech proti vědecké racionalitě odvolává Heidegger.

Experimentální metoda je pro nás skutečným *uměním*, neboť i to je založeno na zvláštních dovednostech, a ne na obecných pravidlech. A jako takové nemá nikdy zaručen úspěch a je vždy odkázáno na dobrozdání triviálnosti nebo špatného úsudku. Žádné metodologické zásady nemohou vyloučit nebezpečí, že bádání uvízne ve slepé uličce. Experimentální metoda je uměním položení zajímavé otázky a zjištění všech důsledků, které jsou zahrnuty v uvažovaném teoretickém rámci, a hledáním všech možných odpovědí přírody jazykem dané teorie. Z úplného souboru přírodních jevů musí být vybrán jev, který nejprav-

děpodobněji a jednoznačně ztělesňuje důsledky teorie. Tento jev pak je z prostředí „pro něj typického“ vyjmut a použit k reprodukovatelnému a sdělitelnému prověření teorie.

Ačkoli byl experimentální postup již od počátku kritizován, ignorován empiriky a napadán ostatními se zdůvodněním, že je to v podstatě mučení, natahování přírody na skřípec, přežil všechny úpravy teoretického obsahu vědeckého popisu a nakonec definoval novou metodu výzkumu zavedenou moderní vědou.

Experimentální postup se může stát i nástrojem čistě teoretického rozboru. Jde pak o tzv. „myšlenkový pokus“, myšlenou představu experimentální situace zcela ovládané čistě teoretickými zásadami. Takový „experiment“ umožňuje prozkoumat důsledky těchto zásad v dané situaci. V Galileově díle sehrály tyto „myšlenkové experimenty“ rozhodující roli a dnes jsou těžištěm výzkumu zaměřeného na důsledky převratných koncepčních a pojmových změn v současné fyzice, zejména v teorii relativity a v kvantové teorii. Jedním z nejproslulejších myšlenkových pokusů je známý Einsteinův vlak. Pozorovatel sedící ve vlaku může měřit rychlost šíření světelného paprsku vyslaného podél železničního náspu. Světelný paprsek se šíří rychlostí c v souřadném systému, vůči kterému se vlak pohybuje rychlostí v . V souladu s klasickým uvažováním by měl pozorovatel ve vlaku přisoudit světlu, které se pohybuje stejným směrem jako on, rychlost $c - v$. Avšak tento klasický závěr dokládá naprosto přesně nesmyslnost toho, co měl myšlenkový pokus odhalit. Rychlost světla se v teorii relativity ukazuje být v přírodě neměnnou *univerzální* veličinou. Ať užijeme jakýkoli inerciální souřadnicový systém, rychlost světla je vždy stejná. A Einsteinův vlak se od té doby vydává zkoumat fyzikální důsledky této zásadní změny.

Experimentální metoda je to nejdůležitější, co v dialogu s přírodou uplatnila moderní věda. Otázky zadávané přírodě tímto způsobem ji samozřejmě zjednodušují a někdy i poškozují. To ji však nezabavuje schopnosti vyvrátit většinu námi vytvořených hypotéz. Einstein říkal, že příroda odpovídá na většinu otázek, které jsou jí kladeny, „ne“ a občas „snad“. Vědec si nemůže počínat, jak se mu zlíbí, a nemůže nutit přírodu, aby mu odpovídala jen tak, jak si on přeje. Nemůže do ní, alespoň ne dlouhodobě, promítat svá nejzbožnější přání a očekávání. Čím je jeho taktika vůči „dobývané“ přírodě úspěšnější, tím podléhá většímu riziku a hraje vyšší a nebezpečnější hru.¹⁷ Navíc, ať už zazní odpověď „ano“ či „ne“, vždy bude vyjádřena v tom teoretickém jazyce, v kterém byla otázka zadána. Nicméně i tento jazyk se vyvíjí.

Prochází složitým procesem historického vývoje, který zahrnuje minulé odpovědi přírody a její vztah k jiným teoretickým jazykům. Mimoto se v každém historickém období mění vědecké zájmy a vznikají nové otázky. Tím se vytvářejí složité vztahy mezi specifickými pravidly vědecké hry – zejména experimentální metoda logického vedení dialogu s přírodou klade hře největší omezení – a kulturní sférou, kam vědci, někdy i nevědomky, patří.

Jsme přesvědčeni, že experimentální dialog je nezvratitelnou možností lidské kultury. Poskytuje záruku, že při zkoumání přírody člověkem se s přírodou jedná jako s *nezávislým* jsouncem a je tak základem sdělitelné a reprodukovatelné povahy vědeckých výsledků. Jakkoli může příroda promlouvat jen omezeně, když se však jednou vyjádří, nebere svá slova zpět – příroda nikdy nelže.

Mýtus zrození vědy

Dialog člověka s přírodou byl zakladateli moderní vědy správně chápán jako základní krok na cestě k pochopení přírody. Jejich ctizádost šla však ještě dál. Galileo a jeho následovníci byli přesvědčeni, že věda je schopna objevit *souhrnnou* pravdu o přírodě. Měli za to, že přírodu by bylo možno popsat jiným jazykem než jazykem matematiky, který byl rozluštělný jen experimentováním; ale takový jazyk byl ve skutečnosti jen jeden. V souvislosti s tímto přesvědčením se svět jeví jako stejnorodý a dílčí experimenty mohou odhalit úplnou pravdu. Nejjednodušší jevy zkoumané vědou se mohou stát klíčem k pochopení přírody jako celku. Složitost přírody je jen zdánlivá a její rozmanitost lze vysvětlit univerzální pravdou, v Galileově případě vyjádřenou matematickými zákony pohybu.

Toto přesvědčení přežilo staletí. Ve vynikajícím souboru přednášek, vysílaných před několika lety BBC, přirovnal Richard Feynman¹⁸ přírodu k obrovské šachové partii. Její složitost je jen zdánlivá, každý tah se řídí jednoduchými pravidly. Moderní věda ve svých počátcích pravděpodobně přesvědčení o možnosti dosáhnout úplné pravdy potřebovala. Toto přesvědčení výrazně zvýšilo význam experimentální metody a do jisté míry ji i inspirovalo. Možná že bylo třeba revolučního pojetí světa, tak všeobjímajícího jako aristotelovské „biologické“ pojetí světa, abychom se zbavili jařma tradice, aby mistři experimentu dosáhli přesvědčivosti a síly argumentů, které by jim umožnily obhájit jejich tvrzení proti předchozím podobám racionalismu. Možná že bylo

třeba metafyzického přesvědčení, aby se znalosti řemeslníků a stavitelů strojů přeměnily v nové metody racionálního využívání přírody. Můžeme se podívat i tomu, jaké důsledky ve společnosti měla existence tohoto druhu „mytického“ přesvědčení pro vysvětlení prvních kroků moderní vědy. V této velmi sporné otázce se omezíme na několik obecných poznámek o samotné povaze problému, tj. problému vědy, jejíž pokrok byl jedněmi pocíťován jako vítězství rozumu, ale jinými vnímán jako zklamání, jako bolestivé zjištění, že příroda není dostatečně inteligentní a chová se jako robot.

Nelze popřít zásadní význam společenských a ekonomických faktorů – zejména rozvoje řemesel v kláštřích, ve kterých se zachovaly přežívající znalosti zaniklého světa, a později v obchodních městech – při zrodu experimentální vědy, která je systematizovanou formou části znalosti řemeslníků.

Navíc srovnávací analýza, jakou je například Needhamova¹⁹, odhaluje určující význam společenských struktur na konci středověku. Nejen že se – na rozdíl od starověkého Řecka – třídou řemeslníků a budoucích technických zlepšovatelů neopovrhovalo, ale řemeslníci a stejně tak i vzdělanci byli v podstatě nezávislí na moci. Byli svobodnými podnikateli, řemeslníky-vynálezci, hledajícími ochranu a přízeň u mecenášů, a tíhli ke všemu novému a využívali k tomu každé možné příležitosti, byť tím ohrožovali tehdejší společenský řád. Avšak na druhé straně, jak Needham zdůrazňuje, čínští vědci byli úředníky a museli dodržovat zákony byrokracie. Byli nedílnou součástí státu, jehož základním cílem bylo dodržování zákonů a pořádku. Kompas, tiskařský lis a střelný prach, z nichž každý přispěl k podkopání základů středověké společnosti a posouval Evropu do nového věku, byly v Číně objeveny mnohem dříve, ale na její společnost měly daleko méně destruktivní vliv. Naproti tomu podnikavá evropská obchodní společnost byla vhodným prostředím pro povzbuzení a podporu dynamického a novátorského růstu moderní vědy v jejích raných stadiích.

Otázka však přesto zůstává. Víme, že stavitelé strojů používali matematiku ke stanovení převodových poměrů, přemísťování různých pracovních částí a geometrie jejich vzájemných pohybů. Ale proč nebyla matematizace omezena jen na stroje? Proč byl přirozený pohyb spojován s představou racionálního stroje? Tuto otázku lze též položit v souvislosti s hodinami, jedním z triumfů středověkého řemesla, který brzy začal určovat tempo života ve větších středověkých městech. Proč se hodiny skoro okamžitě staly skutečným symbolem světového řádu? Poslední otázka možná obsahuje i prvky odpovědi. Hodiny jsou

contrivance (důmyslným mechanismem); jsou ovládané racionitou nacházející se vně hodin, plánem, který slepě vykonává jejich stroj. Svět hodin je metafora připomínající Boha hodináře, racionálního pána přírody podobající se robotu. V počátcích moderní vědy se ukázalo, že teologické disputace a teoreticko-experimentální činnosti se vzájemně ovlivňují, rezonují. Rezonance je bezpochyby schopna posilovat a upevňovat tvrzení, že vědci se podíleli na odhalování tajemství „velkého stroje vesmíru“.

Pojem *rezonance* popisuje velmi složitý problém. Nemáme v úmyslu tvrdit, ani nejsme schopni doložit, že náboženský diskurs *určil* zrod teoretické vědy či „vědeckého světového názoru“, který se ve spojení s experimentálním přístupem začal vyvíjet. Jestliže jsme užili pojmu *rezonance*, tedy vzájemného zesílení dvou diskursů, vybrali jsme po zralé úvaze pojem, který nesouvisí s tím, co bylo první a co dalo impuls k dalšímu vývoji, byl-li to náboženský diskurs či „mýtus vědy“.

Poznamenejme, že pro některé filozofy není otázka „křesťanského původu“ západní vědy jen otázkou ustálení představy přírody jako automatu, ale i otázkou jistých základních spojů mezi experimentální vědou jako takovou a hebrejskou a řeckou složkou západní civilizace. Alfred North Whitehead umísťuje tuto spojnici do úrovně instinktivního přesvědčení. Takové přesvědčení „potřebovali“ k podnícení „vědecké víry“ zakladatelé moderní vědy.

„Mám na mysli neotřesitelnou víru, že každá jednotlivá událost může souviset s předchozími událostmi zcela podle přesně stanovených obecných principů. Bez této víry by neuvěřitelná práce vědců neměla naději. Právě toto instinktivní přesvědčení, zřetelně předstihující představivost, je hnací silou výzkumu: existuje-li tajemství, lze je odhalit. Jak to, že toto přesvědčení tak výrazně zasáhlo evropské myšlení?“

Srovnáváme-li způsob evropského myšlení s myšlenkovým postojem ostatních civilizací v době, kdy byly ponechány samy sobě, zdá se, že má původ v jediném zdroji. Vychází ze středověkého důrazu na racionální Boha, ztotožňovanou s čínorodostí Jehovy a racionitou řeckého filozofa. Do detailu bylo vše pod dohledem a řízeno – zkoumání přírody mohlo vyústit jen v obhajobu víry v racionální. Podotýkám, že nemluvím o jasně formulované víře několika jednotlivců. Mám na mysli vliv, kterým působila na evropské myšlení víra, jež nebyla po staletí zpochybňována. Mním tím instinktivní způsob myšlení, nikoli jen víru vyjadřovanou slovně.“²⁰

Dále se již touto záležitostí nebudeme zabývat. Nepřichází v úvahu, abychom „dokazovali“, že moderní věda mohla vzniknout jen v křesťanské Evropě. Ani se nebudeme ptát, zda zakladatelé moderní vědy našli nějakou skutečnou inspiraci v teologickém zdůvodnění. Ať byli upřímní či nebyli, důležité je, že tato tvrzení učinila úvahy moderní vědy společensky věrohodnými a přijatelnými, a to v obdobích, která se v různých zemích lišila. Například v anglických vědeckých textech 19. století byly náboženské odkazy stále časté. Je pozoruhodné, že při současném oživení zájmu o mysticismus se postupuje a argumentuje opačně. Dnes je to věda, kdo propůjčuje věrohodnost mystickým tvrzením.

Otázka, které nyní čelíme, vede samozřejmě k množství problémů, jejichž teologický a vědecký obsah neoddelitelně souvisí s „vnějšími“ dějinami vědy, tedy na jedné straně s popisem vztahu formy a obsahu vědeckých znalostí a na druhé straně s funkcí přisouzenou jim tehdejšími společenskými, ekonomickými a institucionálními poměry. Nyní nás zajímá jediné: zvláštní charakter a důsledky vědeckého diskursu, posíleného rezonancí s teologickým diskursem.

Needham²¹ vypráví, s jakou ironií přivítali čínští učenci 18. století oznámení jezuitů o vítězstvích moderní vědy. Myšlenka, že příroda je ovládána jednoduchými, poznatelnými zákony, jim připadala jako dokonalá ukázka antropocentrické pošetilosti. Needham se domnívá, že tato „pošetilost“ má hluboké kulturní kořeny. K objasnění obrovských rozdílů mezi západním a čínským pojetím popisuje středověká soudní řízení vedená se zvířaty. Zrůdy, jako třeba kohout, který údajně snášel vejce, bývaly odsuzovány k smrti a upalovány, neboť přestoupily zákony přírody, které měly stejnou váhu jako zákony boží. Needham vysvětluje, proč by podobně obviněný čínský kohout s největší pravděpodobností pouze diskrétně zmizel. Neprovinil se žádným zločinem, ale jeho abnormální chování bylo v rozporu s harmonií v přírodě a ve společnosti. Guvernér provincie, nebo i císař sám by se ocitli v choulostivé situaci, pokud by kohoutovo nepatřičné chování vešlo ve známost. Needham dodává, že vzhledem k filosofickému pojetí převládajícímu v Číně je vesmír samovolně harmonický a řád jevů není dán působením žádné vnější moci. Naopak, tato harmonie v přírodě, ve společnosti a na nebesích má původ v rovnováze, která panuje v těchto třech sférách. Tyto procesy jsou stabilně a vzájemně závislé, rezonují navzájem v jakési nikým neřízené harmonii. Pokud by procesy podléhaly nějakému zákonu, byl by to zákon, který by nevymyslel nikdo, ani člověk, ani Bůh. Takový zákon by rovněž musel být vyjádřen člověku nesrozumitelným jazykem a byl by to zákon daný stvořitelem zplazeným v našich vlastních představách.

Needham uzavírá položením otázky:

„Podle názoru moderní vědy nejsou samozřejmě v ‚zákonech‘ přírody žádné zbytky představ o velení a povinnostech. Ty jsou nyní považovány, jak se ve své proslulé kapitole vyjádřil Karl Pearson, za statistické pravidelnosti platící pouze v daných časech a místech, za popisy, ale nikoliv za předpisy. O přesném stupni subjektivity při stanovování vědeckého zákona se vášnivě debatovalo během celého období od Macha po Eddingtona a zde není možno tyto otázky dále sledovat. Předmětem sporu bylo, zda lze uznání těchto statistických pravidelností a jejich matematického vyjádření dosáhnout jiným způsobem, než se ve skutečnosti ubírala západní věda. Bylo snad v kultuře, v níž se měl později zrodit Kepler, nutné duchovní klima umožňující soudní stíhání kohouta snášejícího vejce?“²²

Na tomto místě je nutné zdůraznit, že vědecká rozprava není v žádném případě pouhou transpozicí tradičních náboženských představ. Svět popsany klasickou fyzikou není samozřejmě světem Genesis, světem, ve kterém Bůh stvořil světlo, nebe, zemi a živé tvory, světem, kde Prozřetelnost nikdy nepřestala působit a popoháněla člověka směrem k budoucnosti, ve které je v sázce jeho spasení. Svět klasické fyziky je světem bez času, který, byl-li stvořen, musel být stvořen náhle, v nepřetržitě sledu operací podobných výrobě robota před jeho uvedením do provozu. V tomto smyslu se fyzika opravdu vyvinula v pozici jak k náboženství, tak k tradičním filosofiím. Víme, že křesťanský Bůh byl opravdu osloven, aby poskytl základnu k pochopení světa. Ve skutečnosti lze hovořit o jakémsi „sblížení“ zájmů teologů, kteří zastávají názor, že svět musí uznat Boží všemohoucnost svým naprostým podrobením se Bohu, a fyziků hledajících svět matematicky popsatelných jevů.

Aristotelův svět zničený moderní vědou nebyl přijatelný ani pro teology, ani pro fyziky. Z hlediska potřeb mnoha teologů byl tento uspořádaný, harmonický, hierarchický a racionální svět příliš nezávislý, bytosti, které ho obývaly, byly příliš silné a aktivní a jejich podřízenost absolutnímu vládci nebyla zcela bezvýhradná a úplná.²³ Na druhou stranu byl tento svět příliš složitý a kvalitativně rozlišený, aby mohl být matematicky popsán.

„Zmechanizovaná“ příroda moderní vědy, stvořená podle plánu a plně ovládaná záměrem, jehož si však není vědoma, oslavuje svého stvořitele a pozoruhodně vyhovuje jak potřebám teologů, tak fyziků. Ačkoli se již Leibniz snažil ukázat, že matematický popis je slučitelný

se světem, který staví na odív aktivní a kvalitativně rozlišené chování, vědci a teologové spojili síly k popisu přírody jako neinteligentního, pasivního ústrojí, zcela cizího svobodě a potřebám lidského ducha. Jak poznamenává Whitehead²⁴: „Tupá věc, beze zvuku, bez barvy a bez zápachu, pouze nekonečně a beze smyslu spěchající hmota.“ Tato křesťanská příroda zbavená všech vlastností, které by člověku umožnily ztotožnit se se starověkou harmonií „stávání se“, nechávající člověka osamocené před tváří Boha, se tak sblíží s přírodou, k jejímuž popisu stačí jediný jazyk a tisíce matematických jazyků, které slyšel Leibniz, nejsou třeba.

Teologie přispívá k osvětlení postoje člověka v situaci, kdy pracně luští zákony ovládající svět. Člověk rozhodně není částí přírody, kterou objektivně popisuje. Ovládá ji zvenčí. Podle Galilea je lidská duše, stvořená k obrazu božímu, schopna pochopit pravdy skryté v plánu stvoření. Může se tedy postupně přibližovat k poznání světa, jehož se Bůh intuitivně, rázem a v úplnosti zmocnil.²⁵

Na rozdíl od starověkých atomistů, kteří byli pro svůj ateismus pronásledováni, a na rozdíl od Leibnize, který byl občas podezírán z popírání existence boží milosti nebo lidské svobody, dokázali moderní vědci přijít s kulturně přijatelnou definicí svého konání. Lidská mysl přebývající v těle, jež podléhá zákonům přírody, může prostřednictvím experimentálních nástrojů získat přístup k výhodnému postavení, odkud přehlíží svět sám Bůh, k božím úmyslům, jejichž hmatatelným vyjádřením je právě svět. Nicméně mysl samotná zůstává mimo výsledky svých výkonů. Vědec může cokoliv, co vytváří strukturu přírody, například její vůně a barvy, popsat jako druhotné vlastnosti, tedy nikoliv jako část přírody, ale cosi, co jí přiřadí prostřednictvím naší mysli. Zlehčování přírody jde ruku v ruce s velebením všeho, co jí přesahuje, Boha i člověka.

Hranice klasické vědy

Pokoušeli jsme se popsat jedinečnou historickou situaci, kdy byla vědecká praxe a metafyzické přesvědčení úzce spojeny. Galileo a jeho následovníci narazili na stejné problémy jako středověcí stavitelé, ale k tomu, aby s pomocí Boží prosadili jednodušeost světa a univerzální jazyk, který experimentální metoda požadovala a posléze rozluštila, se museli vzdát svých empirických znalostí. Na základní mýtus, o němž se opírá moderní věda, lze tedy nahlížet jako na důsledek zvláštní situace na konci středověku, které umožnily rezonanci a po-

silily vzájemné působení hospodářských, politických, společenských, náboženských, filosofických a technických faktorů. Rychlá změna podmínek však nechala klasickou vědu na holičkách, izolovanou v měničích se kultuře.

Klasická věda se zrodila v kultuře ovládané spojenectvím *člověka* nalézajícího se mezi božským a přírodním řádem a *Bohem*, racionálním a našemu myšlení pochopitelným zákonodárcem, svrchovaným architektem, kterého jsme si vytvořili v našich představách. Přežil okamžik kulturního souznění, který filosofové a teologové opravňovali zabývat se společně vědou a dal právo vědcům rozluštit a vyjádřit názory na boží moudrost a moc Stvořitele. Vědci se s podporou náboženství a filosofie domnívali, že jejich zaujetí a odvaha jsou soběstačné a že vyčerpali možnosti racionálního přístupu k přírodním jevům. V tomto smyslu nemusel být vztah mezi vědeckým popisem a přírodní filosofií ospravedlňován. Mohlo by se zdát samozřejmé, že se věda s filosofií sblížovala a že věda objevovala principy filosofie přírody. Je s podivem, že soběstačnost vědců přežila odchod středověkého Boha a odvolání epistemologických záruk poskytovaných teologií. Původně smělá sázka se stala triumfující vědou 18. století,²⁶ vědou, která objevila zákony řídicí pohyb nebeských a zemských těles, vědou, kterou d'Alembert a Euler začlenili do úplného a konzistentního systému a jejíž dějiny Lagrange definoval jako logický úspěch směřující k dokonalosti. Byla to věda, již oceňovaly akademie věd založené absolutistickými vládci, jakými byli Ludvík XIV., Fridrich II. a Kateřina Veliká,²⁷ věda, která z Newtona učinila národního hrdinu. Jinak řečeno, byla to *úspěšná* věda, přesvědčená, že *dokázala*, že příroda je otevřená a transparentní. Laplaceova odpověď Napoleonovi, když se ho ptal na postavení Boha v jeho systému světa, byla: „*Je n'ai pas besoin de cette hypothèse - Tento předpoklad nepotřebuji.*“

Dualistické poznatky moderní vědy měly stejně jako její tvrzení přežít. V Laplaceově vědě, která je dodnes v mnoha ohledech svým pojetím klasickou vědou, je popis natolik objektivní, že pozorovatel je z něho vyloučen. Popis sám je vytvářen na základě stanoviska ležícího *de jure* mimo tento svět, tedy z božského hlediska, ke kterému lidská duše stvořená k obrazu božímu měla přístup na začátku. Klasická věda tedy stále směřuje k odhalení jediné pravdy o světě, k jedinému jazyku, který rozluští celou přírodu. Dnes bychom hovořili o *základní úrovni popisu*, z které lze veškeré bytí odvodit.

V tomto důležitém bodě citujeme Einsteina, který do moderních pojmů převedl přesně to, co bychom mohli nazvat základním mýtem vědy:

„Jaké místo zaujímá mezi všemi možnými obrazy světa obraz světa vytvořený teoretickými fyziky? Tento obraz vyžaduje při popisu vztahů nejvyšší možnou pečlivost a přesnost, a obojího lze dosáhnout jen matematikou. Na druhé straně, s ohledem na téma, se i fyzik musí velmi přísně omezovat. Musí se spokojit s popisem nejjednodušších událostí, které nepřesahují okruh našich zkušeností. Všechny složitější události se vymykají schopnostem lidského intelektu, než aby je bylo možné popsat s takovou přesností a dokonalostí, jakou požaduje teoretický fyzik, tedy se svrchovanou čistotou, jasností a určitostí na úkor úplnosti. Ale co může být přitažlivého na důkladném poznání tak drobnou částí přírody, když se cokoliv drobnějšího a složitějšího opatrně a bážlivě nechává stranou? Zaslouhuje si výsledek tak skromného úsilí nosit hrdý název teorie vesmíru?“

Název je podle mého mínění oprávněný, neboť obecné zákony vytvářející kostru teoretické fyziky tvrdí, že platí pro jakýkoli přírodní jev. Mělo být možné získat popis, jinými slovy dospět k teorii každého přírodního procesu včetně života pouhou dedukcí, ovšem nebyla-li by tato dedukce příliš vzdálena možnostem lidského intelektu. To, že se teoretičtí fyzikové zřekli úplnosti svého pojetí vesmíru, není tudíž jen záležitostí zásadních principů.“²⁸

Po nějakou dobu někteří setrvali v iluzi, že přitažlivost v podobě popsané gravitačním zákonem by ospravedlňovala přisuzování vnitřního zaujetí přírodě, a že pokud by byla zobecněna, vysvětlil by se původ stále většího počtu zvláštních aktivit, včetně vzájemného působení, které vytváří lidskou společnost. Tato naděje však rychle vzala zasně, zčásti jako důsledek požadavků politického, ekonomického a institucionálního prostředí, ve kterém se věda vyvíjela. Tuto stránku problému, i když důležitou, zkoumat nebudeme. Naším postojem zde chceme zdůraznit, že toto skutečně selháni se zdálo potvrzovat důslednost klasického pohledu a prokazovat, že to, co jednou bylo inspirujícím přesvědčením, byla smutná pravda. Jediným vysvětlením, schopným, jak se zdá, soupeřit s tímto pojetím vědy, bylo napříště pozitivistické odmítnutí plánu na pochopení světa. Například Ernst Mach, vlivný filosof a vědec, jehož myšlenky měly velký vliv na mladého Einsteina, definoval úkol vědeckého poznání jako schopnost co nejušporněji uspořádat zkušenosti. Věda nemá žádný jiný smysl než co nejjednodušeji a nejušporněji vyjadřovat fakta:

„Máme zde vodítko, jež nám pomůže zbavit vědu všech jejích tajemství a ukáže nám její skutečnou moc. Pokud jde o vlastní závěry, neposkytneme vám však nic, čeho bychom po dostatečně dlouhé době nedosáhli

bez metody... Stejně jako jednotlivec, zcela odkázaný na plody vlastní práce, nemůže nikdy nahromadit velké jmění, neboť základem bohatství a moci je výsledek práce mnoha lidí soustředěný v ruku jednoho člověka, tak ani žádné poznání nelze soustředit do jedné lidské myšli omezené délkou lidského života a nadané pouze omezenými silami až na jedinou výjimku: mimořádnou racionálnost a schopnost shromáždit zkušenosti tisíců spolupracovníků.“²⁹

Význam a užitečnost vědy tkví v tom, že vede k dobře organizovanému a účinnému myšlení. V předcházejícím tvrzení může být zrnko pravdy, ale obsahuje pravdu celou? Jak daleko jsme dospěli od Newtona, Leibnize a dalších zakladatelů západní vědy, jejichž ctižádostí bylo uspořádat fyzikální vesmír do systému, který by byl pochopitelný! Tady vede věda k pravidlům děje, které vzbuzují pozornost, ale k ničemu dalšímu.

A tím se dostáváme zpět k naší startovní čáře, k myšlence, že je to *klasická věda*, po jistou dobu považovaná za skutečný symbol kulturní jednoty, a nikoli věda, která vyústila v kulturní krizi, které jsme popsali. Vědci zjistili, že jsou omezeni na pouhé přebíhání mezi duněním „vědeckých mýtů“ a tichem „vědecké vážnosti“, na přebíhání mezi ujišťováním o absolutním a úplném charakteru vědecké pravdy a ústupem do vědeckých teorií jako pragmatického receptu k účinnému zasahování do přírodních procesů.

Jak jsme již uvedli, plně souhlasíme s názorem, že klasická věda dnes dospěla ke svým hranicím. Jedním rysem tohoto objevu je poznání hranic klasických představ, z nichž vyplývá, že znalost světa „takového, jaký je“ byla možná. Vševědoucí bytosti, Laplaceův nebo Maxwellův démon či Einsteinův Bůh, bytosti, které mají ve vědeckých úvahách tak významnou roli, obsahují způsob extrapolace, o které si fyzikové mysleli, že je jim povolena. Když do fyziky vstoupily náhodnost, složitost a nevratnost jako předměty pozitivního poznání, začali jsme se od tohoto spíše naivního předpokladu o přímém propojení našeho popisu světa a od světa jako takového vzdalovat. Objektivita v teoretické fyzice nabývá poněkud křehčího významu.

Tento vývoj nám byl vnucen dalšími neočekávanými objevy, které ukázaly, že existence univerzálních konstant, jako je rychlost světla, omezuje naši schopnost přírodou manipulovat. (O této nečekané situaci se zmíníme v kapitole 7.) Výsledkem bylo, že fyzikové museli zavést nové matematické postupy, které vztah poznání a jeho výkladu činily

komplexnějším. Ať již „realita“ znamená cokoli, vždy odpovídá aktivním myšlenkovým konstrukcím. Popisy předkládané vědou již nadále nelze oddělovat od způsobu našeho kladení otázek a nelze je tedy přičítat nějaké vševědoucí bytosti.

V předvečer newtonovské syntézy nařikal John Donne nad rozpadem aristotelovského kosmu vyvolaném Koperníkem:

„Vše zpochybňuje tato věda jiná,
v ní živel ohně téměř dohasíná,
slunce je ztraceno i země se nám ztrácí,
rozum nám neporadí, kde tu začít,
svět náhle není svět nám dobře známý,
když na obloze mezi planetami
je tolik nového, až nám to bere dech,
a znovu rozpadá se v atomech,
všechno je na kusy, nic spolu nesouvisí...“^{30*}

Zdá se, že z rozptýlených cihel a kamenů naší současné kultury se můžeme pokusit, podobně jako v době Johna Donne, znovu stavět v nových „souvislostech“. Klasická věda, mytická věda jednoduchého, pasivního světa, náleží minulosti, usmrcena nikoliv kritikou filosofů nebo rezignací empiriků, ale svým vlastním vnitřním vývojem.

* přeložila Hana Žantovská

Kapitola 2 Stanovení skutečnosti

Newtonovy zákony

Nyní se budeme zabývat mechanistickým světovým názorem tak, jak vyplývá z prací Galileových, Newtonových a jejich následovníků. Zaměříme se na silné stránky těchto prací a na popis vlastnosti přírody, které se jim podařilo objasnit, ale ukážeme též jejich omezení.

Již od doby Galileovy představoval popis zrychlení pohybu těles jeden z ústředních fyzikálních problémů. Jeho překvapivým rysem bylo, že změna pohybu tělesa mohla být popsána jednoduchými matematickými výrazy. Dnes se nám to zdá skoro triviální. Stále bychom měli mít na paměti, že čínská věda, v mnoha oborech tak úspěšná, pohybové zákony kvantitativně nestanovila. Galileo objevil, že se nemusíme ptát po *příčině* pohybu, je-li pohyb rovnoměrný, a ani není nutné se ptát po *příčině* klidu. Jak stav pohybu, tak stav klidu trvají tak dlouho, dokud nenastane něco, co je změni. Hlavním problémem je tedy *změna* klidu v pohyb a pohybu v klid, právě tak jako obecněji všechny změny rychlosti. Jak k těmto změnám dochází? Při odvození newtonovských pohybových zákonů bylo využito sblíživějšího se rozvoje matematiky a fyziky: ve fyzice to byly Keplerovy zákony pro pohyb planet a Galileovy zákony popisující padající tělesa a v matematice zavedení diferenciálního neboli „infinitesimálního“ počtu.

Jak lze spojit se měnící rychlost definovat? Jak můžeme popsat okamžité změny mnoha veličin, jako jsou poloha, rychlost a zrychlení? Jak lze popsat stav tělesa v libovolném časovém okamžiku? Aby tyto otázky mohli zodpovědět, zavedli matematici pojem *infinitesimálních* veličin. Infinitesimální veličina je výsledkem *limitního procesu*. Obvykle jde o změnu hodnoty veličiny, ke které dochází mezi dvěma po sobě jdoucími okamžiky, přičemž velikost časového intervalu mezi nimi se blíží nule. Změna je tak převedena v nekonečnou řadu nekonečně malých změn.

Pohyb tělesa lze v každém okamžiku popsat jeho polohou (polohovým vektorem) r , rychlostí v , charakterizující jeho „okamžitou snahu“ tuto polohu změnit, a zrychlením a , vyjadřujícím „okamžitou snahu“, tentokrát o změnu rychlosti. Okamžitá rychlost a zrychlení jsou limit-

ni hodnoty odpovídající podílu dvou infinitezimálních veličin: změně r (resp. v) během časového intervalu Δt , jehož hodnota se blíží nule. Takové veličiny jsou „derivacemi podle času“ a od dob Leibnizových se označují $v = dr/dt$ (resp. $a = dv/dt$). Tudiž zrychlení, jako derivace derivace, $a = d^2r/dt^2$, je „druhou derivací“. Problémem, na který se newtonovští fyzikové soustředili, je výpočet této druhé derivace, tj. v každém okamžiku výpočet zrychlení všech bodů tvořících systém. Pohyb každého z těchto bodů během konečného časového intervalu lze vypočítat *integrací*, sčítáním infinitezimálních změn rychlosti během tohoto intervalu. Nejjednodušším případem je pohyb s konstantním zrychlením, kdy a je konstantou (například pro volně padající těleso je a rovno tíhovému neboli gravitačnímu zrychlení g). Obecně řečeno, zrychlení samo se v čase mění a úkolem fyzika je přesně určit průběh této změny.

Zkoumat zrychlení znamená v newtonovském jazyce určit různé „síly“ působící na body vytvářející zkoumaný systém. Newtonův druhý zákon, zákon síly $F = ma$, uvádí, že síla F působící na jakýkoliv „hmotný“ bod hmotnosti m je úměrná velikosti jí vyvolaného zrychlení a . V případě systému hmotných bodů je problém značně složitější, neboť síly působící na dané těleso jsou v každém časovém okamžiku určeny vzájemnými vzdálenostmi bodů vytvářejících těleso a velikostí sil se tak v každém časovém okamžiku mění v závislosti na pohybu, který samy vyvolávají.

Problém je v dynamice popsán soustavou „diferenciálních“ rovnic. Okamžitý stav každého z bodů systému je popsán jeho polohou (polohovým vektorem), rychlostí a zrychlením, tedy první a druhou derivací polohy (polohového vektoru). Soustava sil, která je v každém časovém okamžiku funkcí vzdálenosti mezi body systému (funkcí r) přesně určuje zrychlení jednotlivých bodů. Zrychlení vyvolá změny vzájemných vzdáleností bodů systému a v následujícím okamžiku i změnu soustavy sil.

Zatímco diferenciální rovnice *popisují* dynamický problém, jejich „integrace“ představuje „řešení“ problému, které vede k výpočtu *trajektorií* $r(t)$ (tj. *drah pohybu bodů*). Vypočtené trajektorie obsahují všechny informace považované dynamikou za závažné. Jejich znalost zajišťuje úplný popis dynamického systému.

Popis dynamického systému má tedy dvě části: *popis polohy a rychlosti* každého z bodů v jednom časovém okamžiku, často nazývaný „počátečními podmínkami“, a pohybové rovnice spojující dynamické síly se zrychlením. Integrace těchto dynamických rovnic, při které vychá-

zíme z „počátečního stavu“ určeného počátečními podmínkami, odkrývá posloupnost stavů, tj. soubor trajektorií těles tvořících systém.

Vítězstvím newtonovské vědy je zjištění, že jediná síla, gravitační, určuje jak pohyb planet a komet na nebi, tak i pohyb těles padajících směrem k Zemi. Uvažujeme-li libovolnou dvojici hmotných těles, vyplývá z newtonovského systému, že jsou navzájem svázána stejnou přitažlivou silou. Newtonovská dynamika se tak ukazuje dvojnásobně univerzální. Definice gravitačního zákona, který popisuje snahu hmotných těles přiblížit se navzájem, v sobě neobsahuje žádnou zmínku o měřítku tohoto jevu. Gravitační zákon lze tedy použít stejně dobře k popisu pohybu atomů, planet nebo hvězd v Galaxii. Každé těleso, bez ohledu na svou velikost, má hmotnost a „je“ zdrojem newtonovských sil vzájemného působení.

Protože gravitační síly svazují libovolná dvě tělesa [pro dvě tělesa o hmotnostech m a m' a vzájemné vzdálenosti r je gravitační síla (v originále newtonovská síla – pozn. překl.) rovna kmm'/r^2 , kde k je gravitační konstanta velikosti $6,67 \cdot 10^{-11} \text{ Nm}^2\text{kg}^{-2}$], je jediným skutečným dynamickým systémem vesmír jako celek. Jakýkoliv místní dynamický systém, jakým je například náš planetární systém, lze popsat jen přibližně, neboť síly malé ve srovnání s těmi, jejichž vliv uvažujeme, jsou zanedbány.

Je třeba zdůraznit, že bez ohledu na výběr dynamického systému je zákon síly vždy $F = ma$. Mohou být objeveny jiné typy sil lišící se od těch, které byly objeveny zásluhou gravitace (a skutečně objeveny byly – například síly elektrického přitahování a odpuzování) a mohly by pozměnit empirický obsah zákona síly, nemohou však pozměnit jeho tvar. Ve světě dynamiky je změna ztotožněna se zrychlením nebo se zpomalením. Integrace pohybových rovnic vede k trajektoriím, po kterých se pohybují částice. Proto jsou zákony popisující změnu, působení času na přírodu, popsány charakteristickými trajektoriemi.

Základními charakteristikami trajektorií jsou *zákonitost*, *determinismus* a *vratnost*. Poznali jsme, že k výpočtu trajektorie potřebujeme kromě znalosti pohybových rovnic i empiricky stanovenou definici jednoho okamžitého stavu systému. Obecný zákon pak z počátečního stavu dedukuje posloupnost stavů, kterými systém v dalších okamžicích prochází, stejně jako logicky dedukuje závěr z prvotních předpokladů. Má pozoruhodnou vlastnost: pokud jsou síly jednou známy, stačí k úplnému popisu systému znát jeho libovolný okamžitý stav, a to nejenom k popisu systému v budoucnosti, ale i v minulosti. V každém okamžiku je tedy vše určeno. Dynamika definuje všechny stavy jako rovnocen-

né. Znalost každého z nich umožňuje výpočet ostatních stavů podél trajektorie. Ta všechny stavy spojuje, a to nezávisle na tom, zda se nacházejí v minulosti či budoucnosti.

„Vše je určeno.“ Tento závěr klasické dynamiky, který opakovaně zdůrazňoval Bergson, charakterizuje dynamikou popsanou skutečností. Vše je určeno, ale také je vše možné. Bytost, která je schopna řídit dynamický systém, může počáteční stav vypočítat tak, že systém „samovolně“ dosáhne libovolně zvoleného stavu v libovolném, předem vybraném čase. Obecnost zákonů dynamiky je dána libovůlí při výběru počátečních podmínek.

Vratnost dynamické trajektorie byla výslovně uvedena všemi zakladateli dynamiky. Když Galileo nebo Huyghens popisovali důsledky ekvivalence mezi příčinou a následkem postulované za základ matematizace pohybu, prováděli své pokusy jako „myšlenkový pokus“ a za příklad jim sloužily úderu pružným míčem o zem. Výsledkem okamžitých změn směru rychlosti by byl návrat tělesa (míče) do počáteční výchozí polohy. Tato schopnost vratnosti je dynamikou přičítána všem dynamickým změnám. Tento raný „myšlenkový pokus“ znázorňuje obecnou matematickou vlastnost dynamických rovnic. Z jejich tvaru vyplývá, že jsou-li směry rychlostí všech částí systému obráceny, systém se pohybuje „v čase zpět“. Systém by se vrátil do všech stavů, kterými během předcházející změny prošel. Dynamika definuje jako matematicky ekvivalentní takové změny, jakými jsou inverze času $t \rightarrow -t$ a inverze rychlosti $v \rightarrow -v$. Čeho bylo během jedné dynamické změny dosaženo, lze jinou změnou, definovanou inverzí rychlosti, anulovat, a tak přesně obnovit původní podmínky.

Tato vlastnost vratnosti v dynamice vede k obtížím, jejichž plný význam byl pochopen až se zavedením kvantové mechaniky. Ovlivňování a měření jsou v podstatě nevratné. *Aktivní* věda tedy podle definice nese souvisí s idealizovaným, vratným světem, který popisuje. Z obecnějšího hlediska může být vratnost považována za skutečný symbol „podivnosti“ světa popsaného dynamikou. Každý ví o absurdních jevech vyvolaných promítáním filmu pozpátku, o podívané na zápalku znovu obnovenou svým plamenem, o rozbitých kalamářích, jež se nejprve ze střepů složí dohromady a pak se vracejí na desku stolu poté, co do nich natekl vylitý inkoust, větvích, které se omladí a opět začnou rašit. Ve světě klasické dynamiky jsou takové události považovány za zcela normální.

Zákonům klasické dynamiky, které jsme se dříve učili ve škole, jsme tak přivykli, že nám často nedochází směrnost předpokladů, na nichž jsou založeny. Svět, ve kterém jsou všechny trajektorie vratné, je sku-

tečně podivný svět. Jiným udivujícím předpokladem je úplná nezávislost počátečních podmínek na pohybových zákonech. Je možno vzít kámen a hodit ho s počáteční rychlostí. Velikost této rychlosti je omezena pouze fyzickými předpoklady vrhače, ale co se složitým systémem, jakým je například plyn tvořený mnoha částicemi? Je očividné, že nadále již libovolné počáteční podmínky zavádět nemůžeme. Počáteční podmínky musí být výsledkem samotného dynamického vývoje, evoluce. Jde o významné hledisko, k němuž se vrátíme v třetí části této knihy. Ale ať jsou omezeni jakákoliv, můžeme i dnes, o tři století později, jen obdivovat logickou soudržnost a schopnosti matematických metod, které objevili zakladatelé klasické dynamiky.

Pohyb a změna

Aristoteles učinil čas měřítkem změny. Byl si zároveň plně vědom kvalitativní rozmanitosti změn v přírodě. V dynamice je však stále soustředěna pozornost jen k jednomu druhu změn, k jednomu „ději“ – pohybu. Kvalitativní rozmanitost přírodních změn je omezena na zkoumání relativních pohybů hmotných těles. Čas v dynamice je veličinou, která umožňuje tyto vzájemné pohyby popsat. Prostor a čas jsou ve světě klasické dynamiky navzájem neoddělitelně spojeny (viz též kapitola 9).

Je zajímavé porovnat změnu dynamické odezvy s atomistickým pojetím změny, které se těšilo značné oblibě v době, kdy Newton odvodil své zákony. Zdá se, že nejen Descartes, Gassendi a d'Alembert, ale i sám Newton věřili, že srážky pevných atomů jsou základním a snad jediným zdrojem změn pohybu.¹ Dynamický a atomistický popis se přesto radikálně liší. Spojitost zrychlení v rovnicích dynamiky je v ostrém kontrastu s přerušovanými, okamžitými srážkami tuhých částic. Již Newton si všiml, že v rozporu s dynamikou je v každé (nepružné) srážce obsažen nevratný úbytek pohybu. Pouze vratná srážka je v souladu se zákony dynamiky „pružnou“ srážkou, při které se zachovává velikost hybnosti. Jak se může na atomy, o nichž se předpokládá, že jsou základní složkou přírody, vztahovat „pružnost“?

Z druhé strany, na méně odborné úrovni, se zákony dynamického pohybu zdají odporovat náhodnosti obecně připisované srážkám atomů. Již starověcí filosofové ukázali, že každý přírodní proces lze za pomoci pojmů charakterizujících pohyb a srážky atomů vysvětlit mnoha různými způsoby. Pro atomisty to nebyl problém, neboť jejich hlavním

cílem bylo popsat bezbožný, zákonů neznalý svět, ve kterém je člověk svobodný a nemůže od žádného božského nebo přírodního řádu očekávat ani trest, ani odměnu. Klasická věda však byla vědou techniků a astronomů, vědou činu a předpovědi. Domněnky založené na předpokládaných atomech ji nemohly plně uspokojit. Naproti tomu Newtonův zákon umožnil předpovídat a ovládat. Příroda se tak z chaotické, nepoddajné a náhodné stala povolnou, předpověditelnou a dodržující zákony. Ale co je pojítkem mezi smrtelným, nestálým světem, ve kterém se atomy neustále spojují a oddělují, a neměnným světem dynamiky řízeným Newtonovým zákonem, jednoduchým matematickým vzorcem odpovídajícím věčné pravdě rozprostírající se směrem k tautologické budoucnosti? Ve dvacátém století jsme opět svědky srážky zákonitých a náhodných jevů, které, jak ukázal Koyré, trýznily již Descartesa.² Již od konce devatenáctého století, od zformulování kinetické teorie plynů, chaotický pohyb atomů znovu sjednotil fyziku a problém souvislosti mezi zákonem dynamiky a statistickým popisem pronikl až k úplnému jádru fyziky. Je to jeden z klíčových prvků současné obnovy dynamiky (viz kniha 3).

V osmnáctém století se však zdálo, že tento rozpor vytváří mrtvý bod. Lze tím částečně vysvětlit i skepsi některých fyziků 18. století, alespoň co se týče významu Newtonova dynamického popisu. Již jsme zaznamenali, že srážky mohou vést ke ztrátě pohybu. Tito fyzikové usuzovali, že „energie“ se v těchto neideálních případech nezachová, ale je *nevratně* ztracena (viz kapitola 4, část 3). Atomisté tedy nutně museli považovat dynamiku za idealizaci, která má omezený smysl. Evropanští fyzikové a matematikové, jako byli d'Alembert, Clairaut a Lagrange, dlouho odolávali svůdným půvabům „newtonismu“.

Kde jsou kořeny Newtonova pojmu změny? Zdá se, že jsou syntézou³ nauky o ideálních strojích, ve kterých se pohyb přenáší bez srážek a tření dotýkajících se dílů, a vědou o nebeských tělesech, která na sebe vzájemně působí na dálku. Viděli jsme, že to je protiklad atomismu, který je založen na představě náhodných srážek. Obhájuje se tím názor těch, kteří věřili, že Newtonova dynamika v dějinách myšlení představuje průlom v myšlení, revoluční novinku? Je to to, co tvrdili pozitivističtí historikové, když popisovali, jak Newton unikl kouzlu předpojatých představ a jak měl odvahu vyvodit z matematického studia pohybu planet a zákonů popisujících padající tělesa působení „univerzální“ síly. Víme, že racionalisté 18. století naopak zdůrazňovali zjevnou podobnost jeho „matematických“ sil a tradičních okultních vlastností. Tito kritici naštěstí nevěděli o podivné historice související

s newtonovskými silami! Za Newtonovým opatrným prohlášením: „Nevytvářím žádné hypotézy“, které se týkalo podstaty přírodních sil, se skrývalo nadšení alchymisty.⁴ Nyní víme, že Newton se po třicet let souběžně se svými matematickými studii zabýval alchymii a uskutečnil velice pečlivě laboratorní pokusy se snahou dosáhnout syntézy zlata.

Několik historiků nedávno dokonce předložilo k úvaze, zda newtonovská syntéza nebe a země nebyla spíše úspěchem chemika než astronoma. Newtonovská síla „oživující“ hmotu a v přesnějším slova smyslu vytvářející skutečnou činnost přírody, by pak byla nástupkyní sil, které chemik Newton pozoroval a s kterými zacházel, chemických „afinit“, vytvářejících a narušujících stále nové kombinace hmoty.⁵ Rozhodující vliv nebeských drah samozřejmě zůstával. Přesto Newton kolem roku 1679, na začátku svých intenzivních astronomických výzkumů, podle všeho očekával, že nové síly přitažlivosti objeví jen na nebi, že budou *podobné* chemickým silám a bude je snazší zkoumat matematicky. Jeho teoretické úsilí vyústilo o šest let později v nečekaný závěr: síly působící mezi planetami a síly, které urychlují padající tělesa, jsou nejen podobné, ale jsou stejné. Přitažlivost není typická jen pro každou planetu, ale je v podstatě stejná pro Měsíc obíhající kolem Země, pro planety, ale i pro komety prolétávající slunečním systémem. Newton na obloze objevil síly podobné chemickým silám: určité afinity, lišící se pro každou chemickou sloučeninu a umožňující každé sloučenině kvalitativně rozdílné působení. Jeho nesporným objevem byl obecný zákon, který, jak zdůrazňoval, lze použít k popisu všech jevů, ať jsou svou podstatou chemické, mechanické nebo nebeské.

Newtonovská syntéza byla překvapením. Nečekaný, ohromující objev, který vědecký svět připomíná tím, že z Newtona učinil symbol moderní vědy. A co obzvláště udivuje, že základní kód přírody byl rozluštěn jediným tvůrčím skutkem.

Tato náhlá sdílnost přírody, tento triumf anglického Mojžíše, se pro evropské racionalisty staly nadlouho zdrojem intelektuálního osočování. Na Newtonovu práci bylo nahlíženo jako na čistě empirický objev, který by mohl být stejně dobře empiricky vyvrácen. V roce 1747 Euler, Clairaut a d'Alembert, bezpochyby největší vědci té doby, došli k stejnému závěru: Newton se mýlil. K popisu pohybu Měsíce musí být matematický výraz popisující přitažlivou sílu složitější – přitažlivá síla je dána součtem dvou členů. Po následující dva roky všichni věřili, že příroda Newtonův omyl prokázala; pociťovali přitom vzrušení, nikoliv bázeň. Protože nepovažovali Newtonův objev za srovnatelný s výsledky fyziky, lehkověrně pozorovali, jak se fyzika hroutí. D'Alembert za-

šel dokonce tak daleko, že zpochybňoval hledání nového důkazu proti Newtonovi a dal mu „*le coup de pied de l'âne*“.^{6*}

Proti tomuto výroku se ve Francii ozval jen jeden statečný hlas. Buffon v roce 1748 napsal:

„Fyzikální zákon je zákonem jen na základě skutečnosti, že ho lze snadno změřit a že stupnice, kterou představuje, je nejen vždy stejná, ale je jediná... Pan Clairaut vznesl námitky proti Newtonovu systému, ale to byla přinejlepším jen námitka, která se nesmí a nemůže stát zásadou. Měl by být učiněn pokus o její překonání, a ne ji pouze přeměnit v teorii, jejíž celkový důsledek by spočíval ve výpočtech, protože, jak jsem řekl, výpočty lze popsat cokoliv a přitom se ničeho nemusí dosáhnout. A je-li dovoleno přidat k fyzikálnímu zákonu, jakým je zákon přitažlivosti, jeden nebo dva náhodné členy, rozšiřujeme jen libovolnost, místo abychom znázornili realitu.“⁷

Buffon poté oznámil to, co se mělo stát, i když jen na krátkou dobu, výzkumným programem v chemii:

„Zákony afinity, s jejichž pomocí se základní části různých látek oddělují od jiných, aby se pak sloučily dohromady a vytvořily stejnorodé sloučeniny, jsou stejné jako obecný zákon určující vzájemné působení všech nebeských těles navzájem – chovají se stejným způsobem a se stejnými poměry hmotnosti a vzdálenosti. Kapička vody, zrnko pisku nebo kovu působí na jinou kapičku nebo zrnko právě tak, jak působí Země na Měsíc, a byly-li zákony afinity dosud považovány za odlišné od zákonů gravitace, je to proto, že nebyly plně pochopeny a že neobsahují celou šířku problému. Tvar tělesa, který má na zákon vzájemného působení mezi tělesy pro nebeská tělesa vzhledem k jejich velké vzájemné vzdálenosti malý nebo žádný vliv, je naopak velice důležitý, je-li vzdálenost velmi malá nebo nulová... naši vnukové budou výpočty schopni získat přístup k této nové oblasti znalostí (tj. *odvodit* zákon vzájemného působení mezi jednoduchými tělesy z jejich tvarů).⁸

Historie dala za pravdu naturalistům, pro které síla nebyla pouhým matematickým trikem, ale skutečnou podstatou nové vědy o přírodě. Fyzikové byli později přinuceni přiznat svou chybu. O padesát let později mohl Laplace napsat svůj *Système du Monde*. Zákon všeobecné gravitace úspěšně obstál ve všech zkouškách a četné argumenty, které

* doslova „oslí kopnutí“ – tj. hanebné dorážení kleslého protivníka (pozn. překl.)

ho zdánlivě vyvracely, se změnily ve skvělý důkaz jeho platnosti. V téže době, pod Buffonovým vlivem, francouzští chemici znovu objevili zvláštní podobnost fyzikální přitažlivosti a chemické afinity.⁹ Přes posměšky d'Alemberta, Condillaca a Condorceta, jejichž sverepý racionalismus se s těmito nejasnými a jalovými „analogiemi“ zjevně neslučoval, sledovali Newtonovu cestu opačným směrem – od hvězd k hmotě.

Počátkem devatenáctého století se newtonovský program – redukce všech fyzikálně-chemických jevů na působení sil (což vedle gravitační přitažlivosti zahrnovalo odpudivou sílu tepla, která způsobovala zvětšování těles a upřednostňovala rozpouštění, jakož i elektrické a magnetické síly) – stal oficiálním programem Laplaceovy školy, která ovládala vědecký svět v době, kdy Napoleon vládl Evropě.¹⁰

Začátek devatenáctého století spatřil vznik velkých francouzských *écoles* (školy) a reorganizaci univerzit. Byla to doba, kdy se vědci stali učiteli a profesionálními výzkumníky a začali školit své následovníky.¹¹ Bylo to i období, kdy se vědci pokusili předložit syntézu dosavadního poznání a zařadit ji do učebnic a popularizačních spisů. O vědě se již nediskutovalo v *salonech*, věda se vyučovala a popularizovala.¹² Stala se předmětem stavovské shody a učitelské autority. První shoda se týkala newtonovského systému: ve Francii nakonec zvítězilo Buffonovo přesvědčení nad racionálním osvícenským skepticismem.

Bombastičnost následujících řádků z pera Ampèrova syna sto let po zbožnění Newtona v Anglii připomíná Popeův epitaf:¹³

„Kepler ohlásil tak příchod Mesiáše vědy
a rozptýlil tím mraky kolem Archy.
Slovo pak se stalo mužem, slovem vidoucího Boha,
k němuž úctu choval Platon a jenž jmenoval se Newton.
Přišel a odhalil nejvyšší a věčný princip
univerzální a věčně platný jako sám Bůh.
V světech panovalo ticho, on pak řekl slovo Přitažlivost.
Ono slovo, pravé slovo pro Stvoření.“

Po krátkou dobu, která přesto zanechala nesmazatelnou stopu, věda triumfovala, byla uznávána a uctívána mocnými a veleběna jako vlastník logického pojetí světa. Uctíván Laplacem stal se Newton symbolem zlatého věku. Bylo to opravdu šťastné období, v němž si vědci vážili sami sebe a ostatní v nich viděli průkopníky pokroku a jejich počinání schvalovala a podporovala celá společnost.

Jaký je význam newtonovské syntézy dnes, po objevu teorie pole, relativity a kvantové mechaniky? Je to složitý problém a my se k němu

vrátíme. Dnes víme, že příroda není vždy „spokojená a ve shodě sama se sebou“. Na mikroskopické úrovni byly zákony klasické mechaniky nahrazeny zákony kvantové mechaniky, a pokud jde o vesmír, došlo k nahrazení newtonovské fyziky fyzikou relativistickou. Klasická fyzika nicméně zůstává přirozeným vztáhným bodem. Ve smyslu, v kterém jsme ji definovali, tedy jako popis deterministických, vratných, statických trajektorií, můžeme newtonovskou dynamiku stále pokládat za jádro fyziky.

Klasická dynamika samozřejmě od svého zformulování Newtonem prodělala velké změny. Byly výsledkem práce takových matematiků a fyziků, jako byl Hamilton a Poincaré. Musíme zkrátka rozlišovat dvě období. První je období objasňování a zobecnování. Během druhého období prošly pojmy, na nichž klasická mechanika spočívá, jako jsou počáteční podmínky a význam trajektorií, kritickou revizí i v oblastech, kde (na rozdíl od kvantové mechaniky a relativity) klasická dynamika stále platí. V době, kdy píšeme tuto knihu, tj. na konci dvacátého století, jsme stále v tomto druhém období. Obraťme se nyní k obecnému jazyku dynamiky, který byl objeven vědci devatenáctého století. (Obrození klasické dynamiky v současné době krátce popíšeme v kapitole 9.)

Řeč dynamiky

Klasickou dynamiku lze dnes formulovat sevřeným a elegantním způsobem. Jak uvidíme dále, všechny vlastnosti dynamického systému mohou být vyjádřeny *jedinou* funkcí, hamiltoniánem. Jazyk dynamiky je tak pozoruhodně jednotný a ucelený. Lze jednoznačně formulovat každý „skutečný“ problém. Není divu, že struktura dynamiky již od osmnáctého století uchvacovala, ale i děsila.

V dynamice může být stejný systém zkoumán z různých hledisek. V klasické dynamice jsou všechna tato hlediska totožná, a to v tom smyslu, že od jednoho k druhému můžeme přecházet transformací, tj. změnou proměnných. Mluvíme pak o různých rovnocenných systémech, ve kterých platí zákony dynamiky. Tyto rovnocenné systémy pak tvoří obecný jazyk dynamiky. Lze ho použít k tomu, abychom explicitně zdůraznili statický charakter, který klasická dynamika popisovaným systémům připisuje. Čas se v mnoha třídách dynamických systémů uplatňuje pouze jako porucha, neboť jejich popis lze zjednodušit v popis vzájemně se neovlivňujících mechanických systémů. Pokusíme se tyto představy zavést, začneme zákonem zachování energie.

V ideálním světě dynamiky zbavené tření a srážek mají stroje účinnost rovnou jedné – neboť dynamický systém zahrnující stroj předává pouze všechnu pohybovou energii, kterou přijal. Stroj přijímající určitou potenciální energii (například stlačené pružiny, zdviženého závaží nebo stlačeného vzduchu) lze uvést do pohybu odpovídajícího „stejně“ kinetické energii, přesněji rovné té, které by bylo třeba k obnově potenciální energie, kterou stroj využil při vytváření pohybu. Nejjednodušší případ je ten, v němž jedinou uvažovanou silou je tíha (působící v jednoduchých strojích, kladkách, pákách, navijácích apod.). V takovém případě je snadné prokázat naprostou rovnost příčiny a následku. Výška (h), kterou těleso během pádu urazí, zcela určuje rychlost získanou při pádu. Padá-li těleso hmotnosti m svisle, pohybovalo-li se po nakloněné rovině nebo na toboganu, získaná rychlost (v) (a kinetická energie $[mv^2/2]$) závisí jen na změně výšek h ($v = \sqrt{2gh}$) a odpovídá energii, které je třeba k návratu tělesa do původní výšky. Práce vykonaná při zvedání tělesa v tíhovém poli „obnovuje“ potenciální energii mgh , kterou těleso (resp. systém) při pádu ztratilo. Jiným příkladem je kyvadlo, jehož kinetická a potenciální energie se nepřetržitě navzájem přeměňují.*

Samozřejmě, jde-li místo tělesa padajícího k Zemi o systém vzájemně působících těles, lze si situaci představit obtížněji. Přesto v každém okamžiku dochází k vyrovnávání celkové změny kinetické energie se změnou energie potenciální (související se změnou vzájemných vzdáleností bodů systému). I nyní se celková velikost energie izolovaného systému zachovává.

Potenciální energie (nebo „potenciál“, obvykle značený V) závisící na vzájemné poloze částic je tedy zobecněním veličiny, jež stavitelům strojů umožnila měřit pohyb, který stroj mohl vykonávat v důsledku změn svého prostorového uspořádání (například změně výškové polohy části stroje o hmotnosti m odpovídá potenciální energie mgh). Potenciální energie nám navíc umožňuje vypočítat soubor sil, které v každém okamžiku působí v různých místech popisovaného systému. Derivace potenciálu podle prostorové souřadnice q určuje v každém bodě sílu působící ve směru souřadnice q .** Newtonův pohybový zákon lze tedy formulovat pomocí potenciálu nahrazujícího sílu: změna rychlosti hmotného bodu o hmotnosti m (nebo hybnosti p , což je sou-

* Předpokládá se, že se pohyby konají beze ztrát. (pozn. překl.)

** Ve skutečnosti jde o záporně vzatou derivaci, neboť síly míří k minimu potenciální energie. (pozn. překl.)

čin hmotnosti a rychlosti) je v každém okamžiku určena derivací potenciálu podle souřadnice q .

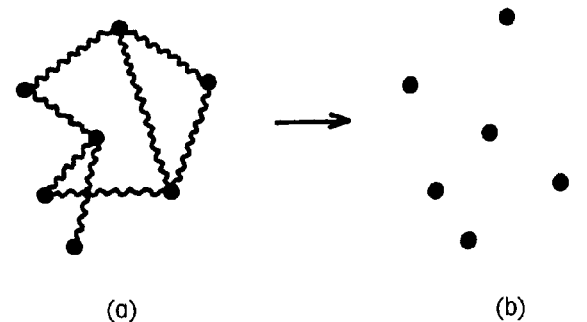
V devatenáctém století byla tato formulace zobecněna zavedením nové funkce, hamiltoniánu (H). Hamiltonián jednoduše vyjadřuje celkovou energii systému, která je dána součtem jeho potenciální a kinetické energie. Tato funkce (energie) však již není funkcí poloh a rychlostí, obvykle značených q a dq/dt , ale funkcí takzvaných kanonických proměnných – zobecněných souřadnic a zobecněných hybností, jejichž obvyklé označení je q a p . V jednoduchých případech, jakým je například popis volné částice, je mezi rychlostí a hybností zřetelný vztah ($p = mdq/dt$), obecně je však tento vztah složitější.

Jediná funkce, hamiltonián, $H(p,q)$, tak úplně popisuje dynamické vlastnosti soustavy. Všechny naše empirické poznatky jsou převedeny do tvaru H . Je-li tato funkce jednou známa, můžeme, alespoň principiálně, řešit všechny možné problémy. Například časová změna souřadnice a hybnosti je jednoduše dána derivací H podle p nebo q . Popis dynamických vlastností s užitím hamiltoniánu je jedním z největších úspěchů v dějinách vědy. V teorii elektřiny a magnetismu byl tento popis výrazně rozšířen. Používá se však i v kvantové mechanice, avšak zde, jak dále uvidíme, musel být význam hamiltoniánu H zobecněn. V kvantové mechanice již není hamiltonián pouze jednoduchou funkcí souřadnic a hybností, ale stává se novou matematickou formou (výrazem) – operátorem. (K této otázce se vrátíme v kapitole 7.) Popis soustav hamiltoniánem má každopádně i dnes stále velkou důležitost. Rovnice, které prostřednictvím derivace hamiltoniánu určují časové změny souřadnic a hybností, jsou tzv. Hamiltonovy kanonické rovnice. Obsahují obecné vlastnosti všech dynamických změn. A v tom je úspěch matematizace přírody. Všechny dynamické změny, k jejichž popisu lze užít klasickou dynamiku, mohou být převedeny do těchto jednoduchých matematických rovnic.

Použijeme-li tyto rovnice, můžeme ověřit výše zmíněné obecné vlastnosti vyplývající z klasické dynamiky. Hamiltonovy kanonické rovnice jsou vratné, inverze času je matematicky rovna inverzi rychlosti. Jsou také konzervativní.* Hamiltonián vyjadřující energii systému v kanonických proměnných, tedy v souřadnicích a hybnostech, se sám změnami, které v průběhu času vyvolává, zachovává.

Již jsme si všimli, že je mnoho hledisek, nebo „reprezentací“, kterými lze vyjádřit Hamiltonovy pohybové rovnice. Tyto tvary odpovídají

* v systému nedochází ke ztrátám energie (pozn. překl.)



Obr. 1 Dvě znázornění stejného dynamického systému: (a) jako soubor vzájemně působících bodů, jejichž vzájemné působení je označeno vlnkami; (b) jako soubor, v němž se každý bod chová nezávisle na ostatních bodech. Potenciální energie se neuvažuje, takže jejich vlastní pohyby výslovně nezávisí na jejich vzájemných polohách.

zvoleným souřadnicím a hybnostem. Jedním ze základních problémů dynamiky je, jak přesně zvolit dvojici kanonických proměnných q a p , abychom obdrželi co nejjednodušší popis dynamického chování. Například bychom mohli hledat kanonické proměnné, ve kterých by byl hamiltonián zjednodušen na vyjádření kinetické energie a závisel by pouze na hybnostech (a již ne na souřadnicích). Pozoruhodné je, že hybnosti se v tomto případě stanou konstantami pohybu. Skutečně, jak jsme již poznali, časová změna hybnosti závisí dle kanonických rovnic na derivaci hamiltoniánu podle souřadnic. Pokud je tato derivace nulová, hybnosti se opravdu stanou konstantami pohybu. Je to podobné tomu, co nastane v soustavě „volných částic“. Při přechodu k soustavě volných částic jsme odstranili jejich vzájemné působení změnou vyjádření (popisu) reprezentace. Soustavy, u nichž je toto možné, nazveme „integrovatelnými soustavami“. Každá integrovatelná soustava tak může být popsána souborem jednotek, z nichž každá se mění zvlášť, zcela nezávisle na ostatních. Tento věčný a neměnný pohyb připisoval Aristoteles nebeským tělesům.

Již jsme zaznamenali, že v dynamice „je vše dáno“. Zde to znamená, že skutečně od prvního okamžiku je hodnota různých invariantů* pohybu pevná. Nic se nemůže „stát“ nebo „nastat“. Dospíváme zde do

* invariant – veličina, která se při jistých operacích nemění (pozn. překl.)

jednoho z oněch dramatických okamžiků v dějinách vědy, kdy byl popis přírody omezen téměř až na její statický obraz. Vhodnou změnou proměnných lze skutečně dosáhnout toho, že všechna vzájemná působení vymizí. Věřilo se, že integrovatelná soustava, kterou je možno zjednodušit na soustavu volných částic, je prototypem dynamického systému. Celé generace matematiků a fyziků usilovaly nalézt pro každý druh soustav „správné“ proměnné, které by vzájemné působení odstranily. Pravděpodobně nejdůležitějším a nejšířejí zkoumaným problémem byl problém tří těles. Jako příklad můžeme uvést pohyb Měsíce, ovlivněný jak Zemí, tak Sluncem. O jeho vyjádření ve formě integrovatelné soustavy bylo učiněno bezpočet pokusů, ale teprve na konci devatenáctého století Bruns a Poincaré ukázali, že je to nemožné. Jejich zjištění vyvolalo velké překvapení a ve skutečnosti znamenalo konec všem jednoduchým extrapolacím dynamiky založené na integrovatelných soustavách. Brunsův a Poincaréův objev ukazuje, že dynamické systémy nejsou izomorfní.* Jednoduše řečeno, integrovatelné soustavy mohou být skutečně zjednodušeny na vzájemně nepůsobící jednotky, ale obecně vyloučit vzájemné působení nelze. Ačkoli se tehdy tomuto objevu příliš nerozumělo, vyplývalo z něho, že dynamický svět není homogenní a redukovatelný na představu integrovatelných soustav. Příroda jako vyvíjející se a vzájemně na sebe působící mnohočetnost tím odmítla, aby byla omezena na bezčasové a obecné schéma.

Objevily se i další náznaky ukazující stejným směrem. Zmínili jsme se, že trajektorie odpovídají deterministickým zákonům. Pokud je počáteční stav jednou dán, dynamické zákony pohybu umožňují výpočet trajektorie v každém bodě, a to jak v budoucnosti, tak v minulosti. V některých singulárních bodech se nicméně trajektorie může stát vnitřně neurčenou. Například tuhé kyvadlo může vykazovat dva kvalitativně odlišné způsoby chování, může buď kmitat, nebo se může otáčet kolem bodů, ve kterých je zavěšeno. Postačuje-li počáteční impuls právě k tomu, aby se kyvadlo dostalo do svislé vztyčené polohy s nulovou rychlostí, je směr, ve kterém bude padat, a tedy i charakter pohybu neurčitý. Nekonečně malá změna bude stačit k tomu, aby se otáčelo nebo kmitalo. (Problém „nestability“ pohybu bude plně pojednán v kapitole 9.)

Je příznačné, že již Maxwell zdůrazňoval význam těchto singulárních bodů. Po popisu výbuchu střelné bavlňy pokračoval:

* izomorfismus – matematický způsob jednoznačného přiřazování prvků (pozn. překl.)

„Ve všech takových případech je jedna společná okolnost – soustava má množství potenciální energie, která je schopna přeměny v pohyb, ale tato přeměna nemůže začít, dokud soustava nedosáhne určitého uspořádání. K tomu, abychom ho dosáhli, je však třeba vynaložit práci, která v některých případech může být i nekonečně malá, avšak obecně k uvolnění energii není v žádném určitém poměru. Například skála uvolněná mrazem a udržující se v rovnováze v jediném singulárním bodu na boku hory, jiskřička, která zapálí velký les, slůvko, které uvede svět do boje, nepatrná pochybnost, která člověku zabrání provést jeho záměr, malý výtrus, který způsobí, že všechny brambory jsou napadeny sněhí, malý zárodek, z něhož se staneme filosofové nebo hlupáky. Každé bytí nad určitou mezí má své singulární body: čím vyšší mez, tím více je singulárních bodů. Tyto body, jejichž fyzikální význam je příliš nepodstatný na to, aby u konečných úrvarů byl uvažován, mohou vyvolat důsledky nejvyšší důležitosti. Všechny velké objevy, jichž bylo dosaženo lidským úsilím, závisí na využití těchto singulárních stavů, když nastanou.“¹⁴

Tato představa nebyla dále rozpracovávána, neboť chyběly vhodné matematické postupy k určování soustav obsahujících takové singulární body a rovněž chyběly hlubší znalosti chemie a biologie, které dnes dovolují proniknout k podstatě a významu takových singulárních bodů hlouběji.

Ale ať je tomu jakkoliv, od doby Leibnizových monád až do dnešních dnů (například stacionární stavy elektronů v Bohrově modelu – viz kapitola 7) byly integrovatelné systémy modelem dynamického systému par excellence a fyzikové se pokoušeli rozšířit vlastnosti něčeho, co je ve skutečnosti velmi speciální třídou Hamiltonových rovnic, na všechny přírodní procesy. Třída integrovatelných systémů je jediná, která až do nedávné doby byla důkladně prozkoumána. Navíc zde sehrálo roli okouzlení uzavřenou soustavou schopnou představovat všechny problémy (za předpokladu, že je nedefinuje jako bezvýznamné). Dynamika takovým jazykem je; je-li jazyk úplný, má podle definice stejný rozsah jako svět, který popisuje. Dynamika předpokládá, že všechny problémy, ať jsou jednoduché či složité, jsou si vzájemně podobné, neboť je lze vždy popsat ve stejném obecném tvaru. A z toho vyplývá pokušení učinit závěr, že i všechny problémy se z hlediska svých řešení navzájem podobají a že se již nic nového nemůže objevit ani v důsledku větší či menší složitosti integrace. Nyní víme, že tato vnitřní stejnorodost je jen zdánlivá a chybná. Mechanistický světový názor byl přijatelný jen potud, pokud se pozorovatelné jevy vztahovaly tím či oním způsobem k pohybu. Ale nyní tomu tak již není. Například nestabilní částí-

ce mají energii, která může být spojena s pohybem, ale mají i dobu života, která je naprosto odlišným druhem pozorovatelné veličiny a je, jak uvidíme v kapitolách 4 a 5, těsněji svázána s nevratnými ději. Nutnost zavedení nových pozorovatelných veličin do teoretických věd byla a i dnes je stále jednou z hnacích sil, která nás uvádí do oblastí mimo mechanistický pohled na svět.

Laplaceův démon

Extrapolace z dříve uvedeného dynamického popisu mají symbol – démona, kterého si vymyslel Laplace. Tento démon je v každém daném časovém okamžiku schopen nejen pozorovat polohu a rychlost každé hmoty, která je částí vesmíru, ale i odvozovat její vývoj, a to jak směrem do minulosti, tak i do budoucnosti. Nikdo nikdy nepočítal s tím, že by fyzikové mohli mít někdy prospěch z poznání Laplaceova démona. Laplace sám tuto fikci užíval k tomu, aby ukázal rozsah naší nevědomosti a potřebu statistického popisu některých dějů. Problematika Laplaceova démona není spojena s otázkou, zda je deterministická předpověď průběhu událostí skutečně možná, ale zda je možná principiálně, *de jure*. Zdá se, že tato možnost je zahrnuta v mechanistickém popisu, s jeho typickou dualitou, založenou na pohybových zákonech a počátečních podmínkách.

Skutečnost, že dynamická soustava je řízena deterministickým zákonem, přestože v praxi naše neznalost počátečního stavu vylučuje jakoukoli možnost deterministické předpovědi, připouští takovou „objektivní věrnost“ popisu soustavy, jakou by viděl Laplaceův démon a která by se v důsledku existence empirických mezi vyvolaných naší nevědomostí zřejmě lišila. V souvislostech klasické dynamiky může být deterministický popis v praxi nedosažitelný, nicméně vytváří *hranici*, která vymezuje řadu postupně zpřesněných popisů. Právě shoda této duality vytvářené pohybovým zákonem a počátečními podmínkami je výzvou k obnovení klasické dynamiky; popíšeme ji v kapitole 9. Uvidíme, že pohyb se může stát tak složitým a trajektorie tak proměnlivými, že nám žádné, byť sebestpřesnější pozorování neumožní určit přesné počáteční podmínky. A v tomto bodě se dualita, na níž byla vybudována klasická dynamika, zhroutí. Předpovědět lze jen střední průběhy souboru trajektorií.

Ke zrodu moderní vědy přispělo zhroucení animistického vztahu k přírodě. Člověk v aristotelovském světě se zdál zaujímat místo živé-

ho a vědoucího stvoření. Svět mu byl stvořen na míru. První experimentální dialog převzal část svého společenského a filosofického oprávnění z jiného spojení, tentokrát s racionálním křesťanským Bohem. V míře, v jaké se dynamika stala a stále je modelem vědy, přetrvávají jisté důsledky tohoto historického stavu až dodnes.

Věda nadále plní roli proroka a zjevuje popis světa zřetelného z hlediska Boha nebo démona. Je to věda Newtonova, nového Mojžíše, jež byla odhalena pravda o světě. Je to *zjevená* věda, která se zdá být cizí jakýmkoliv společenským a dějinným souvislostem ztotožňujícím ji s výsledkem činnosti lidské společnosti. Diskurs inspirovaný Bohem provází celé dějiny fyziky. Provázel každé koncepční zlepšení, každou příležitost, při které se zdálo, že fyzika již dospěla k okamžiku sjednocení a maska rozšafného pozitivismu byla stržena. Fyzikové vždy opakovali, co tak jasně prohlašoval Ampèreův syn – všeobecná přitažlivost, energie, pole, elementární částice – jsou slovy Stvoření. Vždycky – v Laplaceově době, na konci devatenáctého století, nakonec i dnes – fyzikové prohlašují, že fyzika je zavřenou knihou, která je nám nepřístupná. Existuje jediná bašta, v níž příroda i nadále odolává a jejíž dobytí by přírodu zanechalo bezbrannou, přemoženou a porobenou našimi znalostmi. Bezděčně tak opakují rituál dávné víry. Oznamují příchod nového Mojžíše a s ním i příchod nového mesiášského období vědy.

Někdo si přeje, abychom k těmto „prorockým“ tvrzením, poněkud naivnímu nadšení nepřihlíželi. Je jistě pravda, že dialog s přírodou pokračuje v zásadě stále stejně, spolu s hledáním nových teoretických jazyků, nových otázek a nových odpovědí. Nelze však souhlasit s přísným oddělením vědcovy „současné“ práce a způsobu, jakým tuto práci posuzuje, vysvětluje a směřuje. Přijetí by znamenalo zredukovat vědu na ahistorické hromadění výsledků a nevěnovat pozornost tomu, čeho se fyzikové snaží dosáhnout, ideálnímu poznání, důvodům, proč se občas znesváří, nebo se nejsou schopni mezi sebou dorozumět.¹⁵

A byl to opět Einstein, kdo zformuloval hádanku vytvořenou mýtem moderní vědy. Považuje za zázrak a za úžasnou jedinečnou vlastnost vědy, že vůbec existuje, že se jejím prostřednictvím pokoušíme sblížit přírodu s lidskou myslí. Podobně, když Du Bois-Reymond na konci devatenáctého století učinil z Laplaceova démona skutečné vtělení logiky moderní vědy, dodal „Ignoramus, ignorabimus“: nikdy nepoznáme spojitosti mezi světem vědy a myslí, která zná, uvědomuje si a vědu vytváří.¹⁶

Příroda promlouvá tisíci jazyky a my jsme jim teprve začali naslouchat. Laplaceův démon přesto po dvě století otravoval naši představivost a byl noční můrou, kdy se všechny ostatní věci jevíly bezvýznamnými. Kdyby to byla pravda, že svět je démon, bytost, která má k dispozici stejnou vědu jako my, ale je vybavena bystřejšími smysly a lepší schopností počítat, mohl by, vycházející z pozorování okamžitého stavu, vypočítat jeho budoucnost a minulost. Pokud nic kvalitativně neodlišuje jednoduché systémy, které lze odvodit ze systémů složitějších, vyžadujících existenci démona, pak není svět ničím jiným než obrovskou tautologií. To je výzva vědy, kterou jsme zdědili od našich předchůdců, kouzlo, které dnes musíme zařikávat.

Kapitola 3 Dvě kultury

Diderot a rozmluva o životě

Nisbet ve své zajímavé knize o dějinách myšlenky pokroku píše:

„Žádná myšlenka nebyla po dobu zhruba tří tisíc let důležitější, nebo alespoň stejně důležitá, jako myšlenka pokroku v západní kultuře.“¹

Myšlenky pokroku nacházely největší oporu v dosahovaném poznání, v shromažďování poznatků. Jejich soustavný nárůst skýtá velkou podporu.

Připomeňme si pozoruhodné objevy dosažené na konci osmnáctého a na začátku devatenáctého století: nauku o teple, elektřině, magnetismu a optiku. Nepřekvapuje, že myšlenka vědeckého pokroku, která byla zřetelně zformulována již v osmnáctém století, převládla i ve století devatenáctém. Nicméně, jak jsme již zdůraznili, postavení vědy v západní kultuře zůstávalo vratké, což počínaje vrcholným osvícenstvím, vtisklo myšlenkám a jejich historii dramatický charakter.

O druhé možnosti jsme se již zmínili – přijmout vědu včetně toho, co se zdá být jejími již odcizenými závěry, nebo se obrátit k protivědecké metafyzice. Již jsme též zdůraznili samotou pocíťovanou moderními lidmi, osamělost popsanou Pascalem, Kierkegaardem nebo Monodem. Zmínili jsme se také o důsledcích protivědecké Heideggerovy metafyziky. Nyní pohovoříme podrobněji o některých zvláštních rysech intelektuálních dějin Západu, od Diderota, Kanta a Hegela až po Whiteheada a Bergsona. Všichni se pokoušeli o analýzu a vytýčení hranic působnosti moderní vědy stejně jako o otevření nových možností, byť vypadaly jako této vědě cizí. Dnes přiznáváme, že většina těchto pokusů zpravidla selhala. Málokdo by například připustil, že Kantovo dělení světa na oblast jevů a noumen*, nebo Bergsonova „intuice“ měly stejný význam pro poznání jako věda. Tyto pokusy zůstávají nadále součástí našeho dědictví. A dějinám myšlení nelze porozumět, aniž se o nich zmíníme.

* skutečnosti, jak existují samy o sobě (pozn. překl.)

Také stručně pojednáme o vědeckém pozitivismu,* který je založen na oddělení toho, co je pravdivé, od toho, co je vědecky užitečné. Zpočátku se pozitivistický pohled může zdát jasným protikladem metafyzických přístupů, o kterých jsme se již zmínili, přístupů, které I. Berlin popsal jako „protiosvěcenství“. Jejich hlavní závěry jsou však stejné: vědu jako základ pravdivého poznání musíme odmítnout, jestliže zároveň rozpoznáme její praktický význam, nebo, podobně jako pozitivisté, popřeme možnost jakéhokoli jiného poznávacího úsilí.

Připomeňme si všechny směry vývoje a uvědomíme si, co je v sázce. Do jaké míry může věda sloužit jako základ k pochopení přírody včetně člověka? Jaký smysl má dnes myšlenka pokroku?

Diderot, jedna z nejvýznamnějších osobností osvícenské doby, jistě není představitelem protivědeckého myšlení. Naopak, v možnosti vědeckého poznání plně věřil. A zde je ten hlavní důvod, proč podle Diderota měla věda porozumět životu dříve, než se mohla nadít, že dosáhne jakéhokoli koherentního pohledu na přírodu.

Již jsme se zmínili, že zrod moderní vědy poznamenal opuštění vitalistických myšlenek, zejména Aristotelova učení o podstatách a účelových příčinách. Nicméně problém uspořádání živé hmoty zůstal a stal se výzvou klasické vědy. Diderot v období vrcholícího vítězství Newtonových myšlenek tvrdil, že fyzika tento problém potlačila. Považoval ho za noční můru fyziků, kteří si ji pak v bdělém stavu nemožno vybavit. Fyzik d'Alembert sní:

„Živý bod... Ne, to je špatně. Začneme naprosto od začátku, a pak žijící bod. Živý bod se sdružuje s dalším a pak s dalším, až se spojí v ucelenou jednotnou bytost, neboť já jsem jednota, tím jsem si jist... (Když to vyslovil, cítil se povznesen nade vše.) Ale jak k té jednotě došlo?“

„Nyní poslouchajte, pane filosofe. Pochopím shluk, tkáň z malinkých citlivých tělísek, ale živočich! ... Celek, systém, který je jednotou, jedině vědomý si své vlastní jednoty! Ne, to nevidím.“²

Diderot v pomyslném rozhovoru s d'Alembertem hovoří v první osobě a ukazuje nedostatečnost mechanistického výkladu:

* Pozitivismus odmítá metafyziku a snaží se nalézt jednotu mezi myšlením a pozorovanými fakty. (pozn. překl.)

„Podívejte se na tohle vejce. Vyvrací všechny teologické školy a všechny chrámy světa. Co to je? Netečná hmota, dokud do ní není vložen zárodek... Jak se v této hmotě mění její uspořádání v citlivost a v život? Teplem. Jak v ní vzniká teplo? Pohybem. Jaký bude výsledek tohoto postupného pohybu? Místo odpovědi se posaďte a můžeme sledovat tyto jevy na vlastní oči okamžik za okamžikem. Nejdřív je to chvějící se fliček, rostoucí vlákénko, které se zvětšuje a zbarvuje, vytváří se maso, zobák, špičky křídel, oči, objevují se nohy, nažloutlá látka, která se rozmotává a přetváří ve střeva – a je tu živý tvor... Teď se protrhává stěna a objevuje se pták, chodí, létá, cítí bolest, utíká pryč, opět se vrací, nařiká, trpí, miluje, touží, těší se, prožívá všechny vaše pocity a dělá všechno, co děláte vy. Chcete snad s Descartesem tvrdit, že je to pouze napodobující stroj? Každé malé dítě se vám vysměje a filosof namítne, že je-li tohle stroj, nejste nic jiného! A pokud přesto připustíte, že jediný rozdíl mezi vámi a živočichem je v uspořádání, prokážete smysl pro zdravý úsudek a budete upřímní. Jenže pak se dojde k závěru zcela opačnému, než co jste řekl, totiž že z inertní, určitým způsobem uspořádané látky přidáním jiné inertní látky, vystavené teplu a pohybu, vznikne život, vnímání, paměť, vědomí, vášně, myšlení... Jen naslouchejte svým vlastním argumentům a uvědomíte si, jak jsou ubohé. Pocítíte, že odmítnutím zabývat se jednoduchým předpokladem, který vysvětluje vše – citlivost jako společnou vlastnost všech látek nebo jako výsledek uspořádání látek, jednáte v rozporu se zdravým rozumem a vrháte se do propasti záhad, rozporů a nesmyslů.“³

V protikladu k racionální mechanice a tvrzení, že hmotná příroda není nic jiného než inertní hmota a pohyb, se Diderot odvolává na jeden z nejstarších zdrojů inspirace fyziky, totiž na růst, diferenciaci a uspořádání embrya. Vytváří se maso, zobák, oči a střeva. Postupné uspořádávání tělesných tvarů probíhá v biologickém „prostoru“. Z prostředí, které je zdánlivě homogenní, se přesně, v pravou chvíli a na pravém místě objevují odlišné tvary vyvolané účinky složitých a sladěných dějů.

Jak může být inertní hmota, stejně jako newtonovská hmota oživená silami přitažlivosti, počátkem uspořádaných živých místních struktur? Viděli jsme, že newtonovský systém je světový systém: žádné místní uspořádání těles nemůže mít zvláštní identitu. Žádné není ničím jiným než nahodilou blízkostí těles spojených obecnými vztahy.

Diderot se však nevzdává. Věda je teprve na počátku. Racionální mechanika je pouze první, převážně abstraktní pokus. Již sám vývoj embrya vyvrací její nároky na univerzalitu. Proto Diderot srovnává dílo

velkých „matematiků“, jako byli Euler, Bernoulli a d'Alambert s egyptskými pyramidami, které svědčí o genialitě svých stavitelů, a které jsou nyní osamocenými, opuštěnými stavbami bez života. Pravá věda, živá a plodná, bude pokračovat jinde.⁴

Navíc se mu zdá, že tato nová věda o uspořádané živé hmotě již vznikla. Jeho přítele d'Holbacha zaujala chemie, Diderot sám si vybral lékařství. Problémem chemie, stejně jako lékařství, je nahradiť netečnou hmotu hmotou aktivní, schopnou samouspořádání a vytvářející živé bytosti. Diderot tvrdí, že hmota musí být vnímavá. I každý kámen vnímá: molekuly, ze kterých je složen, aktivně vytvářejí jisté druhy uspořádání, jiné zavrhuji, a tudíž jsou ovládány svými sympatiemi a antipatiemi. Citlivost celého organismu je pak pouze souhrnem citlivosti jeho částí, právě tak jako roj včel je se svým vysoce organizovaným chováním výsledkem vzájemných vazeb mezi jednou a ostatními včelami. Diderot tak dochází k závěru, že možnost existence lidské duše je stejně malá jako možnost existence duše úlu.⁵

Diderotův vitalistický protest proti fyzice a obecným pohybovým zákonům pramení v jeho odmítání jakékoliv formy duchovního dualismu. Příroda musí být popsána takovým způsobem, aby se skutečně bytí člověka stalo pochopitelným. Jinak nastane to, k čemu dochází v mechanistickém pojetí světa, kdy vědecký popis přírody má svůj protějšek v člověku-automatu, který je obdařen duší a odcizený přírodě.

Dvojaký základ materialistického naturalismu, vycházející současně z poznatků chemie i lékařství, posloužil Diderotovi jako argument proti fyzice. Pro osmnácté století to byla charakteristická situace. Zatímco biologové hloubali o živočichu-stroji, prvotní existenci zárodků a řetězci živých stvoření, tedy problémů úzce souvisejících s teologií⁶, chemici a lékaři se museli postavit tváří v tvář složitosti skutečných dějů jak v chemii, tak v životě. Chemii a lékařství jako vědním oborům dávali koncem osmnáctého století přednost ti, kteří bojovali proti *esprit de système* - *duchu systému* fyziků ve prospěch vědy, která považovala za určující rozmanitost přírodních procesů. Fyzik může být ryze „duchem“, jakýmsi předčasně vyspělým dítětem, ale lékař či chemik musí být „mužem zkušenosti“ schopným rozpoznat příznaky a všimnout si stop. V tomto smyslu jsou chemie a lékařství uměním. Vyžadují soudnost, schopnost využívat nové poznatky a spolehlivá pozorování. Chemie je vášní bláznů, prohlašuje Venel ve svém příspěvku do Diderotovy *Encyklopedie*⁷, který je výmluvnou obranou chemie proti abstraktnímu diktátu newtonovců. K zdůraznění skutečnosti, že námítky vznesené chemiky a lékaři proti způsobu, kterým fyzikové zredukovali

živé procesy na pokojné mechanismy a klidné uplatňování obecných zákonů, byly v Diderotově době běžné, se odvoláme k vynikající osobnosti Stahla, otce vitalismu a tvůrce první soustavné chemické systemizace.

Obecné zákony se podle Stahla týkají živých jen potud, že je odsuzují k smrti a rozkladu. Hmota, z níž jsou živé bytosti stvořeny, je tak křehká, tak snadno rozložitelná, že kdyby byla ovládána výhradně obecnými zákony hmoty, neodolala by rozpadu nebo rozkladu ani na okamžik. Má-li živé stvoření navzdory obecným fyzikálním zákonům přežít, jakkoliv je jeho život ve srovnání s kamenem či jiným neživým předmětem krátký, musí v sobě nést „zásadu zachování“, která udržuje harmonickou rovnováhu struktury a složení jeho těla. Udivující dlouhověkost živého těla je tak přes obrovský sklon k rozpadu látek, které ho vytvářejí, projevem „přirozeného, trvalého, imanentního principu“, zvláštní příčiny, která je zákonům neživé hmoty cizí a která neustále zápasí s nepřetržitě působícím rozkladem, jehož nevyhnutelnost v sobě tyto zákony zahrnují.⁸

Tento rozbor života je nám současně blízký i vzdálený. Je nám blízký svým ostrým vědomím jedinečnosti a vratkosti života. Je nám vzdálený, protože Stahl, podobně jako Aristoteles, definoval život ve statických pojmech, v pojmech zachování, a nikoliv jako zrod nebo vývoj. Přesto lze pojmy užitě Stahlem nalézt v současné biologické literatuře, například tam, kde čteme, že enzymy „bojují“ proti hnilobné tkáni a umožňují tělu oddálit smrt, k níž je fyzikou neúprosně odsouzeno. I zde se biologické uspořádání protiví zákonům přírody a jediný „normální“ vývoj je ten, který vede k smrti (viz kapitola 5).

Stahlův vitalismus je významný, pokud se fyzikální zákony ztotožňují s vývojem k rozpadu a rozkladu. Dnes byla „vitalistická zásada“ nahrazena posloupností nepravděpodobných mutačních uchovaných v genetickém kódu „řídícím“ živou strukturu. Přesto některé nové vývoje (extrapolace) v molekulární biologii odkazují život do vyhnanství na pokraj přírody, neboť dovozují, že život je sice s obecnými fyzikálními zákony slučitelný, ale jen čistě nahodile. Výslovně to konstatoval Monod: život „nevyplývá“ z fyzikálních zákonů, je s nimi slučitelný. Život je událost, jejíž jedinečnost musíme připustit.

Přechod od hmoty k životu lze pochopit též jiným způsobem. Jak uvidíme, daleko od rovnovážného stavu vznikají nové, samouspořádávající se procesy. (Tyto otázky budou podrobněji probrány v kapitolách 5 a 6.) V tomto smyslu se biologické uspořádání jeví jeví jako přírodní děj.

Nicméně již dlouho před tímto nedávným vývojem se přístup k problematice života změnil. V politicky přeměněné Evropě byla intelek-

tuální krajina přetvořena v romantické hnutí úzce spjaté s protiosvěcenstvím.

Stahl kritizoval přirovnání člověka k automatu, neboť – na rozdíl od živé bytosti – smysl automatu nespočívá v něm samotném. Uspořádání je mu vnuceno jeho tvůrcem. Diderot, dalek toho, aby studium života umisťoval mimo dosah vědy, v něm spatřoval budoucnost vědy, o které se domníval, že stále ještě nevyrostla z dětských střívičků. O několik let později byla taková hlediska zpochybňována.⁹ Mechanická změna, tak jak byla popsána pohybovými zákony, se nyní stala synonymem umělé vytvořeného a smrti. V protikladu k tomu, spojeny v nám dobře známý celek, byly pojmy života, spontánnosti, svobody a ducha. Je to obdoba protikladu mezi výpočty a manipulací na jedné straně a svobodným uvažováním na straně druhé. Pokud jde o filosofy, dospěli ve svých úvahách k přesvědčení o spirituální činnosti v samém srdci přírody. A co se vědců týče, jejich zájem o přírodu se omezil na to, že ji pokládali za soubor ovládatelných a měřitelných objektů; přírodu by tak byli schopni uchopit, ovládat ji a kontrolovat, aniž by jí rozuměli. Srozumitelnost přírody by se tak octla mimo dosah vědy.

Nehodláme zde zaměřovat pozornost na dějiny filosofie, ale jen zdůraznit rozsah, v jakém se v té době filosofická kritika vědy stala ostřejší a nabyla moderních protivědeckých forem. Nadále to již není otázka vyvracení poněkud naivních a krátkozrakých zobecnění, která stačí pouze hlasitě opakovat, užijeme-li Diderotových slov, abychom rozesmáli i děti, ale o vyvracení přístupu, jenž vedl k experimentálním a matematickým znalostem přírody. Vědecké poznání není kritizováno pro své omezení, ale pro svou povahu a musí soupeřit s poznáním založeným na jiném přístupu. Uplatňují se dva protichůdné způsoby zkoumání a poznání se ubírá dvěma různými směry.

Z filosofického hlediska může být přechod od Diderota k romantikům, přesněji, přechod od jednoho z těchto dvou kritických přístupů k vědě k druhému, shledán v Kantově transcendentální filosofii. Zásadní přitom je, že kantovská kritika obecně ztotožňovala vědu s její newtonovskou realizací. Ta jakoukoliv opozici vůči klasické vědě, která by nebyla opozicí vůči vědě samotné, označila za nemožnou.¹⁰ Na veškerou kritiku newtonovské fyziky se tedy musí pohlížet jako na kritiku, která má v úmyslu snížit význam racionálního pochopení přírody ve prospěch odlišných forem poznání. Kantův postoj měl nesmírný ohlas, který přetrvává do našich dnů. Shrňme jeho stanovisko, jak je uvedl v *Kritice čistého rozumu*, jež v protikladu s pokrokařskými názory osvícenství předkládá uzavřené a omezené pojetí vědy, které jsme právě definovali.

Kantovo kritické potvrzení

Jak obnovit pořádek v intelektuální krajině vržené do zmatku zmizením Boha chápaného jako racionální princip spojující vědu s přírodou? Jak by si vědci mohli činit nárok na plnou pravdu, když by tvrdili, že věda rozluští slovo stvoření, platilo pouze obrazně? Bůh nyní mlčel, nebo přinejmenším nehovořil stejnou řečí jako lidský rozum. Navíc, co v přírodě, z níž byl odstraněn čas, zůstalo z naší subjektivní zkušenosti? Co bylo smyslem svobody, osudu či etických hodnot?

Kant zastával názor, že existují dvě úrovně skutečností: úroveň fenomenální, která odpovídá vědě, a úroveň noumenální, odpovídající etice. Řád jevů je vytvářen lidskou myslí. Úroveň noumen přesahuje schopnosti lidského intelektu; odpovídá duchovní skutečnosti, která sytí etický a náboženský život člověka. Svým způsobem je Kantovo řešení (jediné možné) řešení pro ty, kdo postulují jak etickou skutečnost, tak skutečnost objektivního světa v podobě vyjádřené klasickou vědou. Místo Boha je nyní sám člověk zdrojem řádu, který si uvědomuje v přírodě. Kant uznává jak vědecké poznání, tak i odcizení člověka světu jevů popisovaných vědou. Z tohoto pohledu se nám kantovská filosofie může jevit jako explicitně vysvětlující filosofický obsah klasické vědy.

Kant definuje subjekt kritické filosofie jako *transcendentální*. Netýká se empirických poznatků, ale je založen na předem dané skutečnosti, že systematická znalost těchto empirických poznatků je možná (což Kantovi prokazovala existence fyziky) a pokračuje vyjádřením předem daných podmínek tohoto druhu poznání.

Znamená to, že musíme rozlišovat přímé vjemy, které vysílá vnější svět, a objektivní, „racionální“ poznání. Objektivní poznání není pasivní, své objekty vytváří. Vezmeme-li jev jako objekt zkušenosti před jeho skutečným poznáním, a priori předpokládáme, že je vytvořen podle daných principů. Pokud je přijímán jako možný objekt poznání, je to výsledek syntézy v naší mysli. My sami jsme objektem poznání a vědec sám je tak zdrojem obecných zákonů, které odhaluje v přírodě.

Apriorní podmínky zkušenosti jsou též podmínkami pro existenci objektů zkušenosti. Tento slavný výrok shrnuje „koperníkovskou revoluci“, k níž dospělo Kantovo „transcendentální“ badání. Subjekt již „neobíhá“ kolem objektu ve snaze objevit zákony, které ho řídí, nebo jazyk, kterým může být rozluštěn. Středem je nyní subjekt, určuje zákony a vnímaný svět hovoří jazykem tohoto subjektu. Není pak divu, že newtonovská věda je schopna popsat svět z vnějšího, téměř božského hlediska!

To, že všechny vnímané jevy jsou řízeny zákony naší mysli, neznamená, že konkrétní poznání těchto objektů není potřebné. Věda se podle Kanta dialogu s přírodou neúčastní, ale vnucuje mu svůj vlastní jazyk. Nicméně v každém případě musí věda odhalit zvláštní poselství vyjádřené tímto obecným jazykem. Samotná znalost apriorních pojmů je marná a nicotná.

Z Kantova hlediska je Laplaceův démon, symbol mýtu vědy, iluzí, ale je to racionální iluze. Ačkoli je výsledkem omezujícího procesu a jako takový je nelegitimní, je stále vyjádřením oprávněného přesvědčení, že je hnací silou vědy, přesvědčení, že příroda je ve své úplnosti oprávněně podřízena zákonům, které se vědcům podařilo rozluštit. Ať se pohybuje kamkoliv, ať jsou otázky jakékoliv, věda dostane vždy stejnou odpověď, nebo alespoň stejného rodu. Tak existuje jediná univerzální syntaxe, která zahrnuje všechny možné odpovědi.

Transcendentální filosofie uznala tvrzení fyziků, že našli konečný tvar všeho pozitivního poznání. Filosofii to zároveň zajistilo nadvládu nad vědou. Nadále již nebylo nutné hledat filosofický význam výsledků vědecké činnosti. Z transcendentálního hlediska nemohou tyto výsledky vést k ničemu opravdu novému. Subjektem filosofie je věda, nikoliv její výsledky. Věda braná jako stále se opakující a uzavřené konání vytváří stabilní základ transcendentálního uvažování.

Jakkoli Kantova kritická filosofie uznává všechny nároky vědy, ve skutečnosti omezuje vědeckou činnost na problémy, které lze považovat za snadné a nezávažné. Odsuzuje vědu k únavnému úkolu rozluštit monotonní jazyk jevů, zatímco pro sebe si ponechává otázky, které se týkají smyslu života a lidského „osudu“: co člověk smí znát, co musí dělat, v co může doufat. Svět zkoumaný vědou, svět přístupný pozitivnímu poznání, je „jen“ světem jevů. Vědec nejen že není schopen poznat věci samy o sobě, ale i otázky, které kladé, jsou vzhledem ke skutečným problémům lidstva nepodstatné. Krása, svoboda a etika nemohou být objekty pozitivního poznání. Náleží do noumenálního světa, který je panstvím filosofie a naprosto nesouvisí se světem jevů.

Kantovo východiště, jeho zdůraznění aktivní role, kterou má člověk ve vědeckém popisu, lze přijmout. Mnoho již bylo řečeno o experimentování jako o umění výběru situací, o kterých se předpokládá, že jsou popisovány zkoumaným zákonem, který je uvádí tak, aby dávaly jasné experimentální odpovědi. Při každém pokusu platí jisté předpoklady, a nemohou být tímto pokusem prokázány. Přesto, jak jsme viděli, Kant jde ještě dál. Popírá rozdílnost možných vědeckých hledisek, rozdílnost předem stanovených zásad. V souladu s mýtem o klasické vědě

sleduje jedinečný jazyk, který věda v přírodě luští, jedinečný soubor předem daných principů, na kterých je fyzika založena a které musí být totožné s kategoriemi lidského chápání. Kant tak popírá potřebu vědcovy aktivní volby, potřebu výběru problematické situace odpovídající zvláštnímu teoretickému jazyku, ve kterém lze klást určité otázky a získávat experimentální odpovědi.

Kantovo kritické potvrzení vymezuje vědecké úsilí jako systematické, mlčenlivé a v sebe uzavřené. Filosofie v tomto pojetí pomáhá šířící se roztržce, a zároveň tím znehodnocuje a přenechává celou oblast pozitivního poznání vědě, přičemž si sama ponechává oblast svobody a etiky, oblast považovanou za přírodě cizí.

Filosofie přírody? Hegel a Bergson

Kantovské příměří, které uzavřela věda s filosofií, bylo křehké. Pokantovští filosofové je porušili ve prospěch nové filosofie vědy, již předem předpokládající nový přístup k poznání, jež bylo vědě vzdálené a nyní i nepřátelské. Vrchu nabyly spekulace zbavené zdrženlivosti experimentálního dialogu, což mělo pro dialog vědců s filosofií katastrofální důsledky. Filosofie přírody se pro většinu vědců stala synonymem arrogantní, absurdní spekulace přehlížející fakta a přitom fakty opakovaně prokazané za chybnou. Naopak pro většinu filosofů se stala symbolem nebezpečí, která se objevují při zabývání se přírodou a při soutěžení s vědou. Roztržka mezi vědou, filosofií a humanitními obory se vzájemným pohrdáním a nedůvěrou prohloubila.

Příkladem tohoto spekulativního přístupu k přírodě je pro nás především Hegel. Hegelova filosofie má vesmírné rozměry. V Hegelově systému jsou stanoveny úrovně stoupající složitosti a smyslem přírody je konečné sebeuplatnění jejího duchovního prvku. Dějiny přírody jsou vyplněny objevením se člověka, tedy příchodem Ducha vnímajícího sebe sama.

Hegelovská filosofie přírody soustavně přebírá a včleňuje vše, co newtonovská věda popírala. Spočívá především v kvalitativních rozdílech jednoduchého chování popsaného mechanikou a chování mnohem složitějších celků, jako jsou živé bytosti. Odmitá možnost zjednodušování těchto úrovní, zahrhuje myšlenku, že rozdíly jsou pouze zdánlivé a že příroda je ve své podstatě homogenní a jednoduchá. Potvrzuje existenci hierarchie, v níž každá úroveň předpokládá existenci úrovně předcházející.

Na rozdíl od newtonovských autorů *romans de la matière**, svět ob-
jímajících výhledů zahrnujících vzájemné gravitační působení
i oblast lidských vášní, uvědomoval si Hegel naprosto jasně, že jeho
rozlišování úrovní (které, odhlédnuto od jeho vlastního výkladu, mů-
žeme uznat za odpovídající myšlence vzrůstající složitosti přírody
a představě času, jehož význam na každé nové úrovni bude bohatší)
jde *proti* matematizaci přírody. Proto se snažil význam matematiky
omezit, ukázat, že matematický popis se omezuje jen na nejobyčejně-
jší stavy. Mechaniku lze matematizovat, neboť hmotě přisuzuje jen pro-
storové a časové vlastnosti. „Cihla nezabije člověka sama o sobě, ale
výhradně nabytou rychlostí. To znamená, že člověk je zabit prostorem
a časem.“¹⁰ Člověk je zabit tím, co nazýváme kinetickou energií ($mv^2/2$),
abstraktní veličinou, v níž hmota a rychlost jsou vzájemně zaměnitel-
né. Stejného vražedného účinku lze tedy dosáhnout zmenšením jedné
a zvětšením druhé z těchto veličin.

Hegel předkládá jako podmínku matematizace právě vzájemnou
zaměnitelnost; tato podmínka však již není splněna, jestliže je jedno-
duchý mechanický popis opuštěn ve prospěch „vyšší“ úrovně obsahu-
jící rozsáhlejší pásmo fyzikálních vlastností.

V jistém smyslu poskytuje Hegelův systém důslednou filosofickou
odpověď na zásadní problémy času a složitosti. Generace vědců však
k němu pociťovaly odpor a opovržení. Během několika let se vnitřní
potiže Hegelovy filosofie přírody v důsledku zastarávání vědeckých
představ, na kterých byl systém budován, ještě prohloubily, neboť Hegel
své odmítnutí newtonovského systému samozřejmě založil na vědec-
kých představách své doby.¹¹ A právě tyto představy upadaly s ohro-
mující rychlostí v zapomnění. Je obtížné představit si dobu méně pří-
hodnou pro nalezení experimentální a teoretické podpory alternativy
klasické vědy než počátek devatenáctého století. Ačkoli bylo toto ob-
dobí poznamenáno pozoruhodným rozmachem experimentálních mož-
ností vědy (viz kapitola 4) a prudkým nárůstem počtu teorií, které se
zdály newtonovské vědě protičinit, většina z nich však musela být již
za několik let po svém vzniku opuštěna.

Na konci devatenáctého století, když se Bergson pustil do hledání
přijatelné alternativy soudobé vědy, uchýlil se k intuici jako formě spe-
kulativního poznání, ale ve zcela jiném pojetí než romantikové. Tvrdil,
že intuice není schopna vytvořit systém a přináší jen dílčí nezobecnitel-
né výsledky, takže výsledky musí být formulovány s velkou opatrností.

* „románů“ o hmotě (pozn. překl.)

Zobecnění je naopak znakem „intelligence“, jejímž největším výtoby-
kem je klasická věda. Bergsonovská intuice je soustředěným zaujetím,
postupně stále složitějším pokusem o proniknutí do jedinečnosti věci.
Samozřejmě že kvůli dorozumívání se intuice musí uchýlit k jazyku –
„aby byla sdělitelná, musí používat myšlenek jako dopravního prostřed-
ku“.¹² Čini tak s nekonečnou trpělivostí a obezřetností, hromadí a po-
rovnává představy, aby „objala realitu“¹³, a tak stále přesněji naznačuje
to, co nelze sdělit obecnými pojmy a abstraktními myšlenkami.

Věda a intuitivní metafyzika „jsou nebo se mohou stát stejně přes-
nými a jednoznačnými. Obě se dotýkají skutečnosti samotné. Ale kaž-
dá z nich ji odráží jen polovinu, takže pokud nevyznačují rozdílné
směry myšlení, mohli bychom je pokládat za dvě pododdělení vědy
nebo dvě oddělení metafyziky.“¹⁴

Na definici těchto dvou rozdílných směrů lze též pohlížet jako na
historický důsledek vědeckého vývoje. Pro Bergsona to již není otázka
nalezení vědecké alternativy k soudobé fyzice. Z jeho pohledu si che-
mie a biologie vybraly za svůj vzor mechaniku. Naděje, které Diderot
vkládal do budoucnosti chemie a lékařství, tak byly pohřbeny. Podle
Bergsona je věda celek a jako celek musí být posuzována. A Bergson
tak čini, když vědu představuje jako výtvar skutečné intelligence, jehož
cílem je ovládnout hmotu a který se vyvíjí abstrakcí a zevšeobecňová-
ním rozumových kategorií potřebných k dosažení této nadvlády. Věda
je výtvozem naší životně důležité potřeby využívat svět. Její pojmy jsou
určovány nezbytností zacházet s objekty, předpovídat a disponovat
opakovatelnými ději. To je ten pravý důvod, proč je racionální mecha-
nika samou podstatou vědy, jejím skutečným ztělesněním. Ostatní
vědy neurčitěji a s menší obratností manifestují přístup, který je tím
úspěšnější, čím nehybnější a neuspořádanější je terén, který zkoumá.

Pro Bergsona mohou být všechna omezení vědecké racionality zjed-
nodušena na jediné rozhodující: nelze pochopit *trvání*, pokud čas vyjád-
říme sledem okamžitých stavů spojených deterministickým zákonem.

„Čas je výmysl, nebo není vůbec ničím.“¹⁵ Příroda je změnou, trva-
lým vytvářením nového, úplného bytí vznikajícího v nezbytně otevře-
ném vývojovém procesu bez jakéhokoliv předem stanoveného vzoru.
„Život pokračuje a trvá v čase.“¹⁶ Jedinou částí tohoto vývoje, kterou
lze ovládat inteligencí, je, že uspívá při ustalování tvaru ovladatelných
a vypočítatelných prvků a při odkazování na čas viděný jako pouhé
řazení jednotlivých časových okamžiků vedle sebe.

Fyzika je proto „omezena na propojování současnosti událostí urč-
ujících čas a polohu *T* při pohybu po trajektorii. Tyto události odděluje

od celku, který v každém okamžiku nabývá nového tvaru a který si s nimi sděluje část novosti. Uvažuje o nich abstraktně, jako by byly mimo žijící celek, který je takřkajíc v čase nerozvinut v prostoru. Ponechává jen události nebo soubory událostí, které lze vydělovat bez značného zkreslení, neboť jen na takové lze použít fyzikální metody. Naše fyzika se zrodila v okamžiku poznání, jak takové systémy vydělovat.“¹⁷

Octneme-li se před problémem porozumět samotnému trvání, je věda bezmocná. Potřebujeme intuici, „bezprostřední představu rozumu dosaženou rozumem“. ¹⁸ „Čistá změna, skutečné trvání, je cosi spirituálního a dosahuje se jich pouze intuicí.“¹⁹

Dá se říci, že Bergson selhal stejně, jako selhaly pokantovské filosofie přírody? Selhal do té míry, že se metafyzika, kterou si přál vytvořit, založená na intuici, nezhmotnila. Neselhal v tom, že měl, na rozdíl od Hegela, štěstí a zdržel se soudů o vědě, která jako celek již byla pevně zavedena (tj. o klasické vědě v jejím zbožnění), a rozpoznal problémy, které jsou i nadále našimi problémy. Nicméně podobně jako pokantovští kritici zotožnil vědu své doby s vědou obecně. Přisuzoval tak vědě omezení *de iure*, která byla jen omezeními *de facto*. V důsledku toho zkoušel jednou provždy vymezit *status quo* příslušných okruhů působnosti vědy a ostatních duševních činností. Jediné hledisko, které mu zůstalo otevřeno, bylo zavést způsob, v němž by – přinejlepším – antagonistické přístupy mohly existovat vedle sebe.

Závěrem můžeme konstatovat, že i když způsob, jakým Bergson vřadil klasické vědy shrnuje, je do jisté míry stále přijatelný, nelze ho již přijímat jako tvrzení o věčných mezích vědecké činnosti. Pojímáme ho spíše jako program, který je na počátku a který se proměňuje, jímž věda nyní prochází, začíná uskutečňovat. Především víme, že čas spjatý s pohybem nevyčerpává fyzikální smysl času. Omezení kritizovaná Bergsonem jsou již překonávána, a to bez toho, že bychom se vzdali vědeckého přístupu nebo abstraktního myšlení, ale tím, že si uvědomujeme hranice představ klasické dynamiky a objevujeme nové formulace platné obecněji.

Proces a realita: Whitehead

Zdůraznili jsme, že společným znakem Kanta, Hegela a Bergsona je hledání odlišného přístupu ke skutečnosti, než měla klasická věda. Je to i hlavním cílem Whiteheadovy filosofie, která je rozhodně předkantovská. Whitehead nás ve své nejvýznamnější knize *Process and*

Reality vrací zpět až k velkým antickým filosofům, k jejich hledání přísného pojmového experimentování.

Whitehead usiloval o pochopení lidské zkušenosti jako děje příslušejícího přírodě, jako fyzikálnímu bytí. Toto úsilí ho na jedné straně vedlo k odmítnutí filosofických tradic, které určovaly subjektivní zkušenost pojmy uvědomění, myšlení a smyslového vnímání, a na druhé straně k představě veškeré *fyzikální* existence v pojmech požitků, pocitů, nutkání, chutí a tužeb, tedy k střetu s tím, co nazývá „vědeckým materialismem“ zrozeným v sedmnáctém století. Podobně jako Bergson, i Whitehead poukázal na základní nesrovnalosti teoretických schémat navržených v sedmnáctém století:

„Sedmnácté století konečně přineslo schéma vědeckého myšlení, jež matematici přizpůsobili pro užití matematiky. Významnou vlastností matematického myšlení je jeho schopnost zacházet s abstrakcí; vyvozovat z ní sled jasně formulovaných úvah, které jsou, alespoň po dobu, po kterou o těchto abstrakcích chcete uvažovat, zcela dostačující. Nesmírný úspěch vědeckých abstrakcí uznávajících na jedné straně hmotu s jejím jednoduchým umístěním v prostoru a čase a na straně druhé mysl, vnímající, trpící, myslící, ale nezasahující, donutila filosofii, aby přijímala abstrakci jako nejuvážnější vyjádření skutečnosti.

Moderní filosofie se tím zhroutila. Složitě se zmlata mezi třemi krajnostmi. Existují dualisté, pro něž jsou hmota a mysl rovnocenné, a dva druhy monistů, z nichž jedni umísťují mysl do hmoty a druhí umísťují hmotu do mysli. Tyto kejkly s abstrakcemi však nemohou překonat vnitřní zmatek vyvolaný tím, že špatně koncipovaná konkrétnost byla připisována vědeckému rámci sedmnáctého století.“²⁰

Nicméně Whitehead považoval tuto situaci za dočasnou. Vědu nelze odsoudit k tomu, aby zůstala uvězněna ve zmatku.

Již jsme nastolili otázku, zda je možné formulovat filosofii přírody, která nesměruje proti vědě. Whiteheadova kosmologie projevuje značné ambice a pokouší se o to. Whitehead mezi vědou a filosofií neviděl žádné zásadní rozpory. Jeho záměrem bylo vymezit oblast pojmů, která by se důsledně zabývala lidskou zkušeností a fyzikálními procesy, a stanovit podmínky k vyřešení problému. Bylo nutné formulovat principy všech forem bytí, kamenem počínaje a člověkem konče. Whitehead míní, že právě tato obecnost vymezuje jeho postup jako „filosofii“. Zatímco každá vědecká teorie vybírá a vyděluje ze spletnosti světa zvláštní soubor vztahů, filosofie nemůže zvýhodňovat žádnou jednotlivou část lidské zkušenosti. Konceptním experimentováním musí

vytváret pohled, který zahrne všechny typy zkušenosti, ať jsou z fyziky, fyziologie, psychologie, biologie, etiky atd.

Whitehead pochopil snad ostřeji než kdokoliv jiný, že tvořivý vývoj přírody by nemohl vzniknout myšlenkovou konstrukcí, pokud by prvky, z nichž se skládá, byly popsány jako trvalé samostatné celky zachováající během všech změn a vzájemného působení svou „totožnost“. Rovněž pochopil, že učinit z veškerého trvání iluzi, popřít bytí ve jménu „vznikání“, odmítnout celky ve prospěch souvislého a stále se měnícího toku, by pro filosofii znamenalo spadnout do nastražené pasti – „oddávat se skvělým výkonům uspokojivého vysvětlení“.²¹

Úkolem filosofie tedy podle Whiteheada bylo smířit se s trváním a změnou, pojímat věci jako dění, předvést, že vznikání vytváří celky, jednotlivé totožnosti, které se rodí a umírají. Popsat podrobněji Whiteheadův systém se vymyká možnostem této knihy. Zdůrazněme pouze, že ukázal na vazbu mezi filosofii vztahů – žádný prvek přírody není trvalou podporou měnícím se vztahům; každý svou totožnost získává ze vztahů s jinými prvky – a filosofii *obnovujícího se vznikání*. Během svého vzniku sjednocuje vše, co existuje, rozmanitost světa, neboť tuto rozmanitost doplňuje dalším souborem vztahů. Při vytváření každého nového celku se „mnohé stává jedním a je tím jedním umocněno“.²²

S Whiteheadovou otázkou trvání, jak je kladena ve fyzice, se shledáme ještě v závěru knihy. Pohovoříme o celcích vytvářených jejich nevratným vzájemným působením se světem. Současná fyzika odhalila potřebu prosadit jak rozlišení, tak vzájemné závislosti prvků a vztahů. Připouští nyní, že k tomu, aby bylo vzájemné působení reálné, musí být „povaha“ souvisejících věcí odvozena z těchto vztahů a tyto vztahy musí být zároveň odvozeny z „povahy“ věci (viz kapitola 10). Jde o předchůdce „celistvého, vzhledem k sobě důsledného, bezrozporového“ popisu, vyjádřeného například filosofii „svébytné“ fyziky elementárních částic, která prosazuje obecnou spojitost všech částic. Když Whitehead psal svou práci *Proces a realita*, bylo postavení fyziky ještě zcela odlišné a Whiteheadova filosofie našla odezvu jen v biologii.²³

Důvody uváděné Whiteheadem a Bergsonem nás přesvědčují, že dichotomii vědy a filosofie může ukončit jen otevření se a rozšíření vědy. Rozšíření vědy je možné jen tehdy, změníme-li naše pojetí času. Popřít čas, zredukovat ho na pouhé rozvinutí vratného zákona, znamená opustit možnost popsat přírodu v souladu s předpokladem, že příroda vytváří živé bytosti, zejména člověka. Nutí nás to volit mezi protívědeckou filosofii a odcizenou vědou.

„Ignoramus, Ignorabimus – nevíme, nebudeme znát“: úsilí pozitivistů

Další metodou, jak překonat potíže vyplývající z racionality klasické vědy, bylo oddělit „pravdivé“ od „vědecky neproduktivnějšího“. Byl to jiný způsob kantovského štěpení. Kirchhoff v roce 1865 ve své zprávě „O cíli přírodní vědy“ tvrdil, že konečným cílem vědy je zjednodušit každý jev v pohyb, který lze popsat teoretickou mechanikou. Podobné tvrzení pronesl Hermann von Helmholtz, chemik, lékař, fyzik a fyziolog, který rozhodujícím způsobem ovlivňoval německé univerzity v době, kdy se stávaly středem dění v evropské vědě. Prohlásil: „Přírodní jevy musí být znovu spojovány s pohybem hmotných částic zprostředkujících neměnné hybné síly, které závisejí na podmínkách samotného vesmíru.“²⁴

Záměrem přírodních věd tedy bylo omezit veškerá pozorování na zákony formulované Newtonem a rozšířené takovými vynikajícími fyziky a matematiky, jako Lagrange, Hamilton a další. Neměli jsme se ptát, proč tyto síly existují, a použít Newtonovy rovnice. Rozhodně bychom „neporozuměli“ hmotě a silám, i kdybychom tyto představy užili k odvození dynamických zákonů. Proč? Protože základní povaha sil a hmoty nám zůstává skryta. Jak jsme již podotkli, Du Bois-Reymond stručně vyjádřil meze našeho poznání: „Ignoramus, ignorabimus – nevíme, nebudeme znát“. Věda neposkytuje přístup k tajemství světa. Co tedy věda je?

Již jsme se zmínili o Machově vlivném názoru: věda je částí darwinovského zápasu o život. Pomáhá nám uspořádat naši zkušenost. Vede k úspornosti myšlení. Matematické zákony nejsou vlastně ničím jiným než dohodami užitečnými ke shrnutí výsledků možných experimentů. Na konci devatenáctého století vědecký pozitivismus silně ovlivňoval intelektuální oblast a ve Francii poznamenal činnost významných myslitelů, jako byli Duhem a Poincaré.

Ještě jeden krok v odstranění „opovrženého metafyziky“ a dostáváme se k Vídeňské škole. Věda je zde uznávanou suverénní mocí nad veškerým pozitivním věděním a úkolem filosofie je tyto pozitivní znalosti uspořádat. Znamenalo to významné podřízení všech racionálních znalostí a otázek vědě. Když psal Reichenbach, vynikající neopozitivistický filosof, knihu o „směru času“, tvrdil:

„Problém času nelze řešit jinak než prostřednictvím fyziky. Fyzika se více než jiné vědy zabývá povahou času. Je-li čas objektivní veličinou, fyzik musí tuto skutečnost respektovat. Jde-li o vznikání, fyzik ho musí znát; je-li však čas pouze subjektivní veličinou a býtí bezčasové, fyzik musí být schopen nevnímat si času ve svém pojmání skutečnosti a popisovat svět bez jeho pomoci... Pátrat po povaze času bez studia fyziky je beznadějně. Existuje-li řešení filosofického problému času, je zapsáno v rovnicích matematické fyziky.“²⁵

Reichenbachova práce je velmi zajímavá pro každého, kdo se chce dozvědět, jak se k tématu času vyjadřuje fyzika. Není to ani tak kniha o filosofii přírody, jako spíše zpráva o tom, jak problém času chápou vědci, nikoliv filosofové.

Jaká je tedy úloha filosofie? Často se říká, že filosofie by se měla stát vědou vědy. Předmětem filosofie by pak bylo provádět rozbor metod používaných vědou, vytvářet axiomy a objasňovat užité představy. Tato role by však z dřívější „královny věd“ učinila něco jako služku. Ovšem je možnost, že by toto zprůhlednění představ otevřelo cestu pokroku, že filosofie takto chápaná by užitím dalších metod – logiky a sémantiky – zpřístupnila nové poznatky srovnatelné s poznatky čisté vědy. Právě touto nadějí se kojí „analytická filosofie“ v anglo-amerických kruzích. Nechceme snižovat zájem o podobné bádání, nicméně problémy, které se nás zde týkají, jsou zcela jiné. Naším záměrem není objasnit existující poznání nebo vyjádřit současné vědění v axiomech, ale vyplnit zásadní mezery v těchto znalostech.

Nový počátek

V první části knihy jsme na jedné straně popsali rozhovor s přírodou, který umožnila klasická věda, a na druhé straně nejisté kulturní postavení vědy. Existuje z toho východisko? V této kapitole jsme probrali některé pokusy o získání jiných cest k poznání. Uvažovali jsme i pozitivistické hledisko, které odděluje vědu od skutečnosti.

Na vědeckých setkáních nastávají okamžiky největšího vzrušení zpravidla tehdy, když vědci probírají otázky, o kterých se zdá, že nemají vůbec žádný praktický význam a trvalou hodnotu – takové otázky, jako jsou možné výklady kvantové mechaniky nebo role rozpínajícího se vesmíru v našem pojetí času. Pokud by byl pozitivistický pohled, zjednodušující vědu na symbolický počet, přijat, věda by mnohé

ze své přitažlivosti ztratila. Newtonovská syntéza teoretických představ a aktivních znalostí by se otrásla. Vrátili bychom se zpět do časů starého Řecka a Říma, k nepřekonatelné propasti technických a praktických znalostí na jedné straně a teoretických znalostí na straně druhé.

Ve starověku byla příroda zdrojem moudrosti. Středověká příroda hovořila o Bohu. V moderní době příroda do té míry utichla, že Kant pojal názor, že příroda a moudrost, věda a pravda by měly být zcela odděleny. S touto dichotomií jsme žili poslední dvě století. Je čas, aby skončila. Co se vědy týče, čas již k tomu nazrál. Z dnešního pohledu byl první krok k možnému sjednocení poznání učiněn v devatenáctém století objevem teorie tepla a zákonů termodynamiky. Termodynamika se objevuje jako první stadium „vědy o složitosti“. Je to věda, kterou nyní chceme popsat od jejího formulování až k její současné podobě.

Kniha 2 VĚDA O SLOŽITOSTI

Kapitola 4 **Energie a průmyslový věk**

Teplo, soupeř gravitace

Ignis mutat res*. Věčné učení vždy spojovalo chemii s „vědou o ohni“. Oheň se stal v průběhu osmnáctého století částí experimentální vědy, a tak byla zahájena přeměna pojetí vědy, která vedla k přehodnocení pojmů jako nevratnost a složitost, dříve ve jménu mechanistického světového názoru odmítaných.

Oheň přetváří hmotu. Oheň vede k chemickým reakcím, k dějům jako je tavení a vypařování. Oheň spaluje palivo a uvolňuje teplo. Vycházejíc z těchto obecně známých poznatků, věda devatenáctého století se soustředila na jednoduchou skutečnost, že spalováním se vytváří teplo, a to může vyvolat zvětšení objemu. Výsledkem je, že se spalováním koná práce. Oheň tedy vede k novému druhu stroje - tepelnému motoru, technické novince, která tvoří základ průmyslové společnosti.¹

Je zajímavé poznamenat, že Adam Smith pracoval na svém díle *Wealth of Nations (Bohatství národů)* a sbíral údaje o vyhlídkách a rozhodujících činitelích průmyslového růstu na stejné univerzitě, na které James Watt dokončoval svůj parní stroj. Přitom jediným využitím uhlí, na které mohl Adam Smith pomyslet, bylo zajistit teplo pro dělníky. V osmnáctém století byly vítr, voda, zvířata a zvířaty poháněné jednoduché stroje stále jedinými myslitelnými zdroji energie.

Rychlé rozšíření britského parního stroje vyvolalo nový zájem o mechanické účinky tepla a termodynamika, zrozená tímto zájmem, se ani příliš nezajímala o *povahu* tepla, ale o jeho *možnosti* při výrobě „mechanické energie“.

* oheň mění věci (pozn. překl.)

Navrhujeme jako okamžik zrození „vědy o složitosti“ rok 1811, kdy baron Jean-Joseph Fourier, prefekt Isère, získal cenu Francouzské akademie věd za matematický popis šíření tepla v pevných látkách.

Výsledek, který Fourier získal, byl překvapivě jednoduchý a elegantní: tok tepla je úměrný gradientu teploty. Je pozoruhodné, že tento jednoduchý zákon platí pro libovolné prostředí, nezávisle na tom, zda jde o pevné látky, kapaliny nebo plyn. Navíc platí i pro libovolné chemické složení tělesa, ať jde o ocel nebo zlato. To, co je pro každou látku charakteristické, je jen součinitel úměrnosti mezi tokem tepla a gradientem teploty.

Obecný tvar Fourierova zákona není samozřejmě přímo svázán se vzájemným dynamickým působením, jak je popisuje Newtonův zákon, a jeho formulaci je možno považovat za základ nového typu vědy. Skutečně, jednoduchost Fourierova matematického popisu šíření tepla je v ostrém kontrastu se složitostí hmoty popisované z molekulárního hlediska. Pevná látka, plyn nebo kapalina jsou makroskopické systémy vytvořené ohromným počtem molekul a vodivost tepla je přitom popsána jediným zákonem. Fourier svůj výsledek odvodil v době, kdy v evropské vědě převládala Laplaceova škola. Laplace, Lagrange a jejich žáci marně spojovali síly ke kritice Fourierovy teorie. Museli ustoupit.² Laplaceův sen se na vrcholu své slávy setkal s prvním nezdarem. Byla vytvořena fyzikální teorie, která byla matematicky stejně pečlivá a přesná jako pohybové zákony mechaniky, ale přitom byla newtonovskému světu naprosto cizí. Od tohoto okamžiku přestaly být matematika, fyzika a newtonovská věda synonymem.

Odvození zákona vedení tepla mělo pozoruhodné trvalé účinky. Ve Francii a Británii se stalo počátkem rozdílného historického vývoje přetrvávajícího až do současnosti.

Ve Francii vedlo selhání Laplaceových snů k pozitivistickému třídění vědy do přesně vymezených oborů zavedených Augustem Comtem. Comteovo dělení vědy dobře zhodnotil Michel Serres³: teplo a gravitace, dva obecné pojmy, existují ve fyzice vedle sebe. Bohužel jsou, jak Comte později konstatoval, protichůdné. Působením gravitace je hmota, která se nachází v klidu, *uváděna* do pohybu nebo již pohybující se hmota tento pohyb *změní*. Přitom však nedochází ke změně hmoty. *Teplo přetváří* látku, určuje změny stavu a vede k pozměňování vnitřních vlastností. To je v jiném smyslu potvrzením protestů protinewtonovských chemiků 18. století a všech ostatních, kteří zdůrazňovali rozdíl mezi čistě časoprostorovým chováním přisuzovaným hmotě a určitým působením látek. Tyto odlišnosti byly použity za základ tři-

dění věd a všechny byly Comtem shrnuty pod jedním souhrnným označením – rovnováha. Pozitivistické třídění jednoduše přidává k mechanické rovnováze mezi silami tepelnou rovnováhu.

V Británii naopak teorie o šíření tepla neznamenal opuštění snah o jednotu poznání, ale udala směr novému bádání – pokrokovému odvození teorie nevratných dějů.

Fourierův zákon užitý na izolované těleso s nerovnoměrným rozdělením teploty popisuje postupný vznik tepelné rovnováhy. Výsledkem šíření tepla je postupné vyrovnávání rozložení teploty, až je dosaženo jejího rovnoměrného rozdělení. Každý věděl, že tu jde o nevratný děj; již o století dříve zdůraznil Boerhave, že teplo se šíří a jeho rozložení vyrovnává za všech okolností. Věda o složitých jevech zahrnující i vzájemné působení rozsáhlých počtů částic a výskyt dočasné nerovnováhy tak byly od počátku spojeny. Problematika nevratnosti se však začala zkoumat, až když vedení bylo spojováno s disipací a ztrátami tak, jak je chápou technici.⁴

Věnujme se nyní podrobněji obsahu nové „vědy o teple“ ze začátku devatenáctého století. Podobně jako mechanika zahrnuje i věda o teple jak původní pojetí fyzikálního *objektu*, tak i definici strojů nebo *motorů*, tedy ztotožnění příčiny a účinku při určitém způsobu konání mechanické práce.

Studium fyzikálních dějů uvažujících teplo vyžaduje jinou definici systému než v dynamice, kdy k popisu systému dostačovaly polohy a rychlosti jednotlivých složek (těchto částic je v 1 cm³ plynu nebo pevné látky asi 10²³). Využívá se *soubor makroskopických parametrů*, jako je teplota, tlak, objem atd.. Navíc musíme vzít v úvahu i *okrajové podmínky* popisující vztah systému s jeho okolím.

Vezměme si jako příklad jednu z charakteristických vlastností makroskopického systému o jednotkové hmotnosti – měrnou tepelnou kapacitu*. Měrná tepelná kapacita je mírou množství tepla potřebného k zvýšení teploty systému o jeden stupeň, zatímco se jeho objem nebo tlak nemění. Při zkoumání měrné tepelné kapacity, například při stálém objemu, musí být systém v přímém styku se svým okolím a musí přijmout určité množství tepla. Objem systému je současně udržován stálý, jeho tlak se může měnit.

Obecněji řečeno, systém lze podrobit *mechanickému* působení (například hodnoty tlaku nebo objemu mohou být udržovány stálé pomocí pístů), *tepelnému* působení (jistě množství tepla lze systému dodat

* dříve též měrné či specifické teplo (pozn. překl.)

či odebrat, nebo se teplota systému samotného může ohřevem či ochlazením změnit na stanovenou hodnotu) nebo *chemickému* působení (tok reagujících látek a látek vzniklých chemickou reakcí systému a okolí). Jak jsme se již zmínili, tlak, objem, chemické složení a teplota jsou klasickými fyzikálně-chemickými parametry určujícími stav makroskopického systému. *Termodynamika* je věda zabývající se vzájemnými vztahy mezi změnami těchto vlastností. Termodynamika těles tedy ve srovnání s dynamikou těles vede k novému přístupu. Cílem teorie není předpovídat změny v systému, vyvolané vzájemným působením částic, ale předpovídat, jaká bude odezva systému jako celku na změny vyvolané zvenčí.

Mechanický motor vrací v podobě práce potenciální energii, kterou přijímá z vnějšího světa. Příčina a následek mají stejný charakter a jsou, alespoň v ideálním případě, stejně veliké. Avšak činnost *tepelného* motoru v sobě zahrnuje změny stavů, včetně přeměny mechanických vlastností systému, roztažnosti a rozpínavosti. Vykonaná mechanická práce je pak výsledkem skutečné přeměny a nikoliv pouhého převodu pohybu. Tepelný motor tedy není pouhým „pasivním“ zařízením, nýbrž *vytváří* pohyb. A zde vzniká nový problém: abychom *obnovili* schopnost systému vytvářet pohyb, musíme systém opět uvést do počátečního stavu. Je tedy třeba *druhého* děje, druhé stavové změny, která *vyrovnává* důsledky změn vyvolávajících pohyb. Druhý děj, který je opakem děje prvního, je v tepelném motoru dán chlazením systému až do okamžiku, kdy jeho teplota, tlak a objem znovu dosáhnou počátečních hodnot parametrů.

Představu nevratného děje tedy do fyziky uvedla otázka účinnosti tepelných motorů, poměru motorem vykonané práce a tepla dodaného systému pro *vykonávání dvou vzájemně se vyrovnávajících pochodů*. V této souvislosti se vrátíme k významu Fourierova zákona. Nejprve však popíšeme, jakou zásadní roli má zákon zachování energie.

Zákon zachování energie

Ústřední roli energie v klasické dynamice jsme již zdůraznili. Hamiltonián (součet kinetické a potenciální energie) je vyjádřen pomocí kanonických proměnných – souřadnic a hybností – a vede k jejich změnám, zatímco jeho hodnota během pohybu zůstává stálá. Dynamické změny pouze upravují vzájemný poměr potenciální a kinetické energie, jejichž součet zůstává stejný.

Počátek devatenáctého století charakterizuje rozsáhlé experimentování.⁵ Fyzikové si byli vědomi, že pohyb znamená víc než pouhé změny relativní polohy těles v prostoru. Z nových jevů odhalených v laboratorních postupně vznikla síť, která nakonec propojila všechny nové fyzikální obory s tradičnějšími, jako je mechanika. Jednu z těchto souvislostí náhodně objevil Galvani. Před ním byly známy pouze statické elektrické náboje. Galvani za pomoci žabího těla experimentálně vyvolal první elektrický proud. Volta záhy zjistil, že náhlé „galvanické“ stahy žáby byly ve skutečnosti důsledkem *toku* elektrického proudu žabím tělem. V roce 1800 Volta vytvořil chemickou baterii, kde jako důsledek chemické reakce vznikla elektřina. Potom byla objevena elektrolyza: elektrický proud procházející roztokem vyvolává změny chemické afinity a chemické reakce. Elektrický proud však může vyrobit světlo a teplo; magnetické účinky proudu objevil v roce 1820 Oersted. Seebeck v roce 1822 předvedl, že naopak z tepla lze vyrobit elektřinu, a v roce 1834 i možnost chlazení látek založené na využití elektřiny. Poté v roce 1831 Faraday indukoval elektřinu magnetickým polem. A tak byla postupně odhalena celá síť nových jevů. Vědecký obzor se rozšiřoval nebyvalou rychlostí.

Rozhodující krok učinil v roce 1847 Joule. Souvislosti chemie, vědy o teple, elektřiny, magnetismu a biologie byly rozpoznány jako „*přeměna*“. Představa přeměny předpokládající, že „něco“ se kvantitativně zachovává, zatímco probíhá jeho kvalitativní přeměna, je zevšeobecněním toho, k čemu dochází při mechanickém pohybu. Jak jsme viděli, celková energie se zachovává, ale potenciální energie se mění v energii kinetickou, nebo naopak. Joule definoval obecný *ekvivalent* fyzikálně chemické přeměny, a vytvořil tak možnost ho měřit. Tato hodnota se později stala známou jako „energie“. Joule jako první zavedl rovnost změřením velikosti mechanické práce potřebné ke zvýšení teploty daného množství vody o jeden stupeň. Pro množství ohromujících nových objevů byl nalezen sjednocující prvek. Zachování energie při různých přeměnách fyzikálních, chemických a biologických systémů má při studiu nových dějů zásadní význam.

Nepřekvapuje, že zákon zachování energie byl pro fyziky devatenáctého století tak důležitý. Pro mnoho z nich znamenal sjednocení přírody jako celku. Joule toto přesvědčení vyjádřil takto:

„Přírodní jevy, ať jsou mechanické, chemické nebo živé, vskutku téměř zcela spočívají v trvalé přeměně přitažlivosti v prostoru, živé síly (tedy kinetické energie) a tepla navzájem. Tak se ve vesmíru udržuje takové

uspořádání, že se nic neuvádí v nepořádek, nic se nikdy neztratí, ale celé soustrojí, ať je jakkoli složité, pracuje hladce a rovnoměrně. A ačkoli podobně jako v Ezechiellově strašlivém vidění „může být kolo uvnitř kola“ a vše se může zdát složité a zahrnuté v zdánlivém zmatku a spleťlosti nekonečné rozmanitosti příčin, účinků, přeměn a uspořádání, přesto se zachovává největší dokonalost – celé jsouc ovládáno svrchovanou vůlí Boží.“⁷

Případ Němců Helmholtze, Mayera a Liebiga – všichni patřili do skupiny těch, kteří by na základě vyložené pozitivistického postupu Jouleovo přesvědčení odmítli – je ještě pozoruhodnější. Nikdo z těchto tří nebyl v době svých objevů jednoznačně fyzikem. Naopak, všichni se zabývali fyziologií dýchání, které se od Lavoisierovy doby stalo ukázkovým problémem, s jehož pomocí mohla být přesnými fyzikálními a chemickými výrazy, jakými jsou spotřeba (spalování) kyslíku, uvolňování tepla a práce svalů, popsána funkce živé bytosti. Byla to tedy otázka přitahující fyziology a chemiky, kteří místo romantických úvah usilovali o příspěvek k výsledkům experimentální vědy. Ze způsobu, jakým tyto tři vědci došli k závěru, že dýchání a potom i celá příroda jsou ovládány nějakou zásadní „rovnocenností“, zjišťujeme, že tradice německé filosofie jim dala představu naprosto vzdálenou pozitivistickému přístupu – všichni bez váhání došli k závěru, že příroda jako celek je ve všech svých podrobnostech řízena tímto jednoduchým principem zachování energie.

Nejpozoruhodnější je Mayerův případ.⁸ Jako mladý lékař, který pracoval v holandských koloniích na Jávě, si všiml světle červené žilní krve jednoho ze svých pacientů. Usoudil z toho, že v teplém tropickém podnebí nemusí obyvatelé k udržení tělesné teploty spotřebovat tolik kyslíku, což působí na barvu jejich krve. Mayer pak stanovil rovnováhu spotřeby kyslíku, který je zdrojem energie, a spotřeby energie potřebné k zachování tělesné teploty navzdory tepelným ztrátám a tělesné práci. Byl to odvážný krok, neboť barva krve mohla být stejně dobře spojena s pacientovou „leností“. Ale Mayer šel ještě dále a dovodil, že rovnováha spotřeby kyslíku a tepelných ztrát je pouze zvláštním projevem existence nezničitelné „sily“, skryté ve všech jevech.

Tento sklon spatřovat v přírodních jevech výsledky skryté skutečnosti, které se během svých přeměn nemění, pozoruhodně připomíná Kanta. Kantův vliv lze také rozpoznat i v představách fyziologů, kteří činili rozdíl mezi vitalismem jako filosofickou úvahou a problémem vědecké metodologie. Pro tyto fyziology by i v případě, že by při působení živých bytostí skrytá „vitální“ síla existovala, byla i nadále podstata

předmětu fyziologie čistě fyzikálně-chemické povahy. Z těchto dvou hledisek lze kantovské pojetí, které schvaluje systematický přístup, zastávaný matematickou fyzikou v 18. století, ztotožnit i s jedním z kořenů obnovy fyziky v devatenáctém století.⁹

Helmholtz Kantův vliv přiznával zcela otevřeně. Zákon zachování energie byl pro Helmholtze pouze fyzikálním ztělesněním předem daného požadavku, vytvářejícího základ všech věd, postulátem, že za přírodními přeměnami je základní neměnnost:

„Obsahem věd je především hledání zákonů, které by se týkaly jednotlivých dějů v přírodě a z nichž by se odvodila obecná pravidla.

Jsmo oprávněni a skutečně dohnání k tomuto jednání přesvědčením, že každá změna v přírodě musí mít přiměřenou příčinu. Bezprostřední příčiny, na které můžeme při popisu jevů poukázat, mohou být samy buď proměnné, nebo neměnné. V prvním případě nás výše uvedené důvody nutí hledat příčiny vyvolávající změny, a tak postupujeme tak dlouho, až se dobereme konečné příčiny, která je neměnná a která tudíž musí ve všech případech, kdy jsou vnější podmínky stejné, vést k stejným neměnným výsledkům (zákonům zachování). Konečným cílem teoretických přírodních věd je tedy odkrytí základních a neměnných příčin přírodních jevů.“¹⁰

Se zákonem zachování energie začínala krystalizovat myšlenka o novém zlatém věku fyziky, období, které by vedlo ke konečnému zobecnění mechaniky.

Kulturní důsledky tohoto vývoje byly dalekosáhlé a zahrnovaly představu společnosti a lidí jako motorů energetických přeměn. Ale celá historie není spojena pouze s přeměnou energie.

Představuje i tu podobu přírody, která je klidná a ovladatelná, ale pod níž musí být schována jiná, „aktivnější“ uroveň. Nietzsche byl jedním z těch, kteří odhalili ohlas vzniků a ničení, které vedou mnohem dále než k pouhému zachování nebo přeměně. Vskutku, pouze rozdíl, jakým je například rozdíl teploty či potenciální energie, může vést k výsledkům, které jsou opět rozdíly.¹¹ Přeměna energie je pouze zničením rozdílu současně se vznikem jiného rozdílu. Moc přírody je tak skryta v rovnocennostech hodnot. Ale existuje i jiná tvář přírody. Ta obsahuje kotle parních strojů, chemické přeměny, život a smrt, a zachází mnohem dále než k rovnocennosti velikosti hodnoty a k zachování energie.¹² A tím se dostáváme k nejpůvodnějšímu příspěvku termodynamiky, k představě nevratnosti.

Tepelné motory a šipka času

Srovnáme-li mechanická zařízení s tepelnými motory, například s dodruha rozžhavenými kotly parních lokomotiv, je ihned zřejmý propastný rozdíl mezi technikou devatenáctého století a předcházejícího období. Zpočátku se fyzikové ještě domnívali, že tato propast může být zanedbána a tepelné motory mohou být popisovány podobně jako mechanické, aniž se vezme v úvahu, že palivo spálené v parním stroji provždy zmizí. Tento stav uspokojení však nemohl dlouho trvat. Hodiny byly symbolem přírody v klasické mechanice, v průmyslovém období se symbolem stal zásobník energie, kterému stále hrozí vyčerpání. Svět hoří jako pec, a energie, i když se zachovává, se též rozptyluje a nenávratně ztrácí.

Původní znění druhé věty termodynamiky, které by vedlo k prvinnému kvantitativnímu vyjádření nevratnosti, zformuloval Sadi Carnot v roce 1824, dříve, než Mayer (v roce 1842) a Helmholtz (v roce 1847) vypracovali obecné znění zákona zachování energie. Carnot analyzoval tepelný stroj, přičemž bezprostředně navázal na svého otce Lazara Carnota, který vypracoval významný popis mechanických strojů.

Popis mechanických strojů předpokládá, že pohyb je dán, což v moderním jazyce odpovídá zachování energie a hybnosti. Pohyb se pouze mění a převádí na jiná tělesa. Ale podobnost mechanických a tepelných motorů byla pro Sadiho Carnota samozřejmá, neboť stejně jako většina vědců jeho doby předpokládal, že teplo se stejně jako mechanická energie zachovává.

Voda padající z jedné úrovně na druhou pohání mlýnské kolo. Sadi Carnot podobně předpokládal existenci dvou zdrojů, z nichž jeden dodává tepelnému stroji teplo a druhý při jiné teplotě toto teplo absorbuje. Jde o *pohyb* tepla strojem, o pohyb mezi dvěma zdroji o různých teplotách, tedy o „hnací sílu ohně“, která stroj uvádí do pohybu.

Carnot opakoval otázky svého otce.¹³ Který stroj má nejvyšší účinnost? Co je zdrojem ztrát? Které děje způsobují, že se teplo šíří, aniž by konalo práci? Lazare Carnot došel k závěru, že k dosažení nejvyšší účinnosti mechanického stroje je nutné zkonstruovat a vyrobit ho tak, abychom v něm na nejmenší míru omezili rázy, tření nebo nespojitě změny rychlosti, tedy krátce řečeno, abychom omezili vše, co je vyvoláváno náhlým dotykem těles pohybujících se různými rychlostmi. Carnot pouze využíval tehdejších fyzikálních znalostí: jen

plynulé, spojitě děje jsou konzervativní*, všechny náhlé změny pohybu způsobují nevrtné ztráty „živé síly“. Podobně se v ideálním *tepelném stroji* místo toho, aby se zabránilo všem vzájemným dotykům těles pohybujících se různými *rychlostmi*, musí zabránit všem dotykům těles o rozdílných *teplotách*.

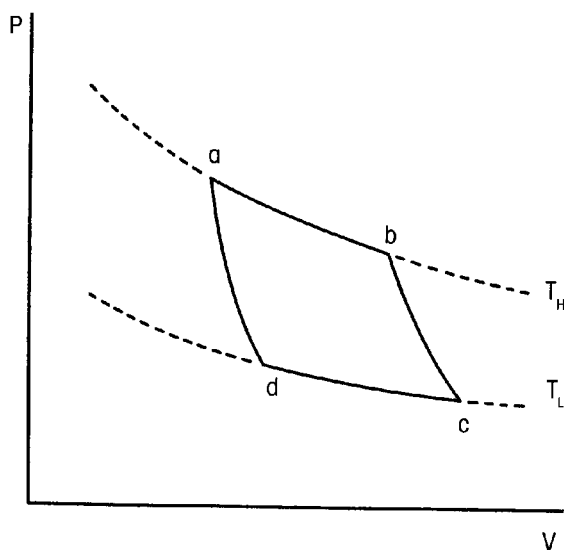
Tepelný oběh musí být navržen tak, aby nedocházelo k výměně tepla mezi dvěma tělesy o různých teplotách. Protože takové toky nemají mechanický účinek, vedly by pouze k snížení účinnosti.

Ideální Carnotův oběh je proto poněkud podvodným nápadem, který dosahuje paradoxního výsledku, přenosu tepla mezi dvěma zdroji o rozdílných teplotách bez vzájemného styku těles o rozdílných teplotách. Oběh je rozdělen do čtyř fází („změn“). V průběhu každé ze dvou izotermických změn je systém ve styku s jedním ze dvou zdrojů tepla a jeho teplota se udržuje na teplotě tohoto zdroje. Je-li systém ve styku s horkým zdrojem, absorbuje teplo a rozpíná se. Je-li ve styku se studeným zdrojem, teplo ztrácí a smršťuje se. Dvě izotermické změny navazují na dvě období, ve kterých je systém oddělen od zdrojů tepla, tj. nadále není teplo systému ani dodáváno, ani odebíráno a teplota systému se mění jen rozpínáním nebo stlačením. Změny objemu systému přitom probíhají tak dlouho, dokud se teploty obou systémů nevyrovnají.

Je pozoruhodné, že tento popis ideálního tepelného stroje se nezmiňuje o nevrtných dějích, které jsou v základech jeho uskutečnění. Není zde ani zmínka o topeništi, ve kterém hoří uhlí. Model se zabývá jen *účinkem* hoření, které umožňuje zachování rozdílu teplot dvou zdrojů.

V roce 1850 popsal Clausius Carnotův oběh z nového hlediska, které mu „poskytlo“ zachování energie. Clausius objevil, že požadavek dvou zdrojů a vzorec pro teoretickou účinnost zavedený Carnotem vyjadřují určitý problém tepelných motorů – potřebu děje vyrovnávajícího přeměnu (například ochlazování stykem se studeným zdrojem) k obnově počátečních mechanických a teplotních podmínek. Vztahy popisující rovnováhu přeměny energie jsou nyní svázány s novými vztahy *rovnocennosti* účinků dvou dějů na stav systému, *toku* tepla mezi zdroji a *přeměny* tepla v práci. Tak se zrodila nová věda, termodynamika, která spojuje mechanické a tepelné účinky.

* V mechanice: velikost práce vykonané při pohybu mezi dvěma body nezávisí na tvaru trajektorie, která je spojuje; v termodynamice: velikost práce vykonané při změně mezi dvěma stavy nezávisí na způsobu změny. (pozn. překl.)



Obr. 2 P-V (tlak–objem) diagram Carnotova oběhu: termodynamický stroj, který pracuje mezi dvěma zdroji, jedním „horkým“ o teplotě T_H a druhým „studeným“ o teplotě T_L . Mezi stavy a a b probíhá izotermická změna – systém udržovaný na teplotě T_H přijímá teplo a rozpíná se. Mezi stavy b a c je systém tepelně oddělen (izolován) a stále se rozpíná. Jeho teplota klesá z hodnoty T_H na teplotu T_L . Tyto dvě změny vytvářejí mechanickou práci. Mezi stavy c a d probíhá druhá izotermická změna. Systém je stlačován a uvolňuje teplo, jeho teplota je přitom udržována na hodnotě T_L . Mezi stavy d a a je systém opět tepelně oddělen (izolován), je stlačován a jeho teplota přitom vzrůstá na hodnotu T_H .

Clausiova práce zřetelně ukázala, že nelze bez omezení využívat zdánlivě nevyčerpatelný zásobník energie v přírodě. Ne všechny děje podle zákona o zachování energie jsou možné. Například energetický rozdíl nemůže vzniknout bez vyčerpání jiného, přinejmenším rovnocenného rozdílu energie. A tak se v ideálním Carnotově oběhu vykonaná práce platí teplem převedeným z jednoho zdroje k druhému. Výsledek, vykonaná mechanická práce na jedné straně a přenos tepla na straně druhé, je rovnocenný. Tato rovnocennost platí v obou směrech. Stejný stroj, pracuje-li v opačném směru, může obnovit počáteční teplotní rozdíl, přičemž vykonanou práci spotřebovává. Pouze s jedním zdrojem tepla nelze sestavit žádný tepelný motor.

Clausius se stejně jako Carnot nezajímal o ztráty, ačkoliv přitom všechny skutečné motory mají energetickou účinnost menší, než by odpovídalo ideální teoretické hodnotě. Jeho popis, podobně jako Carnotův, odpovídá idealizaci. Ta vede ke stanovení meze, kterou příroda uvalila na účinnost tepelných motorů.

Od osmnáctého století se však postavení idealizace změnilo. Nová věda, založená na zákonu zachování energie, tvrdila, že nepopisuje jen idealizaci, ale samu přírodu včetně „ztrát“. To nastolilo nový problém a s ním do fyziky vstoupila nevratnost. Jak popsat, co se děje ve skutečném motoru? Jak do energetické rovnováhy zahrnout ztráty? Jak ztráty snižují účinnost? Tyto otázky dláždily cestu k druhé větě termodynamiky.

Od techniky ke kosmologii

Jak jsme viděli, otázky položené Carnotem a Clausiem vedly k popisu ideálních motorů založených na zachování a vyrovnávání. Tento popis navíc vyvolal potřebu řešení nových problémů, jako je disipace energie. William Thomson, který obdivoval Fourierovo dílo, význam problému rychle pochopil a v roce 1852 jako první zformuloval druhou větu termodynamiky.

Bylo to Fourierovo šíření tepla, které Carnot ztotožnil s možnou příčinou ztrát výkonu tepelných strojů. Carnotův oběh, již nikoliv ideální, ale „skutečný“ oběh, se tak stal prostředkem sblížení dvou obecných poznatků objevených v devatenáctém století – přeměny energie a šíření tepla. Spojení těchto dvou objevů umožnilo Thomsonovi stanovit obecně platný nový princip: existující všeobecnou snahu přírody o znehodnocování mechanické energie. Všimněte si slova „všeobecný“, které obsahuje očividný kosmologický podtext.

Laplaceův svět byl věčným, ideálním perpetuem mobile. Počínaje Thomsonem již kosmologie není pouhým odrazem nového, ideálního tepelného motoru, ale zahrnuje i důsledky nevratného šíření tepla světem, v němž se zachovává. Tento svět je popsán jako motor, ve kterém se teplo mění v pohyb jen za cenu jisté nevratné ztráty a neužitečného rozptýlení. Jevy vytvářející rozdíly v přírodě postupně slábnou. Svět při přechodu od jedné přeměny k druhé tyto rozdíly spotřebovává a spěje ke konečnému stavu teplotní rovnováhy, k „tepelné smrti“. Na úplném konci, v souladu s Fourierovým zákonem, již nebudou existovat žádné teplotní rozdíly vedoucí k mechanickým jevům.

Thomson tak učinil závratný skok od technologie motorů ke kosmo-

logii. Jeho znění druhé věty termodynamiky užívá vědeckého názvosloví tehdejší doby: zachování energie, stroje a Fourierův zákon. Navíc je jasné, že významnou roli zde sehrály i dobové kulturní souvislosti. Obecně se uznává, že problém času získal během devatenáctého století nový význam. Vskutku, zásadní role času začala být pocíťována ve všech oborech – v geologii, biologii, v jazyce, právě tak jako při studiu společenského vývoje a etiky lidstva. Je ale zajímavé, že zvláštní způsob, jakým byl čas do fyziky zaveden, tedy jako sklon k stejnorodosti a smrti, nám připomíná spíše dávné mytologické a náboženské vzory než rostoucí složitost a rozmanitost popisované biologii a společenskými vědami. Na návrat těchto pradávných námětů se lze dívat jako na odraz společenských, sociálních a ekonomických dějů v průběhu času. Rychlá přeměna techniky vzájemného ovlivňování s přírodou a stále se zrychlující tempo změn probíhajících v devatenáctém století vytvářely velký pocit úzkosti. Tato úzkost je v nás stále a nabývá rozličných podob, od návrhů „nulového růstu společnosti“ nebo moratoria na vědecký výzkum až po oznámení „vědeckých pravd“ týkajících se našeho rozpadajícího se vesmíru. Současné znalosti astrofyziky jsou stále skrovné a velmi problematické, především pro zásadní roli gravitačních jevů. Řešení problémů předpokládá současné užití termodynamiky a relativity. Většina článků z tohoto oboru se nicméně shoduje v předpovědi konečné zkázy. V závěru jedné soudobé knihy se píše:

„Jeví se jako nepříjemná pravda, že neúprosný rozpad vesmíru, tak jak ho známe, se zdá jistý. Uspořádání, které udržuje veškerou uspořádanou činnost, člověkem počínaje a galaxiemi konče, se pomalu, ale nevyhnutelně hroutí a může být dokonce gravitačním kolapsem uvrženo v zapomnutí.“¹⁴

Jiní jsou optimističtější. Freeman Dyson ve vynikajícím článku o energii vesmíru napsal:

„Je však možné, že život může mít větší důležitost, než jsme si doposud představovali. Život může navzdory všem nepřízním při utváření vesmíru k obrazu sebe sama uspět. A nástin neživého vesmíru nemusí být tak odtržený od možnosti života a inteligence, jak vědci dvacátého století doposud předpokládali.“¹⁵

Přes významný pokrok učiněný Hawkingem a dalšími zůstávají naše znalosti přeměn probíhajících ve velkém měřítku ve vesmíru i nadále nedostatečné.

Zrod entropie

V roce 1865 bylo na Clausiovi, aby přešel od techniky ke kosmologii. Zpočátku pouze přepracovával své dřívější závěry, ale zavedl přitom nový pojem, *entropii*. Jeho prvním cílem bylo jasně rozlišit představu zachování a vratnosti. Na rozdíl od mechanických přeměn, ve kterých se vratnost a zachování překrývají, se při fyzikálněchemické přeměně může energie zachovávat i tehdy, kdy průběh přeměny není vratný. Platí to například v případě tření, při němž se pohyb přeměňuje v teplo, nebo v případě vedení tepla popsáném Fourierem.

Jsme již obeznámeni s energií, která je funkcí stavu systému, tedy funkcí závisující pouze na hodnotách parametrů (tlak, objem, teplota), které tento stav určují.¹⁶ Ale musíme postoupit dále než jen k zákonu zachování energie a nalézt způsob, jak vyjádřit rozdíly mezi „užitečnými“ výměnami energie v Carnotově oběhu a „rozptýlenou“ (disipovanou) energií, která je nevratně znehodnocena.

A to je přesně význam Clausiovy nové funkce, entropie, obecně označované S .

Clausius tak nově vyjadřuje skutečnost, že se motor na konci svého oběhu vrací do výchozího stavu. První definice entropie se soustřeďuje na zachování – na konci každého ideálního oběhu se funkce stavu systému, entropie, vrací ke své počáteční hodnotě. Ale analogie mezi entropií a energií přestává v okamžiku, kdy se vzdáme idealizace.¹⁷

Uvažujme změnu entropie dS během krátkého časového intervalu dt . V případě ideálních a skutečných motorů jde o zcela odlišné poměry. V prvním případě lze změnu entropie dS vyjádřit jako výměnu mezi motorem a jeho okolím. Můžeme provést pokusy, kdy systém, místo aby teplo přijímal, teplo odevzdává. Odpovídající změna entropie přitom pouze změní znaménko. Tento příspěvek entropie, který označíme $d_v S$, je tedy *vratný* v tom smyslu, že může být buď kladný, nebo záporný. Při popisu skutečného motoru je děj naprosto odlišný. Na rozdíl od vratných přeměn probíhají uvnitř tohoto systému (motoru) i *nevratné* děje, jako jsou tepelné ztráty, tření atd. Tyto děje vyvolají zvýšení entropie nebo „změny entropie“ uvnitř systému. Odpovídající nárůst entropie, který značíme $d_u S$, nemůže měnit své znaménko vratnou výměnou tepla s okolním světem. Podobně jako všechny nevratné děje (například vedení tepla) probíhá změna entropie vždy v jednom směru (roste). Jinými slovy, změna entropie $d_u S$ může být jen kladná, nebo v nepřítomnosti nevratných dějů vymizí. Všimněte si, že kladné znaménko $d_u S$ je pouze otázkou dohody, konvence, stejně

by mohlo být i záporné. Cílem je monotónnost průběhu změny a ne možnost změny znaménka přírůstků entropie v průběhu času.

Značení $d_v S$ a $d_u S$ jsme zvolili tak, aby čtenáři připomínalo, že první člen se týká *výměny* (v) s okolním světem, zatímco druhý člen souvisí s *nevratnými ději uvnitř* (u) systému. Změna entropie dS je proto součtem dvou členů $d_v S$ a $d_u S$, které mají zcela odlišný fyzikální význam.¹⁸

K pochopení zvláštního charakteru rozložení změn entropie do dvou částí je vhodné užít náš vzorec pro případ energie. Označme energii E a její změnu během krátké doby dt označme dE . Samozřejmě, stále můžeme psát, že dE je rovno součtu členů $d_v E$ (odpovídajícímu výměnám energie) a $d_u E$ (spojenému s „vnitřním vytvářením“ energie). Zákon zachování energie nicméně tvrdí, že energie se nikdy „nevytváří“, ale pouze přemísťuje z jednoho místa na druhé. Změna energie dE se tedy omezuje na $d_v E$. Naopak všimneme-li si veličiny, jejíž hodnota se nezachovává, například počtu molekul vodíku v nádobě, zjistíme, že toto množství se může měnit v závislosti na tom, jak molekuly vodíku do nádoby přidáváme, či v důsledku chemických reakcí probíhajících v nádobě. V tomto případě však není znaménko „vytváření“ určeno. Molekuly vodíku můžeme podle okolností vytvářet nebo „ničit“ přemísťováním atomů vodíku k jiným chemickým složkám. Podivnou vlastností druhé věty termodynamiky je i skutečnost, že $d_u S$ je *vždy kladné*. Růst entropie vyjadřuje nevratné změny uvnitř systému.

Množství tepla dodaného nebo odebraného systémem umožnilo Clausiovi kvantitativně stanovit změnu entropie $d_v S$. Ve světě ovládaném představami vratnosti a zachování to bylo i jeho hlavním zájmem. Z pohledu nevratných dějů zahrnutých do změn entropie, Clausius je vyjádřil nerovností $d_u S/dt > 0$. Přesto bylo dosaženo významného pokroku, neboť opustíme-li Carnotův oběh a posuzujeme-li jiné termodynamické systémy, lze rozlišit *změny entropie vyvolané přívodem energie z oblastí mimo systém*, („tok“ entropie) a *hodnotu entropie*. V izolovaném systému, ve kterém nedochází k žádné výměně energie s okolím, je tok entropie podle definice roven nule. Zůstává jen člen určující hodnotu entropie systému. Ta může pouze narůstat, nebo zůstat stálá. Entropie již tedy v tomto případě nesouvisí s nevratnými přeměnami chápány jako přiblížení vratných přeměn. Nárůst hodnoty entropie odpovídá *samovolnému vývoji systému*. Entropie se tak stává „indikátorem vývoje“ nebo, jak ji výstižně nazval Eddington, „šipkou, ukazatelem času“. Pro všechny izolované systémy platí, že jejich budoucnost se vyvíjí směrem nárůstu entropie.

Jaký systém by byl lépe „izolován“ než vesmír jako celek? Tato představa je základem kosmologické formulace dvou termodynamických zákonů, vyslovených Clausiem v roce 1865:

„Die Energie der Welt ist konstant.

Die Entropie der Welt strebt einem Maximum zu.“^{19*}

Důsledky tvrzení, že entropie izolovaného systému vzrůstá směrem k maximu, jsou mnohem významnější, než byly technické důsledky problémů, které se staly podnětem k vzniku termodynamiky. Rostoucí entropie již není synonymem ztrát, ale upozorňuje nyní na *přírodní děje* probíhající uvnitř systému. Jsou to děje, které systém konečně vedou směrem k termodynamické „rovnováze“ odpovídající stavu s maximální entropií.

V kapitole 1 jsme zdůraznili moment překvapení z Newtonova objevu obecných zákonů dynamiky. Prvek překvapení je zřejmý i zde. Když Sadi Carnot formuloval zákony pro ideální tepelné motory, byl dalek představy, že jeho dílo povede k zásadní revoluci ve fyzice.

Vratné přeměny jsou součástí klasické vědy v tom smyslu, že určují možnost jejího působení na systém, tedy možnost jeho ovládní. *Dynamický* předmět lze řídit jeho počátečními podmínkami. Podobně lze i *termodynamický* předmět, je-li definován pojmy vratných přeměn, řídit prostřednictvím hraničních podmínek: libovolný systém ve stavu termodynamické rovnováhy, jehož teplota, objem nebo tlak se *postupně* mění, prochází řadou rovnovážných stavů a libovolné obrácení tohoto sledu vyúsťuje v návrat systému do základního stavu. Vratný charakter těchto změn a řízení předmětu prostřednictvím jeho hraničních podmínek jsou nezávislé děje. Nevratnost je v tomto smyslu „záporná“ a objevuje se v podobě „neřízených“ změn, k nimž dochází, jakmile se systém vymkne řízení. Ale opačně, nevratné děje lze též považovat za poslední zbytek spontánní a vnitřní *činnosti* přírody, jestliže jsou k jejímu spoutání užívány experimentální prostředky.

Možnost „záporné“ disipace energie ukazuje, že termodynamické předměty lze na rozdíl od předmětů dynamických ovládat jen *částičně*. Občas „přejdou“ do spontánní změny.

V *termodynamickém* systému nejsou všechny změny *rovnocenné*. Toto tvrzení je smyslem rovnice $dS = d_v S + d_u S$. Samovolná změna směrem k rovnováze $d_u S$ se liší od změny $d_v S$, která je určena a řízena změnou

* Energie světa je stálá. Entropie světa usiluje o dosažení maxima. (pozn. překl.)

mezních podmínek (například teplotou okolí). Rovnováha v izolovaném systému se jeví jako „atraktor“* nerovnovážných stavů. Naše počáteční tvrzení lze zobecnit výrokem, že vývoj tímto směrem – k atraktoru – se odlišuje od všech ostatních změn, především od změn určených počátečními podmínkami.

Max Planck často zdůrazňoval rozdíl dvou druhů změn nalezených v přírodě. Zdá se, napsal Planck, že příroda jistým stavům „přeje“. Nevratný nárůst entropie $d_u S/dt$ popisuje přibližování systému ke stavu, který ho „vábí, přitahuje“, který systém zvýhodňuje a z něhož se systém svou vlastní „svobodnou vůlí“ nedostane. „Z tohoto hlediska příroda nepovoluje ty děje, jejichž konečné stavy shledává ve srovnání se stavy počátečními méně přitažlivými. Vratné děje jsou mezními případy. Příroda v nich má stejnou náchylnost k stavům počátečním i konečným, což je důvod, proč přechod mezi nimi je možno provést v obou směrech.“²⁰

Jak cize zní tento jazyk ve srovnání s jazykem dynamiky! V dynamice se systém mění podle trajektorie, která je jednou provždy dána a jejíž výchozí bod není nikdy zapomenut (protože počáteční podmínky trajektorii navždy určují). Avšak v izolovaném systému *všechny* nerovnovážné stavy vyvolávají vývoj směrem ke *stejnému* typu rovnovážného stavu. V okamžiku, kdy systém dosáhne rovnovážného stavu, *zapomene* své počáteční podmínky, tedy způsob, jak se vyvinul.

Měrná tepelná kapacita nebo stlačitelnost systému v rovnováze jsou vlastnosti nezávislé na způsobu, jakým byl systém vytvořen. Tato šťastná okolnost značně zjednodušuje studium fyzikálních stavů hmoty. Vskutku, složitý systém se skládá z nesmírného počtu částic.** Vzhledem k nekonečnému množství dynamických stavů, které mohou nastat, je jejich napodobení dynamikou prakticky nemožné.

Jsmě nyní postaveni před dva naprosto rozdílné popisy: dynamický, používaný pro svět pohybu, a termodynamický, vědu o složitých systémech, s její vnitřní orientací vývoje směrem k rostoucí entropii. Tato dichotomie okamžitě vyvolává otázku po způsobu, jak jsou tyto popisy příbuzné, což je problém, o kterém se diskutuje od okamžiku zformulování termodynamických zákonů.

* Atraktor – oblast parametrů, ke které se samovolně přibližují trajektorie systému. (pozn. překl.)

** Fyzikální chemie často užívá Avogadrovo číslo, které udává počet molekul v „molu“ látky (jeden mol obsahuje vždy stejné množství částic, které odpovídá počtu atomů v jednom gramu vodíku). Hodnota Avogadrova čísla je $6 \cdot 10^{23}$. Jeho řád je typický pro velikost počtu částic vytvářejících systémy řízené zákony klasické termodynamiky.

Boltzmannův princip řádu

Druhá věta termodynamiky vyjadřuje dvě zásadní skutečnosti: (1) „zápornou“, vyjadřující nemožnost určitých dějů (teplo se šíří směrem od horkého zdroje ke studenému a nikoliv opačně) a (2) „kladnou“, tvořivou. Druhá skutečnost je důsledkem první; je to nemožnost určitých pochodů, které nám umožňují zavést funkci (entropii), která by pro izolované systémy rovnoměrně narůstala. Entropie se chová jako „atraktor“ izolovaného systému.

Jak mohou být formulace termodynamiky slučitelné s dynamikou? Na konci devatenáctého století většina vědců předpokládala, že je to nemožné. Termodynamické věty byly nové zákony pokládající základy nové vědě, která se nemohla omezovat na tradiční fyziku. Jak kvalitativní rozmanitost energie, tak i její sklon k disipaci musely být považovány za nové axiomy. To byl hlavní argument zastánců energetismu*, kterým čelili atomistům odmítajícím opustit to, co považovali za hlavní poslání fyziky – přeměnu složitosti přírodních jevů v jednoduchost základního chování vyjádřeného zákony pohybu.

Skutečně, problémy přechodu z mikroskopické na makroskopickou úroveň se pro vývoj fyziky jako celku ukázaly jako výjimečně plodné. Boltzmann byl první, kdo výzvu přijal. Cítil, že je nezbytné vytvořit nové pojetí, které by fyziku trajektorií rozšířilo tak, aby zahrnovala i stavy popisované termodynamikou. Boltzmann kráčel v Maxwellových stopách a hledal zlepšení koncepce využitím teorie pravděpodobnosti.

Nepřekvapovalo, že by pravděpodobnost mohla být významná při popisu složitých jevů. Maxwell sám se zdá ovlivněn dílem Queteleta, objevitele „průměrného“ člověka v sociologii. Novost spočívala ve využití pravděpodobnosti ve fyzice, a to nikoliv jako nástroje přibližnosti, ale spíše jako zásady pro vysvětlení, které mělo přispět ke zlepšení popisu, aby se ukázalo, že systém je složen z velkých souborů popsatečných pravděpodobností a může vykazovat i nové chování.

Uvažujme jednoduchý příklad využití pravděpodobnosti ve fyzice. V krabici o dvou stejných přihrádkách se nachází soubor o N částicích. Úkolem je najít pravděpodobnost různých možných rozdělení částic do přihrádek, tj. pravděpodobnost nalezení N_1 částic v první přihrádce (a $N_2 = N - N_1$ v druhé přihrádce).

* Energetismus převádí vše, tedy i tradiční metafyzické kategorie hmoty a ducha na energii. (pozn. překl.)

Pomocí kombinatoriky je snadné vypočítat počet způsobů, jakými lze rozdílného rozdělení částic dosáhnout. Tedy, je-li $N = 8$, lze osm částic rozdělit do dvou stejně velkých skupin jen jedním způsobem. Avšak, předpokládáme-li, že částice jsou, jak se v klasické fyzice předpokládá, navzájem rozlišitelné, existuje osm různých způsobů, jak jednu částici umístit do jedné poloviny a sedm do druhé. Navíc, stejné rozdělení částic do dvou přihrádek může být vykonáno $8!/4!4! = 70$ odlišnými způsoby (přičemž $n! = 1 \cdot 2 \cdot 3 \cdot \dots \cdot (n-1) \cdot n$). Podobně je možno nezávisle na hodnotě N definovat počet P stavů, ve fyzice nazývaný *stupněm uspořádanosti systému*. Stupeň uspořádanosti udává počet způsobů, jakými lze dosáhnout libovolného rozdělení N_1, N_2 . Platí $P = N!/N_1!N_2!$.

Čím vyšší je pro daný soubor počet stupňů uspořádanosti, tím menší je rozdíl mezi N_1 a N_2 . Počet stupňů uspořádanosti dosahuje maxima v případě, že je soubor rozdělen do dvou stejných skupin. Navíc, čím vyšší je hodnota N , tím větší je rozdíl mezi počtem stupňů uspořádanosti, které přísluší různým způsobům rozdělení. Pro makroskopické soubory je typická hodnota N řádu 10^{23} a drtivá většina možných rozdělení odpovídá rozdělení $N_1 = N_2 = N/2$. V systémech složených z velkého počtu částic jsou pak všechny stavy odlišné od stavu, ve kterém jsou velikosti souborů po rozdělení stejné, vysoce nepravděpodobné.

Boltzmann byl první, kdo si uvědomil, že nevratný nárůst entropie lze chápat jako vyjádření rostoucího molekulárního chaosu a postupného mizení jakékoliv počáteční nesouměrnosti, neboť ta stupeň uspořádanosti (ve srovnání s hodnotou odpovídající maximu P) snižuje. Boltzmann se tedy snažil ztotožnit entropii S se stupněm uspořádanosti. Entropie popisuje každý makroskopický stav počtem způsobů dosažení tohoto stavu. Boltzmannova proslulá rovnice $S = k \lg P^*$ vyjadřuje tuto myšlenku kvantitativně. Součinitel úměrnosti k , použitý v této rovnici, je základní fyzikální konstanta známá jako Boltzmannova konstanta.

Boltzmannovy výsledky ukazují, že nevratná termodynamická změna je změnou systému směrem k stavům se zvyšující se pravděpodobností a že stav atraktoru je makroskopickým stavem odpovídajícím maximu pravděpodobnosti. A to nás přivádí mnohem dále, než se podařilo Newtonovi. Fyzikální představa je poprvé vysvětlena prostřed-

* Logaritmická závislost je vyjádřením toho, že entropie je aditivní veličina ($S_{1+2} = S_1 + S_2$), zatímco stupeň uspořádanosti systému se násobí ($P_{1+2} = P_1 \cdot P_2$).

nictvím pravděpodobnosti. Užitečnost tohoto postupu je nasnadě. Pravděpodobností lze přiměřeně vysvětlit zapominání veškeré počáteční asymetrie, všech zvláštních rozdělení v systému (například soubor částic soustředěných v podoblasti systému, nebo rozdělení rychlostí, které vznikne při smíchání dvou plynů o rozdílných teplotách). Toto mizení je možné, protože *bez ohledu na to, jaký vývoj je systému vlastní*, povede vždy k jednomu z mikrostavů odpovídajícímu makrostavu chaosu a maximu souměrnosti, neboť tyto makrostavy odpovídají naprosté většině možných mikrostavů. Jakmile je tento stav dosažen, systém se od něho bude jen „málo vzdalovat“, a to jen v krátkých časových okamžicích. Jinak řečeno, systém bude jen kolísat (fluktuovat) kolem stavu „atraktoru“.

Z Boltzmannova principu řádu vyplývá, že nejpravděpodobněji dosažitelným stavem systému je ten, ve kterém se množina současně probíhajících událostí v systému *navzájem statisticky vyrovnává*. V našem prvním příkladě se systém bez ohledu na počáteční rozdělení vyvíjí směrem k rozdělení $N_1 = N_2$. Po dosažení tohoto stavu systém svůj nevratný makroskopický vývoj ukončí. Částice se samozřejmě budou i nadále pohybovat z jedné poloviny krabice do druhé, ale v každém okamžiku se bude *v obou směrech pohybovat přibližně stejné množství částic*. To způsobí, že jejich pohyb vyvolá jen malé, krátkodobé kolísání (fluktuace) kolem rovnovážného stavu $N_1 = N_2$. Boltzmannovo vysvětlení pomocí pravděpodobnosti tedy umožňuje pochopit zvláštnost „atraktoru“ zkoumaného „rovnovážnou“ termodynamikou.

Ale to ještě není všechno: v třetí části této knihy se zaměříme na podrobnější diskusi o tomto problému. Zde postačí několik poznámek. V klasické mechanice (a jak uvidíme, i v kvantové mechanice) je vše určeno počátečními stavy a pohybovými zákony. Jak tedy do popisu přírody vstupuje pravděpodobnost? V tomto případě je přirozené odvolat se na naši neznalost přesného dynamického stavu systému. Avšak to je subjektivní výklad pojmu entropie. Takové vysvětlení bylo přijatelné, když byly nevratné děje považovány za pouhé nepříjemnosti odpovídající tření nebo, obecněji, ztrátám při provozu tepelných strojů. Ale dnes se názor změnil. Jak uvidíme, nevratné děje mají nesmírný tvůrčí význam: život bez nich by nebyl možný. Subjektivní výklad je tedy vysoce sporný. Jsme sami pouze výsledkem naší nevědomosti, skutečnosti, že jen pozorujeme makrostavy?

Navíc, jak v termodynamice, tak i v jejím výkladu využívajícím pravděpodobnost se objevují nesouměrnosti v čase – entropie roste směrem k budoucnosti a nikoliv k minulosti. To se zdá nemožné v přípa-

dě, uvažujeme-li o dynamických rovnicích, které jsou vůči času neměnné (invariantní). Jak poznáme, je druhá věta termodynamiky výběrovým pravidlem slučitelným s dynamikou, ale není z ní odvoditelná. Omezuje možné počáteční podmínky dynamického systému. Druhá věta termodynamiky tedy vyjadřuje rázný odklon od mechanického světa klasické či kvantové dynamiky. Ale vraťme se zpět k Boltzmannovu dílu.

Doposud jsme se zabývali izolovanými systémy, ve kterých je počet částic stejně jako celková energie pevně stanoven hraničními podmínkami. Boltzmannovo vysvětlení lze nicméně rozšířit i na otevřené systémy, které se vzájemně ovlivňují se svým okolím. V uzavřeném systému, určeném takovými hraničními podmínkami, že teplota T systému při výměně tepla s okolím je stálá, není rovnováha určována maximem entropie, ale minimem podobné funkce, volné energie: $F = E - T \cdot S$, kde E je energie systému a T teplota (měřená tzv. termodynamickou stupnicí v kelvinech, teplotě směsi vody a ledu odpovídá 273K, tj. 0° C a bodu varu vody 373K, tj. 100° C).

Tato formulace znamená, že rovnováha je výsledkem soupeření energie a entropie. Teplota je tím, co určuje relativní váhu obou činitelů. Při nízkých teplotách převládá energie a dostáváme se k vytváření *uspořádaných* struktur s nízkou hodnotou entropie a *nízkoenergetických* struktur, jakými jsou např. krystaly. Každá molekula uvnitř těchto struktur se ovlivňuje vzájemně se svým okolím a příslušná kinetická energie je ve srovnání s potenciální energií odpovídající vzájemnému ovlivňování každé molekuly se svým okolím malá. Každou částici si lze představit jako „uvězněnou“ jejím vzájemným působením s okolím. Při vysokých teplotách však převažuje entropie, a tak vzniká molekulární nepořádek (chaos). Význam relativních pohybů roste a pravidelnost krystalu se narušuje. Při dalším růstu teploty postupně přechází do kapalného a plynného skupenství.

Entropie S izolovaného systému a volná energie F systému udržovaného na stálé teplotě jsou příklady „termodynamických potenciálů“. Extrémy termodynamických potenciálů, jakými jsou například S nebo F , určují stavy „atraktorů“, ke kterým samovolně „míří“ systémy s hraničními podmínkami odpovídajícími definicím těchto potenciálů.

Boltzmannův princip řádu lze tedy užít i ke studiu současné koexistence struktur (takových, jako jsou tekuté a pevné skupenství) nebo rovnováhy mezi krystalem jako výsledkem krystalizace a stejnou látkou v roztoku. Je důležité si zapamatovat, že rovnovážné struktury jsou definovány na molekulární úrovni. Právě vzájemné působení molekul, jehož

dosah je řádově 10^{-10} m, tedy stejného řádu jako atomy v molekulách, je tím, co činí krystalovou strukturu stálou a „obdařuje“ ji makroskopickými vlastnostmi. Na druhé straně velikost krystalu není skutečnou vlastností struktury, ale závisí na množství látky při krystalizaci v rovnováze.

Carnot a Darwin

„Rovnovážná“ termodynamika poskytuje uspokojivé vysvětlení velkého množství fyzikálně-chemických jevů. Lze se jí i dotázat, zda představa rovnovážných struktur zahrnuje i různé struktury, s nimiž se střetáváme v přírodě. Odpověď je obvykle záporná.

Na rovnovážné struktury lze pohlížet jako na výsledek statistického vyrovnání chování mikroskopických prvků (molekul, atomů), které podle definice jsou na souhrnné úrovni netečné. Proto jsou také nazývány „věčnými“. Pokud se jednou vytvořily, mohou být vyděleny a bez dalšího ovlivňování jejich okolím udržovány libovolně dlouho. Zkoumáme-li biologickou buňku či město, je situace zcela odlišná. Tyto systémy jsou nejen otevřené, ale mohou existovat právě jen proto, že jsou otevřené. Spotřebovávají hmotu a energii z vnějšího světa. Krystal můžeme vydělit, ale buňky a města umírají, jsou-li od svého okolí odříznuty. Vytvářejí nedílnou část světa, ze kterého čerpají potravu a nemohou být odděleny od proudů energie a hmoty, které nepřetržitě přeměňují.

Avšak není to jen živá příroda, která je modelům termodynamické rovnováhy skutečně cizí. Také hydrodynamika a chemické reakce obvykle zahrnují výměnu hmoty a energie s vnějším světem.

Je obtížné porozumět tomu, jak lze v těchto případech Boltzmannův princip řádu užít. Skutečnost, že nějaký systém se v průběhu doby stává stejnorodějším, lze chápat jako změnu stupně uspořádanosti. Ve stavu stejnorodosti, kdy „rozdíly“ vyvolané počátečními podmínkami byly zapomenuty, je stupeň uspořádanosti nejvyšší. Z tohoto pohledu je však nemožné pochopit samovolnou konvekci. Konvekční proud vyjadřuje souvislost a spolupůsobení obrovského počtu molekul. Je opakem nepořádku a přednostním stavem, kterému odpovídá pouze poměrně malý stupeň uspořádanosti. Řečeno Boltzmannovými slovy, jde o „nepravděpodobný“ stav. Má-li být konvekce brána za „zázrak“, co pak máme říkat o životě s jeho vysoce zvláštními formami přítomnými v nejjednodušších organismech?

Otázku významu a důležitosti rovnovážných modelů lze obrátit.

Pro vytvoření rovnováhy musí být systém „ochráněn“ před toky a proudy tvořícími přírodu. Musí být „zakonzervován“, nebo uzavřen do láhve podobně jako homunkulus* v Goethově Faustovi. Homunkulus však navíc alchymistu, který ho stvořil, oslovuje: „To nebylo jen tak! K srdci mě viň! Ne příliš pevně však, sice by sklo se roztránilo. Tak jevíť určeno to bylo: přírodní – kroužil by až pod slunce; umělý – prostor uzavřený chce.“** V nám důvěrně známém světě je rovnováha vzácným a ošidným stavem. Rovněž vývoj směrem k rovnováze v sobě zahrnuje svět podobný našemu. K tomu, abychom si ho představili jako částečně izolovaný, je dostatečně vzdálený od Slunce (při teplotách Slunce není žádné „ukrytí do konzervy“ možné), ale je to svět, ve kterém nerovnováha zůstává pravidlem, „netečný“ svět, ve kterém rovnováha a nerovnováha existují současně.

Fyzikové se po dlouhou dobu domnívali, že netečnou krystalovou strukturu mohou popsat a určovat jako jediný fyzikální řád, který je předpověditelný a reprodukovatelný a který se blíží rovnováze jako jedinému vývoji, jenž lze ze základních fyzikálních zákonů vyvodit. Jakýkoliv pokus o extrapolaci z termodynamického popisu tak musel být popsán jako vzácný a nepředvídatelný druh vývoje popisovaného biologie a společenskými vědami. Jak, například, mohla Darwinova vývojová teorie – statistický výběr mimořádných událostí – vysvětlit statistický zánik všech zvláštností a charakteristických rysů, všech výjimečných uspořádání popsaných Boltzmannem? Jak se Roger Caillois²¹ táže: „Mohou mít oba, Carnot i Darwin, pravdu?“

Všimněme si, jak jsou si Darwinův přístup a cesta hledaná Boltzmannem v zásadě podobné. Může jít o víc než o náhodnou shodu. Víme, že Boltzmann Darwina nesmírně obdivoval. Darwinova teorie začíná předpokladem samovolného kolísání druhů; výběr pak vede k nevratné biologické evoluci. Náhodnost tudíž, jako u Boltzmannova, vede k nevratnosti. Výsledek je však naprosto odlišný. Boltzmannův výklad zahrnuje zapomenutí počátečních podmínek, „zničení“ počátečních struktur, zatímco Darwinova vývojová teorie je spojena se samouspořádáváním a se stále rostoucí složitostí.

Shrňme naši dosavadní diskusi: „rovnovážná“ termodynamika byla první reakcí fyziky na problém složitosti přírody. Reakce byla vyjádřena mařením (disipací) energie, zapomináním počátečních podmínek a vývojem směrem k nepořádku. Klasická dynamika, věda o „věčných“

vratných trajektoriích, byla cizí problémům devatenáctého století, které bylo ovládnuto představou vývoje. „Ravnovážná“ termodynamika svým pohledem na čas protřečila představám času ostatních věd. Pro termodynamiku čas znamenal znehodnocení a smrt. Jak jsme viděli, již Diderot se ptal: Kam se my, uspořádané bytosti obdařené city a vnímáním, umístíme v netečném světě vystaveném dynamice? A další otázka, která nás trápila déle než století: Jaký význam má vývoj živých bytostí ve světě popsaném termodynamikou, ve světě stále vzrůstajícího nepořádku? Jaká je souvislost termodynamického času, času směřujícího k rovnováze a času, ve kterém vývoj probíhá směrem k rostoucí složitosti?

Měl Bergson pravdu? Je čas skutečným prostředkem pro vznik něčeho, nebo není vůbec ničím?

* Podle středověkých představ uměle vyrobený člověk. (pozn. překl.)

** J. W. Goethe: Faust, přel. Otokar Fischer

Kapitola 5

Tři stupně termodynamiky

Tok a síla

Vraťme¹ se k popisu druhé věty termodynamiky v předcházející kapitole. Ústřední význam při popisu vývoje má pojem entropie. Jak jsme již poznali, lze změnu entropie vyjádřit součtem dvou členů, členem $d_p S$ vyjadřujícím výměnu mezi systémem a „zbytkem světa“ a „tvořivým“ členem $d_u S$ vyplývajícím z nevratných dějů uvnitř systému. Tento člen je vždy, kromě stavu termodynamické rovnováhy, kdy je roven nule, kladný. V izolovaných systémech (kdy $d_p S = 0$) rovnovážný stav odpovídá stavu s nejvyšší hodnotou entropie.

Pro pochopení fyzikálního významu druhé věty termodynamiky je třeba mnohem podrobnější popis různých nevratných jevů, které spolu vytvářejí entropii $d_u S$ nebo nárůst entropie v čase $P = d_u S/dt$.

Zvláštní význam pro nás mají chemické reakce. Společně s vedením tepla vytvářejí základní model nevratných dějů. Navíc mají zásadní roli i v biologii. Živá buňka představuje nepřetržitě probíhající metabolickou činnost. V buňce probíhají tisíce chemických reakcí, při kterých se přeměňují látky vyživující buňku, vytvářejí základní biomolekuly a odstraňují odpadní látky. I když tyto reakce probíhají s rozdílnou reakční rychlostí a na různých místech v buňce, je tato chemická činnost vysoce uspořádaná. Biologická struktura tak vzájemně spojuje řád a činnost. Naopak rovnovážný stav zůstává netečným i tehdy, kdy by mohl mít strukturální stavbu, například v krystalu. Mohou nám být chemické děje klíčem k odlišnostem mezi chováním krystalu a chováním buňky?

Chemické reakce musíme posuzovat z dvojího hlediska – kinetického a termodynamického.

Pro kinetické hledisko je základní veličinou reakční rychlost. Klasická teorie chemické kinetiky je založena na předpokladu, že rychlost chemické reakce je úměrná koncentracím látek, které se jí zúčastní. Reakce probíhá při srážkách molekul a je zcela přirozené předpokládat, že počet srážek je úměrný součinu koncentrací reagujících molekul.

Jako příklad uvažujeme jednoduchou reakci $A + X \rightarrow B + Y$. Tato „re-

akční rovnice“ vyjadřuje, že při srážce molekuly A s molekulou X je jistá pravděpodobnost, že proběhne reakce a vznikne molekula B a molekula Y . Srážka vytvářející takovou změnu v zúčastněných molekulách je „reakční srážkou“. Tento děj obvykle nastane u velmi malého zlomku (například $1/10^6$) všech srážek. Molekuly si ve většině případů ponechávají svůj původní charakter a vyměňují pouze energii.

Chemická kinetika se zabývá změnami koncentrací různých látek podílejících se na reakci. Tato kinetika je popsána diferenciálními rovnicemi podobně, jako je pohyb popsán rovnicemi Newtonovými. Zde však neurčujeme zrychlení, ale rychlosti změny koncentrace a tyto rychlosti jsou vyjádřeny jako funkce koncentrací reagujících složek. Rychlost změny koncentrace X , tj. dX/dt , je tedy úměrná součinu koncentrací složek A a X v roztoku, tedy $dX/dt = -kA \cdot X$, kde k je součinitel úměrnosti, který závisí na veličinách, jako jsou teplota a tlak, a který určuje míru jednotlivých frakcí, které vystupují v reaktivních srážkách a vedou k reakci $A + X \rightarrow B + Y$. Vzhledem k tomu, že kdykoliv v našem příkladu zmizí molekula X , zmizí i molekula A a vytvoří se molekula Y a molekula B , jsou rychlosti změny koncentrace ve vzájemném vztahu: $dX/dt = dA/dt = -dY/dt = -dB/dt$.

Avšak může-li srážka molekuly X a molekuly A vyvolat chemickou reakci, srážka molekuly Y a B může vyvolat reakci opačnou. Uvnitř popsaného systému se tak objevuje druhá reakce $Y + B \rightarrow X + A$ a přináší s sebou dodatečnou změnu koncentrace X , $dX/dt = k'YB$. Celková změna koncentrace chemické sloučeniny je tak dána rovnováhou obou reakcí. V našem příkladu $dX/dt (= -dY/dt = \dots) = -kAX + k'YB$.

Je-li systém, v němž chemické reakce probíhají, ponechán sám sobě, směřuje k chemické rovnováze. Chemická rovnováha je tedy typickým příkladem „atraktorového“ stavu. Ať je počáteční chemické složení systému jakékoliv, systém samovolně dosáhne konečného stadia, ve kterém se oba typy reakcí (původní reakce a reakce v obráceném směru) navzájem statisticky vyrovnávají, takže již k celkové, výsledné změně koncentrací ($dX/dt = 0$) nedochází. Toto vyrovnání znamená, že poměr rovnovážných koncentrací je dán $AX/YB = k'/k = K$. Tento výsledek je znám jako „zákon o působení aktivní hmoty“ nebo Guldbergův-Waageův zákon a K je rovnovážná konstanta. Poměr koncentrací určených zákonem o působení aktivní hmoty odpovídá chemické rovnováze stejně jako vyrovnanost teploty (v izolovaném systému) odpovídá teplotní rovnováze. Přitom nedochází ke změně entropie.

Říve než se vypořádáme s termodynamickým popisem chemických reakcí, zvažme krátce další rys kinetického popisu. Reakční rychlost

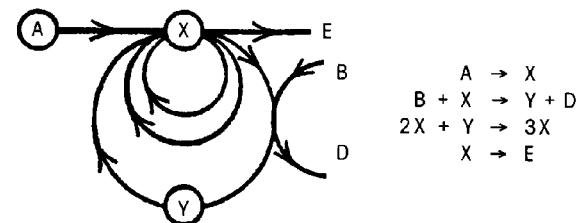
je ovlivněna nejen koncentracemi reagujících molekul a termodynamickými veličinami (například tlakem a teplotou), ale může být též ovlivněna přítomností chemických látek v systému, které, aniž se během děje změni, ovlivňují reakční rychlost. Tyto látky jsou známy jako „katalyzátory“. Katalyzátory mohou například změnit hodnotu kinetických konstant k nebo k' , či dokonce mohou umožnit systému vydat se na novou „reakční“ dráhu. V biologii mají tuto úlohu zvláštní proteiny, „enzymy“. Tyto makromolekuly mají prostorové uspořádání, které jim umožňuje ovlivnit rychlost dané reakce. Jsou často velmi specifické a ovlivňují jen jednu reakci. Katalytické působení enzymů je umožněno existencí „aktivních míst“, do kterých se mají různé molekuly podílející se na reakci sklon samy vázat, a tak se zvyšuje pravděpodobnost vzájemného setkání a působení.

Jedním, zejména v biologii velmi důležitým druhem katalýzy je ten, ve kterém je přítomnost látky vznikající při reakci vyžadována k její vlastní syntéze. Jinými slovy, abychom vytvořili molekulu X , musíme začít se systémem, který již X obsahuje. Molekula X například velmi často *aktivuje* enzym. Po připojení se k enzymu stabilizuje toto zvláštní uspořádání, ve kterém je „aktivní místo“. Takovému autokatalytickému ději odpovídají např. reakce se schématem typu $A + 2X \rightarrow 3X$, kdy se v přítomnosti molekuly X přeměňuje molekula A v molekulu X . Proto potřebujeme X k tomu, abychom vyrobili více X . Tato reakce může být symbolicky znázorněna reakční „směčkou“:



Jedním z významných rysů systémů zahrnujících takové reakční „směčky“ je skutečnost, že kinetické rovnice popisující v něm probíhající změny jsou *nelineárními* diferenciálními rovnicemi.

Použijeme-li stejný postup jako dříve, je kinetickou rovnicí popisující reakci $A + 2X \rightarrow 3X$ rovnice $\frac{dX}{dt} = kAX^2$, v níž je rychlost změny koncentrace X úměrná *druhé mocnině* její koncentrace.



Obr. 3 Graf představuje reakční průběhy „Bruselátoru“, které jsou popsány dále v textu.

Jinou velmi důležitou třídou katalytických reakcí v biologii jsou „křížově probíhající“ reakce, například $2X + Y \rightarrow 3X$, $B + X \rightarrow Y + D$, kterou lze zobrazit smyčkou na obrázku 3.*

Jde o příklad „křížově probíhající“ reakce, neboť X je vytvářeno z Y a současně je vytvářeno Y z X . Katalýza nemusí nezbytně zvýšit reakční rychlost, naopak může vést k inhibici, kterou je též možno znázornit vhodnými zpětnovazebnými smyčkami.

Nezvyklé matematické vlastnosti nelineárních diferenciálních rovnic popisujících chemické procesy s katalytickými kroky jsou, jak dále uvidíme, životně důležité pro termodynamiku „silně“ nerovnovážných chemických dějů. Navíc, jak jsme se již zmínili, molekulární biologie osvětlila, že tyto smyčky mají zásadní úlohu v metabolických funkcích. Například vztah nukleových kyselin a proteinů lze popsat pojmenování katalytické „křížově probíhající“ reakce. Nukleové kyseliny obsahují informaci pro produkci proteinů, které naopak vytvářejí nukleové kyseliny.

Kromě podílů chemických reakcí musíme uvážit i podíly ostatních nevratných dějů, takových jako přenos tepla a difúze hmoty. Podíly nevratných dějů se též nazývají *toky* a jsou označovány jako J . Obecná teorie, z níž bychom tvar podílů toků mohli odvodit, neexistuje. Rychlosti chemických reakcí závisí na molekulárním mechanismu, jak je možno ověřit na již naznačených příkladech. Termodynamika nevratných dějů zavádí další typ veličiny: vedle podílů rychlostí nebo toků J zavádí „zobecněné síly“ X , které „vyvolávají“ toky. Nejjednodušším příkladem je vedení tepla. Fourierův zákon nám říká, že tepelný tok J je úměrný rozdílu teplot, tedy gradientu teploty. Teplotní gradient je „silou“ vyvolávající tepelný tok. Podle definice jak tok, tak síly vymizí ve stavu

* Tedy reakce, při kterých je produkt prvé z nich vstupní látkou reakce následující. (pozn. překl.)

teplotní rovnováhy. Jak uvidíme, změnu entropie v čase $P = d_u S/dt$ lze vypočítat z toku a síly.

Uvažujme definici zobecněné síly odpovídající chemické reakci. Připomeňme si reakci $A + X \rightarrow B + Y$. Viděli jsme, že při rovnováze je poměr koncentrací určen zákonem o působení aktivní hmoty. Jak ukázal Théophile De Donder, lze zavést „chemickou sílu“, „afinitu“ A určující směr chemické reakční rychlosti stejně, jako teplotní gradient určuje směr toku tepla. V případě námi uvažované chemické reakce je afinita úměrná $\log K_{BY/AX}$, přičemž K je rovnovážná konstanta. Je okamžitě jasné, že afinita A při rovnováze vymizí, neboť podle zákona o působení aktivní hmoty platí $AX/BY = K$. Afinita (v absolutní hodnotě) vzrůstá, pokud systém vzdalujeme od rovnovážného stavu. S tímto jevem se setkáme v případě, že ze systému odstraníme část molekul B , které se vytvářejí reakcí $A + X \rightarrow Y + B$. Afinitu lze považovat za míru „vzdálenosti“ skutečného stavu systému a jeho rovnovážného stavu. Navíc, jak jsme se již zmínili, její znaménko určuje směr chemické reakce. Je-li znaménko A kladné, pak je „nadbytek“ molekul B a Y a reakce probíhá ve směru $B + Y \rightarrow A + X$. Naopak, je-li znaménko A záporné, je „nedostatek“ molekul B a Y a reakce probíhá v opačném směru.

Afinita v podobě, v jaké jsme ji definovali, je přesnějším vyjádřením starodávné afinity popsané alchymisty, kteří rozluštili „výběrové vztahy“ chemických těles, tedy to, co molekuly „mají rády“ a co „nerady“. Představa, že chemický děj nelze zjednodušit na mechanické trajektorie, na tišinu ovládanou zákony dynamiky, byla zdůrazňována od počátku. Obšírně bychom mohli citovat Diderota. Nietzsche později v jiných souvislostech dokazoval, že je směšné hovořit o „chemických zákonech“, jako by chemická tělesa byla ovládána zákony podobnými zákonům morálky. Tvrdil, že v chemii neexistují zábrany a každé těleso činí, co a jak se mu zachce. Není to záležitost „ohledů, úcty“, ale boje o moc, bezohledné nadvlády silnějšího nad slabším². Rozhodnutí tohoto sporu odpovídá chemické rovnováze s mizející afinitou. Pohlížíme-li na zvláštnost termodynamické afinity z tohoto hlediska, parafrázujeme odvěký problém do moderního jazyka³, problém rozlišení zákonitého a netečného světa dynamického zákona a světa živelné a tvořivé činnosti, ke kterému náleží chemické reakce.

Zdůrazněme základní pojmové rozdíly fyziky a chemie. V klasické fyzice lze pochopit přinejmenším takové vratné děje, jakým je pohyb kyvadla bez tření. Zanedbání nevratných dějů v dynamice odpovídá vždy idealizaci, ale má, alespoň v některých případech, smysl. Situace v chemii je zcela odlišná. Děje, které vymezují chemii – chemické pře-

měny popsané reakčními rychlostmi, jsou nevratné. Chemii nelze z tohoto důvodu zjednodušit v idealizaci obsaženou v klasické či kvantové mechanice, v níž má stejnou úlohu minulost i budoucnost.

Jak se dalo očekávat, při růstu entropie se objevují všechny možné nevratné děje. Každý z nich se na ni podílí součinem své rychlosti nebo toku J s odpovídající silou X . Celkový růst entropie za jednotku času, $P = d_u S/dt$, je pak součtem těchto přírůstků, z nichž každý je dán součinem JX .

Termodynamiku lze rozdělit do tří velkých oblastí, jejichž studium odpovídá třem po sobě následujícím stupňům jejího vývoje. Ve stavu „termodynamické“ rovnováhy jsou přírůstky entropie, toky a síly nulové. V oblasti „blízko rovnovážného stavu“, kdy jsou termodynamické síly „slabé“, jsou podílí J_k lineárními funkcemi sil. Třetí oblast je „nelineární“, neboť podílí jsou v ní obvykle složitějšími funkcemi sil. Všimněme si nejprve některých obecných vlastností lineární termodynamiky, které se používají pro popis oblasti „blízko rovnovážného stavu“.

Lineární termodynamika

V roce 1931 objevil Lars Onsager první obecné vztahy v nerovnovážné termodynamice pro lineární, „slabě nerovnovážnou“ oblast (tj. oblast „blízko rovnovážného stavu“). Jsou jimi známé „vztahy reciprocity“. Ty kvalitativně říkají, že jestliže síla „číslo jedna“ (odpovídající například gradientu teploty) může ovlivnit tok „číslo dvě“ (například difúzní děj), potom síla „číslo dvě“ (gradient koncentrace) vyvolá i tok „číslo jedna“ (tok tepla). Tyto poznatky byly skutečně ověřeny. V každém případě, kdy teplotní gradient vyvolává difúzi hmoty, zjistíme, že gradient koncentrace může vyvolat tok tepla systémem. Je nutno zdůraznit obecný charakter Onsagerových vztahů. Je například nepodstatné, zda k nevratnému ději dochází v plynu, kapalině či pevné látce. Reciproční výrazy platí nezávisle na jakýchkoliv mikroskopických předpokladech.

Reciproční vztahy byly prvními výsledky termodynamiky nevratných dějů, které naznačily, že nejde o žádnou nejasně vymezenou liduprázdnou krajinu, ale o problém hodný studia, jehož plodnost je svou hodnotou srovnatelná s plodností termodynamiky „rovnovážných stavů“. Termodynamika rovnovážných stavů (klasická termodynamika) byla úspěchem devatenáctého století, termodynamika nerovnovážných stavů byla vyvinuta v dvacátém století a Onsagerovy vztahy jsou rozhodujícím mezníkem při přesunu zájmu od rovnováhy k nerovnováze.

Pozornost si zaslouží druhý obecný výsledek v oblasti *lineární* „nerovnovážné“ termodynamiky. Již jsme hovořili o termodynamických potenciálech, jejichž extrémy* odpovídají rovnovážným stavům, k nimž termodynamický vývoj nevratně směřuje. V izolovaném systému jde o entropii S a v uzavřeném systému při dané teplotě o volnou energii F . Termodynamika „slabě nerovnovážných“ systémů zavádí též funkci potenciálu. Je velmi pozoruhodné, že tímto potenciálem je sám *růst entropie* P ** Teorém o minimu růstu entropie ve skutečnosti ukazuje, že v rozsahu platnosti Onsagerových vztahů, tedy v lineární oblasti, se systém vyvíjí směrem k stacionárnímu stavu (tj. s *minimem entropie*), který je slučitelný s omezeními systému. Tato omezení jsou určena hraničními podmínkami. Ty mohou například teplota a koncentrace, časově nezávislé. Také entropie systému je nyní nezávislá na čase. Její časová změna $dS = 0$ proto vymizí. Ale poznali jsme, že časová změna entropie se skládá ze dvou členů – toku entropie $d_v S$ a kladného přírůstku entropie $d_u S$. Tudíž z $dS = 0$ vyplývá, že $d_v S = -d_u S < 0$. Teplo nebo tok hmoty přicházející z okolí určuje záporný „tok“ entropie $d_v S$, který je ale v souvislosti s nevratnými ději probíhajícími uvnitř systému vyrovnáván „tokem“ entropie $d_u S$. Záporný „tok“ $d_v S$ znamená, že systém převádí entropii „vnějšimu světu“. Činnost soustavy ve stacionárním stavu proto vede k soustavnému zvyšování entropie jejího okolí. Tato skutečnost platí pro všechny stacionární stavy. Ale teorém o minimu entropie říká ještě více. Stacionární stav, ke kterému systém směřuje, je ten, v němž je převod entropie okolí tak malý, jak je slučitelné s příslušnými hraničními podmínkami. Rovnovážný stav v těchto souvislostech odpovídá zvláštnímu případu, který nastává, jestliže hraniční podmínky neumožní růst entropie. Jinými slovy, teorém o minimu růstu entropie popisuje druh „setrvačnosti“. Pokud hraniční podmínky systému brání „dosáhnout“ rovnováhy, systém „čini“ to nejlepší, co může – dojde do stavu s minimem růstu entropie, tedy do stavu, který je „co nejbližší“ rovnovážnému stavu.

* tj. maxima nebo minima (pozn. překl.)

** $P = \frac{dS}{dt}$. O růstu a změně entropie se hovoří jako o *produkci entropie*. (pozn. překl.)

Lineární termodynamika tedy popisuje stálé, předvídatelné chování systémů směřujících k úrovni minimální činnosti systému, slučitelné s toky zásobujícími systém. Skutečnost, že lineární termodynamiku lze podobně jako termodynamiku „rovnovážných stavů“ popsat pojmy, jako jsou potenciál, entropie, znamená, že jak v případě vývoje směrem k rovnováze, tak při vývoji směrem k stacionárnímu stavu jsou počáteční podmínky zapomenuty. Bez ohledu na počáteční podmínky systém dosáhne stavu určeného hraničními podmínkami. V důsledku toho je reakce systému na každou změnu jeho hraničních podmínek zcela předvídatelná.

Vidíme, že stav v lineární oblasti zůstává v podstatě stejný jako při rovnováze. Ačkoli změna entropie nevymizí, nezabrání nevratné změně ztotožnit se s vývojem směrem ke stavu zcela odvoditelnému z obecných zákonů. Tato „změna“ vede nevyhnutelně k vymizení jakékoliv rozdílnosti. Carnot, nebo Darwin? Paradox zmíněný v kapitole 4 přetrvává. Mezi výskytem přírodních uspořádaných forem na straně jedné a sklonem k „zapominání“ počátečních podmínek a výsledným rozkladem na straně druhé není stále žádná souvislost.

Daleko od rovnováhy

V počátcích „nelineární“ termodynamiky je obsaženo něco zcela překvapujícího, něco, co se zpočátku jevílo jako nezdár: přes velké úsilí se zobecnění teorému o minimu změny entropie v systémech, kde již toky nejsou lineárními funkcemi sil, zdálo nemožné. Systém se i v „silně“ nerovnovážném stavu může stále vyvíjet směrem k nějakému stálému stavu, ale ten již nelze obecně popsat nějakým vhodně vybraným potenciálem (jako změna entropie v případě „slabě“ nerovnovážných stavů).

Nepřítomnost jakékoliv potenciální funkce vyvolává novou otázku: co lze říci o stálosti stavů, ke kterým se systém vyvíjí? Skutečně, pokud je stav atraktoru definován minimem potenciálu, jako je například změna entropie, je stálost zaručena. Je pravda, že fluktuace může systém od tohoto minima posunout pryč. Avšak druhá termodynamická věta „předepisuje“ návrat k atraktoru. Systém je tedy vůči fluktuacím „odolný“. Tedy kdykoliv definujeme potenciál, popisujeme „*stálý svět*“, ve kterém se systém vyvíjí způsobem vedoucím k statickému stavu, který je určen jednou provždy.

Dosáhnou-li termodynamické síly působící na systém takové hodnoty, že dojde k překročení lineární oblasti, nelze už stabilitu stacionár-

ního stavu nebo nezávislost na fluktuacích pokládat za samozřejmou. Stabilita již není důsledkem obecných fyzikálních zákonů. Způsob, jakým stacionární stav odpovídá na fluktuace vyvolané systémem nebo jeho okolím, musíme prověřit. Rozbor vede v některých případech k závěru, že stav je „nestabilní“. V takovém stavu může dojít k tomu, že určité fluktuace jsou místo potlačení zesíleny a mohou zachvátit celý systém a přinutit ho k změně směrem k zcela novému chování. To se může kvalitativně naprosto lišit od stacionárních stavů odpovídajících minimu změny entropie.

Termodynamika míří k výchozímu obecnému závěru týkajícímu se systémů náchylných k „úniku“ ze stavů odpovídajících rovnováze. Tyto systémy musí být „silně nerovnovážné“. Ve stavech, ve kterých je možná nestálost (nestabilita), musíme určit „práh“, „vzdálenost“ od rovnováhy, ve které mohou fluktuace vést k novému chování, rozdílnému od „normálního“ stabilního chování charakteristického pro rovnovážné nebo „slabě“ nerovnovážné systémy.

Proč je tento závěr tak zajímavý?

Jevy tohoto druhu jsou dobře známy v hydrodynamice a proudění tekutin. Dlouho je již například známo, že pokud je jednou dosaženo jistého průtočného množství, může v tekutině vzniknout turbulence. Michel Serres nedávno připomenul⁴, že první atomisté byli turbulentním prouděním tak zaujati, že se zdálo zákonitě uvažovat o turbulenci jako o hlavním zdroji inspirace fyziky z doby Lucretiovy. Někdy, psal Lucretius, v neurčitých okamžicích a místech, je věčný, všeobecný pád atomů rušen „clinamenem“.* Výsledné vřové útvary vytvářejí svět a všechny přirozené věci. Clinamen, tato samovolně nepředpověditelná odchylka, byla často kritizována jako jedna z hlavních slabín lucretiovské fyziky, jako něco zavedeného *ad hoc*. Ve skutečnosti je pravdou opak – clinamen se pokouší vysvětlit takové jevy, jako je laminární proudění, které při dosažení určité rychlosti proudu přestává být stabilní a samovolně přechází v proudění turbulentní. Dnešní odborníci na hydrodynamiku zkoušejí stabilitu proudění tekutiny zaváděním poruchy modelující účinek molekulárního „zmatku“ přidaného ke „střednímu proudění“. Od Lucretiova clinamenu nejsme tak daleko!

Po dlouhou dobu byla turbulence ztotožňována s nepořádkem a hlu-

* V Epikurově pojetí atomismu se předpokládá, že pohyb atomů se sice děje podle nutnosti, ale atomy se navíc *mohou od této nutnosti „samovolně“ odchýlit*. Tato odchylka-clinamen (parenklisis) je podle Epikura *projevem svobodné vůle atomů*. Tím je odstraněna „absolutnost“ tohoto determinismu. (pozn. překl.)

kem. Dnes víme, že tomu tak není. Zatímco v makroskopickém měřítku se turbulentní pohyb jeví jako nepravidelný nebo chaotický, v mikroskopickém měřítku je tomu právě naopak, je vysoce organizován. Četná prostorová a časová měřítka obsažená v turbulenci odpovídají logicky promyšlenému chování milionů a milionů molekul. Při pohledu z této strany je přechod laminárního proudění do turbulentního jevem samouspořádávání. Část energie systému, která v případě laminárního proudění byla obsažena v tepelném pohybu molekul, je převáděna v makroskopicky uspořádaný pohyb.

„Bénardova nestabilita“ je jiným překvapujícím příkladem nestability stacionárního stavu, který vyvolává samovolně samouspořádávání. Nestabilita je vyvolána teplotním gradientem, který ve svislém směru vzniká ve vodorovné vrstvě tekutiny. Spodní „povrch“ této vrstvy je ohřát na danou teplotu, která je vyšší než teplota horní vrstvy. Výsledkem těchto mezních podmínek je vznik stálého toku tepla směřujícího zespoda vzhůru. Dosáhne-li takto vzniklý gradient teploty určité hodnoty, stává se „klidový“ stav tekutiny, stacionární stav, ve kterém vedení tepla probíhá jen kondukcí (bez konvekce)*, nestálým. Vzniká konvekce odpovídající souvislému pohybu souborů molekul, a tak se zvyšuje množství předávaného tepla. Pro dané hodnoty teplotního gradientu tudíž roste entropie systému. To je v rozporu s teorémem o minimu nárůstu entropie. Bénardova nestabilita je efektní jev. Vytvořený konvekční „pohyb“ ve skutečnosti spočívá ve složitém prostorovém uspořádání systému. Miliony molekul se souvisle pohybují a vytvářejí šestihrannou konvekční buňku charakteristické velikosti.

V kapitole 4 jsme zavedli Boltzmannův princip řádu spojující entropii se stupněm uspořádanosti P . Lze ho užít i nyní? Každému rozdělení rychlostí molekul odpovídá stupeň uspořádanosti. Stupeň uspořádanosti vyjadřuje počet způsobů, jakými lze provést rozdělení rychlostí, přisoudíme-li každé molekule nějakou rychlost. Smysl je stejný jako v kapitole 4, kde jsme stupeň uspořádanosti vyjádřili ukládáním molekul do dvou přihrádek. I nyní je stupeň uspořádanosti v případě nepořádku (tím máme na mysli velký rozptyl rychlosti) vysoký. Uspořádaný pohyb naopak znamená, že mnoho molekul se pohybuje skoro stejnou rychlostí (a jde tedy o malý rozptyl hodnot rychlosti). Takovému roz-

* Šíření tepla kondukcí (vedením) – samovolný přechod tepla z teplejších míst na studenější. Šíření konvekci (prouděním) – teplo se přenáší proudem částic hmoty, např. voda v kotli zahříváném zespoda stoupá vzhůru k hladině a tím dochází k šíření tepla. (pozn. překl.)

dělení odpovídá tak nízký stupeň uspořádanosti P , že se zdá, že k samovolnému uspořádání skoro nemůže dojít. Ale přesto nastává! Vidíme tedy, že výpočet stupně uspořádanosti, který vyžaduje hypotézu o rovnosti apriorní pravděpodobnosti* pro každý stav molekuly, je zavádějící. Jeho nesprávnost je zvláště zřejmá, alespoň co se historie vzniku „nového chování“ týče. V případě Bénardovy nestability je to fluktuace, nepatrný (mikroskopický) konvekční proud, který by byl užitím Boltzmannova principu řádu „přinucen“ k návratu, k zpětnému pohybu, ale který se naopak zesiluje, až ovlivní celý systém. Za kritickou hodnotou příslušného gradientu se tak samovolně vytvořilo nové uspořádání molekul odpovídající obrovským fluktuacím, které jsou stabilizovány výměnou energie s vnějším světem.

Za „silně“ nerovnovážných podmínek tak již představa pravděpodobnosti, která je základem Boltzmannova principu řádu, neplatí, neboť struktury, které pozorujeme, neodpovídají maximu stupně uspořádanosti. Nelze je ani přiřadit minimu volné energie $F = E - TS$. Sklon k vyrovnávání a zapominání počátečních podmínek již není obecnou vlastností. Odvěký problém počátku života se v této souvislosti objevuje z jiného hlediska. Je samozřejmě pravda, že život není slučitelný s Boltzmannovým principem řádu, ale v případě chování, k němuž v „silně“ nerovnovážných podmínkách dochází, tak tomu již není.

Klasická termodynamika zavádí představu „rovnovážných struktur“, například krystalů. Bénardovy buňky jsou také strukturami, ale zcela odlišné povahy. To je důvod, proč jsme zavedli představu „disipativních struktur“. Chtěli jsme tak v těchto stavech zdůraznit těsné, zpočátku paradoxní spojení struktury a řádu na jedné straně a disipaci a odpadu na straně druhé. V kapitole 4 jsme se dozvěděli, že přenos tepla byl v klasické termodynamice považován za zdroj ztrát. V Bénardově buňce se stává zdrojem řádu.

Spolupůsobení systému s vnějším světem, jeho „zasazení“ do „nerovnovážných“ podmínek se tak může stát počátkem utváření nových dynamických stavů hmoty – disipativních struktur. Disipativní struktury vlastně odpovídají „nadmolekulárnímu“ uspořádání. Ačkoliv lze charakteristiky popisující krystalické struktury odvodit z vlastností molekul, které je vytvářejí, a zvláště z rozsahu jejich vazebních sil (přitažlivých a odpuzujících), jsou Bénardovy buňky, podobně jako všechny disipativní struktury, v podstatě odrazem celkového nerovnovážné-

* Tedy „předem dané“ pravděpodobnosti „založené“ na vlastnostech každé přihrádky (stavu). (pozn. překl.)

ho stavu, ve kterém se vytvářejí. Charakteristiky, které je popisují, jsou makroskopické. Nejsou tedy řádu 10^{-10} m (jako jsou vzdálenosti mezi molekulami krystalu), ale řádu centimetrů. Podobně odlišné jsou i časové údaje, které neodpovídají „molekulárním“ dobám (jakými jsou periody kmitů jednotlivých molekul, které jsou řádu 10^{-15} s), ale makroskopickým hodnotám: sekundám, minutám nebo hodinám.

Vraťme se k případu chemické reakce. Existují některé základní odlišnosti od Bénardova problému. V Bénardově buňce má nestabilita jednoduchý mechanický původ. Ohříváme-li vrstvu tekutiny zespodu, dolní část tekutiny se stává řídkší a poloha těžiště stoupá. Proto nepřekvapuje, že za kritickou mezi se systém „překlopí“ a vznikne konvekce.

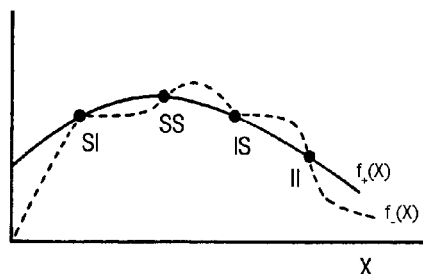
Ale v chemických systémech mechanické vlastnosti tohoto druhu neexistují. Můžeme očekávat nějaké samouspořádávání? Naše intuitivní, duševní představa chemické reakce odpovídá představě molekul pohybujících se prostorem a náhodně, chaoticky do sebe narážejících. V této představě již není místo pro samouspořádávání a to může být jeden z důvodů, proč se chemické nestability staly předmětem zájmu teprve nedávno. Existuje také jiná odlišnost. *Všechna* proudění se stanou turbulentními v „dostatečně“ velké „vzdálenosti“ od rovnováhy („vzdálenost“ je měřena bezrozměrovým, tzv. Reynoldsovým číslem). To však v případě chemických reakcí neplatí. „Být daleko od rovnováhy“ je nutný, ale nikoliv postačující požadavek. V mnoha chemických systémech, nezávisle na omezujících podmínkách a vyvolané rychlosti chemické změny, *zůstává stacionární stav stabilní* a libovolné fluktuace jsou tlumeny jako v systému ve stavu „blízkém“ rovnovážnému stavu. To se ukazuje správným hlavně v systémech, ve kterých dochází k řetězové přeměně typu $A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow D \dots$ a jež lze popsat *lineárními* diferenciálními rovnicemi.

Osud fluktuací narušujících chemický systém, stejně jako typy nových stavů, ve které se mohou vyvinout, tak závisí na podrobném mechanismu chemické reakce. V protikladu k stavům „blízkým“ rovnováze je chování stavů „rovnováze silně vzdálených“ velmi zvláštní. Zde již neexistuje žádný obecně platný zákon, z kterého by bylo možno celkové chování systému odvodit. Každý systém je samostatný případ. Každou skupinu chemických reakcí je nutno prozkoumat a každá skupina může vykazat kvalitativně odlišné chování.

Přesto byl získán jeden obecný výsledek, totiž nutná podmínka chemické nestability. V řetězci chemických reakcí, které probíhají v systému, jsou *jedinými reakčními stupni*, kdy za jistých podmínek a okolností může dojít k ohrožení stability stacionárního stavu, přesně

„katalytické smyčky“, tedy období, během nichž je látka vznikající chemickou reakcí zpětně zapojena do své vlastní syntézy.

To je zajímavý závěr, který nás blíže přivádí k některým zásadním úspěchům moderní molekulární biologie (viz obr. 4).



Obr. 4 Katalytické smyčky odpovídají nelineárním členům. V případě problému s jednou nezávislou proměnnou to znamená výskyt alespoň jednoho členu, ve kterém je nezávisle proměnná obsažena ve vyšší než první mocnině. V tomto jednoduchém případě je zřejmý vztah nelineárních členů a možné nestability stacionárních stavů.

Zvolme pro nezávisle proměnnou X časový průběh $dx/dt = f(X)$. Vždy lze $f(X)$ rozložit do dvou členů, funkcí odpovídajících zisku $f_1(X)$ a ztrátám $f_2(X)$, přičemž každá je kladná nebo rovna nule, takže $f(X) = f_1(X) - f_2(X)$. Stacionární stavy ($dx/dt = 0$) odpovídají hodnotám, kdy $f_1(X) = f_2(X)$.

Tyto stavy jsou graficky znázorněny průsečíky křivek f_1 a f_2 . Jsou-li tyto křivky přímkami, mají jen jeden průsečík. V ostatních případech nám typy průsečíků umožňují učinit závěry o stabilitě stacionárního stavu.

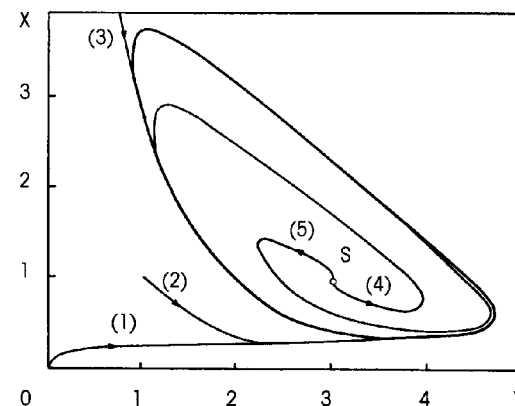
Možné jsou čtyři stavy:

- SI – stabilita vzhledem k „záporným“ fluktuacím, nestabilita vzhledem ke kladným. Pokud se systém slabě vychyluje nalevo od SI, bude kladný rozdíl f_1 a f_2 tuto výchylku zmenšovat zpátky směrem k SI. Výchylky napravo se budou zesilovat.
- SS – stabilita vzhledem ke kladným a záporným fluktuacím.
- IS – stabilita jen vzhledem ke kladným fluktuacím.
- II – nestabilita vzhledem ke kladným a záporným fluktuacím.

Za prahem chemické nestability

Výzkum chemických nestabilit je dnes běžný. Teoretický i experimentální výzkum je soustavně prováděn v mnoha ústavech a laboratořích. Zájem o tyto výzkumy projevuje široký okruh vědců, a to nejen matematikové, fyzikové, chemici a biologové, ale i ekonomové a sociologové.

Při „silně“ nerovnovážných podmínkách se za „prahem“ chemické nestability objevují různé nové jevy. Pro jejich popis je užitečné vycházet ze zjednodušeného teoretického modelu, jednoho z těch, které byly vyvinuty v minulém desetiletí* v Bruselu. Američtí vědci nazvali tento model „Bruselátor“ a používá se i ve vědecké literatuře (při tvorbě názvů se zdá, že pravidlem se staly zeměpisné souvislosti, kromě „Bruselátoru“, existuje „Oregonátor“ a nedávno i „Paloaltonátor“!). Popíšme krátce „Bruselátor“. Příčiny vyvolávající nestabilitu jsme již uvedli (viz obr. 3). Látka X , která vznikla syntézou z A a „křížově probíhající“ katalýzou je přeměněna v látku E , je spojena s tvorbou Y . Látka X vzniká z Y při trimolekulární reakci, ale Y je naopak syntetizována při reakci X a B .



Obr. 5 Schéma představuje závislost koncentrace složky X na koncentraci složky Y . Ohnisko cyklu (bod S) odpovídá stacionárnímu stavu, který je pro $B > (1 + A^2)$ nestabilní. Všechny trajektorie (pět z nich je vyneseno do grafu) vedou, nezávisle na počátečním stavu, ke stejnému cyklu.

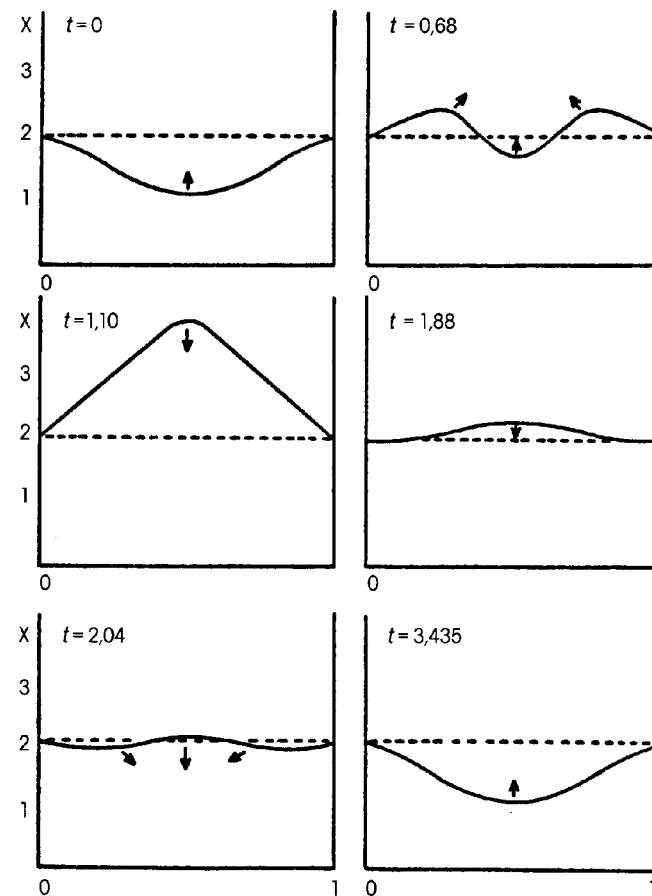
* Anglický originál vyšel v roce 1984. (pozn. překl.)

Koncentrace látek A , B , D a E jsou ve zmíněném modelu danými parametry („řidícími látkami“). Chování systému je vyšetřováno pro rostoucí hodnoty B při stále hodnotě A . Stacionární stav, do kterého se systém snad bude vyvíjet, stav popsáný $dX/dt = dY/dt = 0$, odpovídá koncentracím $X_0 = A$ a $Y_0 = B/A$. Tuto skutečnost lze snadno ověřit kinetickými rovnicemi a nalezením stacionárního stavu. Avšak stacionární stav přestává být stabilní, jakmile koncentrace B překročí kritickou mez (vše ostatní zůstává stejné). Po dosažení kritické meze se stacionární stav stává nestabilním „ohniskem“ a systém toto ohnisko opouští, aby dosáhl „mezního cyklu“.

Místo aby zůstaly neměnnými, začnou se koncentrace látek X a Y měnit se stálou frekvencí. Perioda změny závisí jak na kinetických konstantách určených reakčními rychlostmi, tak na mezních podmínkách popisujících systém jako celek (teplota, koncentrace A , B atd.).

Za kritickou mezí systém samovolně opouští stacionární stav $X_0 = A$, $Y_0 = B/A$, což je důsledek fluktuací. Systém se bez ohledu na počáteční podmínky přibližuje k „meznímu cyklu“, jehož periodičita je stabilní. Jde tedy o periodický chemický děj, který nazveme „chemickými hodinami“. Zastavme se na chvíli, abychom zdůraznili, o jak nečekaný jev jde. Předpokládejme, že máme dva druhy molekul, „červené“ a „modré“. Vzhledem k chaotickému, neuspořádanému pohybu molekul bychom očekávali, že v daném okamžiku se bude více červených molekul nacházet například v levé části nádoby. O chvíli později se pak objeví více modrých molekul, a tak dále. Nádoba se nám bude zdát „fialová“, s nahodilými nepravidelnými záblesky červené nebo modré. Avšak to *není* to, co se děje s chemickými hodinami, kdy je systém celý modrý, poté svou barvu náhle změní na červenou, potom zase na modrou. Vzhledem k tomu, že ke všem těmto změnám dochází v *pravidelných* časových úsecích, jde o souvislý (koherentní) děj.

Takový stupeň uspořádání, který vyplývá z činnosti nesmírného množství molekul, se zdá neuvěřitelný – a vskutku, pokud by nebyly objeveny chemické hodiny, nikdo by v možnost takového děje nevěřil. Molekuly musí mít k náhlé změně barvy možnost „dorozumívání“. Systém se musí chovat jako celek. Ke klíčovému slovu „dorozumívání“, které má očividný význam a důležitost v mnoha oblastech, od chemie až po neurofyziologii, se budeme opakovaně vracet. Disipativní struktury pravděpodobně zavádějí jeden z nejjednodušších fyzikálních mechanismů dorozumívání.

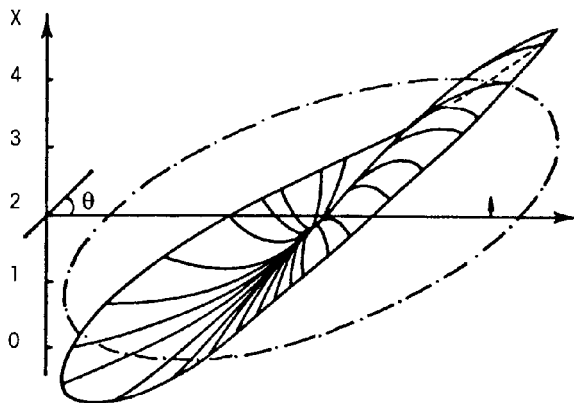


Obr. 6 Simulace chemických vln počítačem: postupné kroky vývoje prostorového rozložení koncentrace X v trimolekulárním modelu „Bruselátoru“. V čase $t = 3,435$ objevujeme stejné rozdělení jako na počátku, v čase $t = 0$. Koncentrace A a B : $2; 5,45$ ($B > (1 + A^2)$). Difúzní koeficienty pro A ; B jsou $8 \cdot 10^{-3}$; $4 \cdot 10^{-3}$.

Mezi nejjednodušším mechanickým oscilátorem - pružinou a chemickými hodinami je zajímavý rozdíl. Chemické hodiny mají přesně určenou frekvenci odpovídající meznímu cyklu a jeho trajektoriím. Naopak frekvence pružiny je závislá na rozkmitu. Z tohoto hlediska jsou chemické hodiny značně spolehlivějším časoměřičem než pružina.

Chemické hodiny však nejsou jediným způsobem samouspořádávání. Dosud byla zanedbávána difúze. O všech látkách jsme předpokládali, že jsou v reakčním prostoru stejnoměrně rozděleny. To je idealizace, neboť malé fluktuace vedou vždy k rozdílům koncentrací a tím i k difúzi. Do rovnic popisujících chemické reakce proto musíme přidat difúzi. Tyto difúzní reakční rovnice popisující Bruselátor ukazují překvapivé množství možností chování systému. Opravdu, zatímco v rovnováze a „blízko rovnováhy“ zůstává systém prostorově homogenní, difúze chemikálie v systému vyvolává „silně nerovnovážné oblasti“ a možnost vzniku nových typů nestabilit, včetně zesilování fluktuací, které rozrušují vnitřní prostorovou souměrnost. Oscilace v čase, chemické hodiny, tedy zřejmě přestávají být jediným typem disipativní struktury, která je systému dostupná. Nikoliv. Například se může ukázat, že oscilace jsou časově i prostorově závislé. Odpovídají vlnám chemických koncentrací X a Y , které periodicky procházejí systémem.

Navíc, zvláště tehdy, kdy hodnoty difúzních konstant X a Y jsou na-



Obr. 7. Stacionární stav s osou se zvláštními vlastnostmi získaný počítačovou simulací. Koncentrace látky X je funkcí geometrických souřadnic ρ, θ ve vodorovné rovině. Poloha poruchy působící na homogenní nestabilní řešení (X_0, Y_0) je označena šipkou.

vzájem zcela odlišně, může systém vykazovat stacionární, časově nezávislé chování a mohou se objevit stabilní prostorové struktury.

A zde se musíme opět zastavit, tentokrát abychom zdůraznili, jak samovolné vytváření prostorových struktur značně odporuje zákonům „rovnovážné“ fyziky a Boltzmannovu principu řádu. Stupeň uspořádanosti těchto struktur by byl ve srovnání s rovnoměrným rozdělením opět neobyčejně malý. Nerovnovážné děje tak mohou vést k stavům, které se z hlediska klasického přístupu k problému zdají nemožnými.

Počet různých disipativních struktur slučitelných s danými hraničními podmínkami lze ještě dále zvýšit, pokud budeme problém místo v jednorozměrném prostoru řešit v prostoru dvoj- či třírozměrném. Například v kruhovém, tedy dvojrozměrném prostoru může být například prostorově strukturovaný stacionární stav znázorněn osou se zvláštními vlastnostmi.

To odpovídá novému, zvláště zajímavému pochodu, narušení souměrnosti, zvláště tehdy, připomeneme-li si, že jedním z prvních stadií morfogeneze embrya je vytváření gradientu v systému. K těmto problémům se později vrátíme v této kapitole i v kapitole 6.

Až doposud se předpokládalo, že „řídící sloučeniny“ (A, B, D a E) jsou rovnoměrně rozptýleny v reakčním systému. Pokud toto zjednodušení opustíme, mohou nastat další jevy. Systém například nabude „přirozenou velikost“ na parametrech, které ji popisují. Systém tak určuje svou vlastní vnitřní velikost, tedy určuje oblast, která je prostorově strukturovaná, nebo jí napříč probíhají periodické vlny koncentrace.

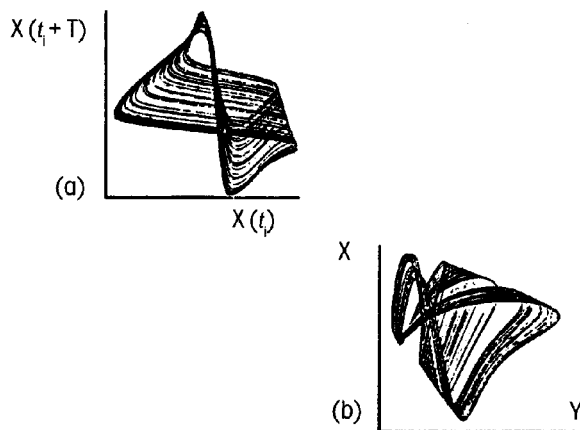
Tyto poznatky poskytují stále jen velmi neúplný obraz rozmanitosti jevů, které v oblasti „daleko od rovnováhy“ mohou nastat. Nejprve se zmiňme o možnosti existence více stavů v „silně“ nerovnovážných oblastech. Pro dané hraniční podmínky se může objevit více než jen jeden stacionární stav, například jeden stav „bohatý“ na obsah látky X , druhý „chudý“. Přechod od jednoho stavu ke druhému je významný pro řídicí mechanismy, které byly popsány u biologických systémů.

Charakteristické body, jakými jsou ohniska nebo křivky, jako je mezni cyklus, jsou již od klasických prací Ljapunova a Poincarého matematikům známy jako „atraktory“ stabilních systémů. Nové je jejich využití pro chemické systémy. První článek věnovaný nestabilitám v reakčně-difúzním systému byl zveřejněn Turingem v roce 1952. V poslední době byly poznány nové typy atraktorů. Objevují se jen tehdy, pokud vzrůstá počet nezávislých proměnných (v Bruselátoru jsou pouze dvě nezávislé proměnné X a Y). Tak můžeme dospět k tzv. „podivným atraktorům“, které neodpovídají periodickému chování.

Obrázek č. 8, ve kterém jsou shrnuty některé výpočty Hao Bai-lina, umožňuje, abychom si představili velmi složité křivky atraktoru vypočítaného pro model zobecňující Bruselátor vnějším periodickým přidáváním složky X . Pozoruhodné je, že nejvíc z těchto možností, které jsme popsali, bylo pozorováno v anorganické chemii a v mnoha biologických stavech.

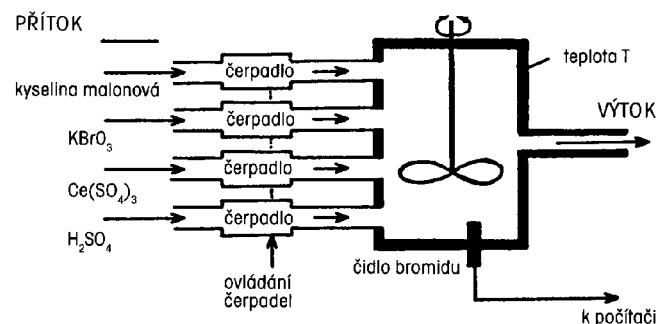
Nejznámějším příkladem v anorganické chemii je Bělousova-Žabotinského reakce objevená na počátku 60. let. Odpovídající reakční schéma, Oregonátor, zavedené Noyesem a jeho spolupracovníky, se v podstatě podobá Bruselátoru, ale je složitější. Bělousova-Žabotinského reakce se skládá z oxidace organické kyseliny (kyselina malonová) bromičnanem draselným za přítomnosti vhodného katalyzátoru (cer, mangan nebo železo).

Uvnitř stejného systému lze vyvolat různé experimentální podmínky. Při nich v tomto systému vznikají rozdílné formy samouspořádání – chemické hodiny, stálé prostorové rozlišování nebo uspořádání vln chemické činnosti na makroskopické vzdálenosti².



Obr. 8 (a) Koncentrace iontů bromu v Bělousově-Žabotinského reakci v časech t , a $t+T$ (viz R. H. Simoyi, A. Wolf a H. L. Swinney: *Physics Review Letters*, sv. 49 (1982), s. 245; J. Hirsch, „Condensed Matter Physics,“ and on computers, *Physics Today* (květen 1983), s. 44–52).

(b) Křivky atraktoru vypočítané Hao Bai-linem pro Bruselátor s vnější periodickou dodávkou složky X (osobní sdělení).



Obr. 9 Schéma chemického reaktoru použitého ke studiu oscilací v Bělousově-Žabotinského reakci (k zajištění homogenity systému je do reaktoru vloženo míchadlo). Reakce má přes třicet produktů a meziproductů. Vývoj odlišných průběhů reakcí závisí mj. na vstupech ovládaných čerpadly.

Věnujme se teď jinému důležitému problému: Jaký význam mají tyto výsledky pro pochopení živých systémů?

Střet s molekulární biologii

V této kapitole jsme již ukázali, že v „silně“ nerovnovážných podmínkách mohou vzniknout různé děje samouspořádání. Ty mohou vést ke vzniku chemických oscilací nebo prostorových struktur. Viděli jsme, že základní podmínkou výskytu těchto jevů je existence katalytických jevů.

Jednou z vlastností „nelineárních“ reakcí je zpětná vazba (přítomnost reakčního produktu) mající zpětný vliv na jejich „příčinu“. Tyto reakce jsou v anorganickém světě poměrně řídké, ale v molekulární biologii bylo zjištěno, že pro živé systémy bývají pravidlem. Autokatalýza (přítomnost látky X urychluje svou vlastní syntézu), autoinhibice (přítomnost látky X blokuje svou vlastní syntézu) a katalýza s „křížově probíhající“ katalýzou (látky vznikající dvěma rozdílnými reakcemi řetězci navzájem vyvolávají svou syntézu) určují klasický regulační mechanismus zajišťující koherenci metabolické funkce.

Podtrhněme zajímavý rozdíl. V příkladech známých z anorganické chemie jsou molekuly jednoduché a reakční mechanismy složité – v Bělousově-Žabotinského reakci bylo rozpoznáno kolem třiceti sloučenin. Naopak v mnoha našich biologických příkladech je reakc-

ni schéma jednoduché, ale molekuly (proteiny, nukleové kyseliny atd.) jsou velmi složité a zvláštní. A to může být jen stěží náhoda. Sřetáváme se s počátkem odlišnosti fyziky a biologie. Biologické systémy *mají minulost*. Molekuly, které je vytvářejí, jsou výsledkem vývoje. Byly vybrány k vytváření velmi zvláštních forem uspořádání v autokatalytických pochodech, na kterých se podílejí.

Popis řetězce metabolických aktivací a zábran (inhibicí) je nezbytným krokem k pochopení funkční logiky biologických systémů, včetně spouštění syntéz ve chvílích, kdy je jich třeba k brzdění těch chemických reakcí, jejichž nepoužité produkty by se hromadily v buňkách.

Základním mechanismem, kterým molekulární biologie vysvětluje přenos a využití genetické informace, je sama zpětnovazební smyčka, tedy „nelineární“ mechanismus. Kyselina deoxyribonukleová (DNA), obsahující sled všech informací potřebných k syntéze různých struktur základních bílkovin (proteinů), které jsou nezbytné pro stavbu a činnost buňky, se účastní řady dějů, při kterých je tato informace *přepisována (transkribována)* do tvaru různých bílkovinných struktur. Mezi syntetizovanými proteiny se projevuje zpětnovazební účinek některých enzymů, který vyvolává řízení nejen různých stupňů tohoto přepisu (transkripce), ale i autokatalytický mechanismus reprodukce DNA, při níž se genetická informace kopíruje stejnou rychlostí, jakou se buňky rozmnožují.

Setkáváme se zde s pozoruhodným sblížením dvou vědních oblastí. Pochopení problému vyžadovalo další pokroky fyziky a biologie, jeden směrem ke složitosti, druhý směrem k jednoduchosti.

Z pohledu fyziky nyní skutečně zkoumáme „složité“ stavy, stavy nacházející se „daleko“ od stavů „idealizovaných“, které lze popsat pojmy rovnovážné termodynamiky. Molekulární biologie naopak uspěla při spojování živých struktur s poměrně malým počtem základních biomolekul. Při výzkumu odlišnosti chemických mechanismů byla objevena složitost metabolických řetězců, jemná a složitá logika řízení, inhibice a aktivace katalytické funkce enzymů svázané s kritickým krokem každého metabolického řetězce. Tak molekulární biologie poskytuje mikroskopický „základ“ nestabilitám, které mohou vznikat za „silně“ nerovnovážných podmínek.

Živé systémy se v jistém smyslu jeví jako dobře organizovaná továrna. Na jedné straně jsou místem mnohonásobných chemických přeměn, na druhé straně vykazují pozoruhodné „prostorčasové“ uspořádání s výsokou nerovnoměrným rozdělením biochemického materiálu. A nyní můžeme spojit činnost a strukturu. Zamysleme se krátce nad dvěma příklady, na něž byla zaměřena zvýšená pozornost v posledních letech.

Nejprve se věnujme glykolýze, řetězci metabolických reakcí, při nichž dochází k štěpení glukózy a tvorbě energeticky bohaté látky ATP (adenosintrifosfát), která je pro všechny živé buňky hlavním zdrojem energie. Při rozkladu každé molekuly glukózy se dvě molekuly ADP (adenosindifosfát) přemění ve dvě molekuly ATP. Glykolýza poskytuje pěkný příklad doplňkového analytického přístupu biologie a výzkumu stability za „silně“ nerovnovážných podmínek.⁶

Biochemické pokusy odhalily existenci přechodného kolísání koncentrace meziproductů glykolýzy, „glykolytického cyklu“.⁷ Bylo ukázáno, že tyto fluktuace určuje klíčový krok ve sledu reakcí, krok aktivovaný ADP a brzděný ATP. Jde o typický nelineární jev, který je vhodný pro regulaci metabolických funkcí. Ve skutečnosti vždy, když buňka čerpá se svých zásob energie, využívá fosfátových vazeb a ATP se přeměňuje v ADP. Hromadění ADP uvnitř buňky tedy znamená velkou spotřebu energie a potřebu doplnit zásoby. Naopak hromadění ATP znamená, že glukóza může být štěpena pomaleji.

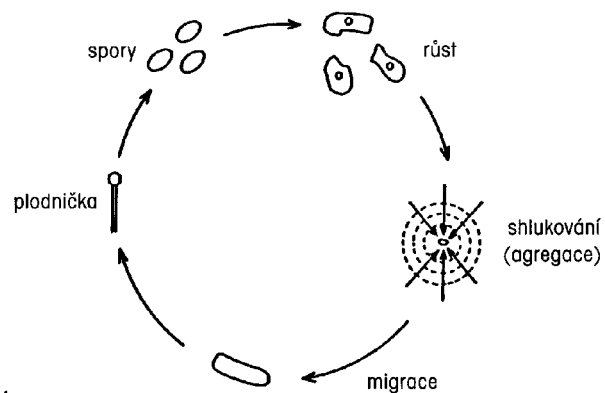
Teoretický výzkum tohoto děje ukázal, že tento mechanismus vyvolává kmity, chemické hodiny. Teoreticky vypočtené hodnoty chemických koncentrací nutných k vytvoření kmitů a jejich periody souhlasí s experimentálně zjištěnými hodnotami glykolytických oscilací. Glykolytické oscilace udržují a řídí všechny energetické děje v buňkách, které závisí na koncentraci ATP, a tak i nepřímo na četných jiných metabolických řetězcích.

Dále se ukazuje, že při glykolýze probíhají reakce řízené některým z významných enzymů za „silně“ nerovnovážných podmínek. Podobné výpočty zveřejnil Benno Hess⁸ a od té doby byly rozšířeny i na další systémy. Glykolytický cyklus odpovídá za obvyklých podmínek chemickým hodinám, ale změna podmínek může vyvolat vznik prostorových uspořádání, forem, které jsou v naprosté shodě s předpověďmi teoretických modelů.

Živý systém se z termodynamického hlediska jeví jako velmi složitý. Některé reakce jsou blízké rovnováze, jiné nikoliv. Vše v živém systému však není „živé“. Tok jím proudící energie se podobá toku řeky, který je většinou klidný, ale čas od času se změní ve vodopád, který uvolňuje část jeho energie.

Zamysleme se nad jiným biologickým jevem, který byl též zkoumán z hlediska stability, kolonie hlenek (*Dictyostelium discoideum*)*. Tento děj^{9A} je zajímavým případem na rozhraní mezi jednobuněčnou a vícebuněčnou biologii.

* druh nižší houby (pozn. překl.)



Obr. A

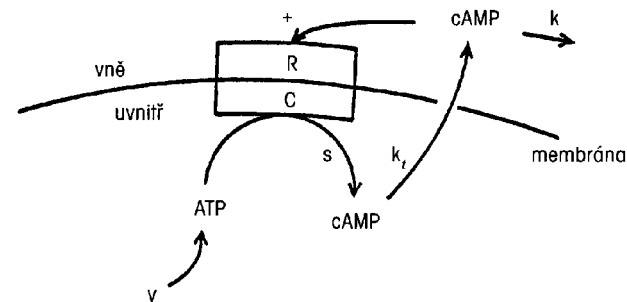
Uskupení (kolonie) hlenek poskytuje zvlášť pozoruhodný příklad samospořádkování v biologickém systému, ve kterém hlavní roli mají chemické hodiny – viz obr. A.

Při „klíčení“ ze spor hlenky rostou a rozmnožují se jako jednobuněčné organismy. Tento stav trvá tak dlouho, dokud potrava, poskytovaná hlavně bakteriemi, nezačne docházet. Hlenky se pak přestanou rozmnožovat a nastane mezifáze trvající asi osm hodin. Na jejím konci se hlenky shlukují kolem buněk, které se chovají jako centra tohoto shlukování. Shlukování je odezvou na chemotaktické signály vysílané z center. Vytvořený shluk pak migruje až do okamžiku, kdy jsou splněny podmínky k vytvoření sporulačního „orgánu“.

Shluk buněk se tak diferencuje do tvaru stébla tyčícího se nad masou sporulujících buněk. Shlukování u hlenek *Dictyostelium discoideum* probíhá periodicky. Z rozboru nafilmovaného shlukování vyplývá existence soustředných vln hlenek směřujících k centru s několikaminutovou periodou. Chemotaktická podstata tohoto děje je známa. Je jí cyklický AMP (cAMP) (cAMP – cyklický adenosinmonofosfát), látka účastnící se mnoha biochemických dějů, zejména takových, jako jsou hormonální regulace. Centra shlukování vydávají periodicky signály pomocí cAMP. Ostatní buňky reagují pohybem směrem k těmto centrům a uvolňují signály k okrajím oblastí, v nichž shlukování probíhá. Mechanismus uvolnění chemotaktických signálů umožňuje každému centru řídit shlukování asi 10^6 hlenek.

Rozbor modelu „shlukovacího děje“ odhaluje existenci dvou typů bifurkací. Za první shluk sám představuje porušení prostorové symetrie. Druhá bifurkace porušuje časovou symetrii.

Hlenky jsou zpočátku homogenně rozděleny. Jakmile některé z nich začnou vytvářet chemotaktické signály, objeví se lokální fluktuační koncentrace cAMP. V důsledku kritických hodnot některých parametrů systému (difúzní koeficient cAMP, motilita – schopnost samovolného pohybu hlenek atd.) jsou fluktuační zesíleny, rovnoměrné rozdělení se stane nestabilním a hlenky se vydávají směrem k nehomogennímu prostorovému rozdělení. Toto nové rozdělení odpovídá nahromadění hlenek kolem center shlukování.

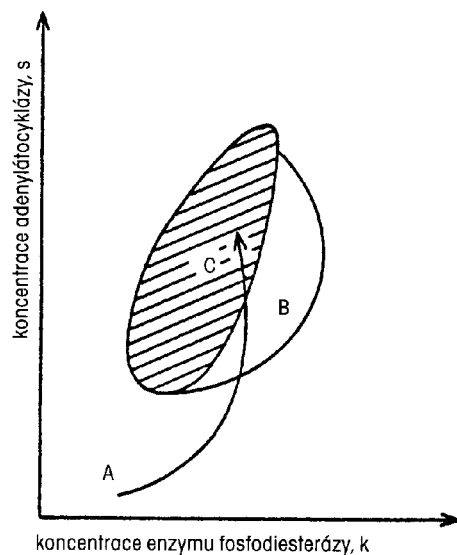


Obr. B

K pochopení vzniku periodičnosti v shlukování *D. discoideum* je nutné prostudovat mechanismus syntézy chemotaktického signálu. Tento mechanismus lze popsat s využitím experimentálních zkušeností nákresem na obr. B.

Čidla (R) váží na povrchu buňky molekuly cAMP. Čidlo je obráceno směrem k mimobuněčnému (extracelulárnímu) prostředí a je funkčně svázáno s enzymem, adenylátcyklázou (C), který vnitrobuněčnou ATP přeměňuje v cAMP. Ta je dopravená napříč membránou do mimobuněčného prostředí, kde se odbourává fosfodiesterázou, enzymem vylučovaným hlenkami. Pokusy ukazují, že vázání extracelulární cAMP na membránové čidlo aktivuje adenylátcyklázu (kladná zpětná vazba je naznačena pomocí +).

Rozbor modelu syntézy cAMP na základě této autokatalytické regulace umožnil sjednocení různých typů chování pozorovaného během shlukování.⁹⁸ Dvěma klíčovými parametry modelu jsou koncentrace adenylátcyklázy (s) a enzymu fosfodiesterázy (k).



Obr. C

Obrázek C (přetištěný z A. Goldbeter a L. Segel, *Differentiation*, 17 (1980), s. 127–135) ukazuje chování modelového systému v prostoru vytvořeném koncentracemi s a k .

Na obrázku můžeme pro různé hodnoty k a s rozlišit tři oblasti. Oblast A odpovídá stabilnímu, nevybuditelnému stacionárnímu stavu. Oblast B odpovídá stabilnímu stacionárnímu stavu, který je vybuditelný. Systém může „tepavě“ zesílit malé poruchy v koncentraci cAMP (a tím i přenos cAMP signálů). Oblast C odpovídá režimu netlumených kmitů kolem nestabilního stacionárního stavu.

Šipka označuje možný „směr vývoje“ odpovídající nárůstu koncentrací fosfodiesterázy (k) a adenylylcyklázy (s), nárůstu, který je pozorován až po začátku „hladovění“. Přechod oblastí A, B a C odpovídá pozorovaným změnám chování. Buňky nejsou zpočátku schopny odpovídat na extracelulární cAMP signály, poté však tyto signály začnou přenášet a nakonec jsou schopny jejich autonomní periodické syntézy. Centra shlukování by se tak staly buňkami, pro které po začátku „hladovění“ hodnoty parametrů s a k nabývaly rychleji hodnot odpovídajících bodu umístěnému uvnitř oblasti C.

Stane-li se prostředí, ve kterém tyto hlenky žijí a rozmnožují se, chudým na živiny, hlenky projdou transformací (viz obrázek A). Na počátku vytvoří soubor izolovaných buněk. Poté se spojí a vytvářejí hmotu složenou z několika desítek tisíc buněk. Toto „pseudoplazmodium“* se pak diferencuje, přičemž stále mění tvar. Vytváří se plodnička („stopka“) tvořená asi jednou třetinou buněk, která obsahuje nadbytečnou celulózu. Tato stopka podpirá zakulacenou masu spor, které se samy oddělují a rozšiřují, jakmile přijdou do styku s vhodným živným prostředím, přičemž se rozmnožují a posléze vytvářejí nové kolonie hlenek. Je to efektní příklad přizpůsobení se okolí. Kolonie buněk žije v jedné oblasti, dokud nevyčerpá dostupné zdroje. Pak „se přemění“ a získá pohyblivost k invazi do jiných prostředí.

Výzkum prvního stupně procesu uskupování odhaluje, že toto období začíná náporům vln přemístění v souboru hlenek s pulsujícím pohybem sbíhání hlenek směrem k „středu přitažlivosti“. Tento „střed“ se vytváří, zdá se, samovolně. Experimentální výzkum a modelování ukázaly, že tato migrace je odpovědí buněk na gradienty koncentrace v klíčové látce prostředí, cyklické AMP (cAMP). Ta je periodicky vytvářena hlenkou, která je středem atraktoru a později během obnovování i ostatními buňkami. A opět se setkáváme s pozoruhodnou rolí chemických hodin. Poskytují, jak jsme již zdůraznili, nový způsob komunikace, dorozumívání. V našem případě vede mechanismus samouspořádávání k dorozumívání mezi buňkami.

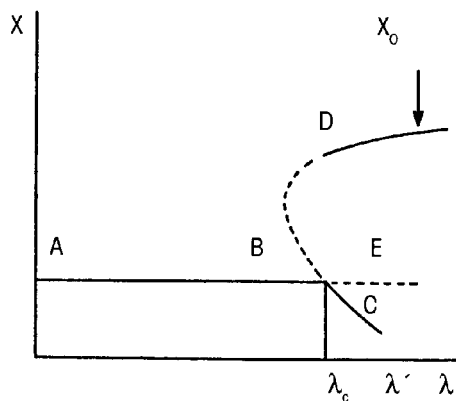
A existuje ještě jedno hledisko, které bychom rádi zdůraznili. Uskupení kolonií hlenek je typickým příkladem něčeho, co bychom mohli nazvat „řád prostřednictvím fluktuací“: vytvoření středu atraktoru vylučováním cAMP naznačuje, že metabolismus odpovídající normálnímu živnému prostředí se stal nestabilním, tj. že se živné prostředí vyčerpalo. Skutečnost, že za podmínek nedostatku potravy může být libovolná hlenka první ve vylučování cAMP a stává se tak atraktorem, odpovídá náhodnému charakteru fluktuací. Tato fluktuace je pak zesílena a vytváří prostředí.

* plazmodium – mnohojaderný plazmatický útvar vzniklý splynutím buněk (pozn. překl.)

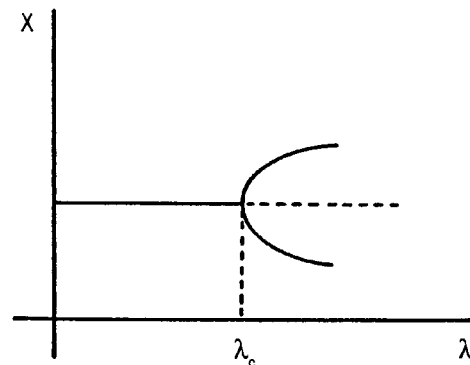
Bifurkace a narušení symetrie

Sledujme blíže objevení se samospořádávání a dějů, ke kterým dochází, pokud překročíme tuto hranici. Při rovnováze nebo „blízko rovnováhy“ je jen jeden ustálený stav, který je závislý na hodnotách určitých řídicích parametrů. Řídicím parametrem, který nazveme λ , může být např. koncentrace látky B v již dříve popsaném Bruselátoru (viz 4. část této kapitoly). Jaká změna nastane v systému, zvětší-li se hodnota B ? Systém se stále vzdaluje od stavu rovnováhy, až v určitém okamžiku dosáhne meze stability „termodynamické větve“. Tím jsme dosáhli bodu, který je zpravidla nazýván bifurkačním (větvicím) bodem. (Jsou to body, které Maxwell zdůrazňoval ve svých úvahách o determinismu a volném výběru [viz kapitola 2, část 3]).

Uvažujme některé typické bifurkační diagramy. V bifurkačním bodě B se termodynamická větev vzhledem k fluktuacím stává nestabilní. Systém se při hodnotě $\lambda = \lambda_c$ může nacházet ve třech odlišných státech: C , E a D . Dva z nich jsou stabilní, jeden je nestabilní. Proto je nutné zdůraznit, že chování takových systémů závisí na jejich minulosti.



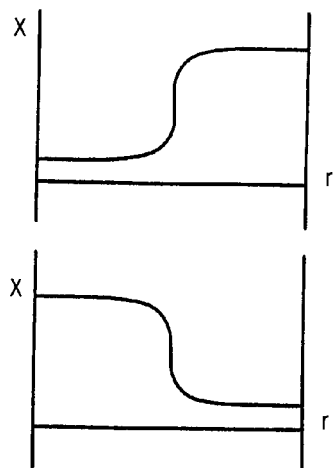
Obr. 10 Bifurkační diagram. Diagram znázorňuje stálé stavy (hodnoty X) jako funkce bifurkačního parametru λ . Plně jsou vyznačeny stabilní stacionární stavy, nestabilní stacionární stavy jsou vyznačeny přerušovaně. Jediným způsobem, jak se dostat do větve D , je začít u určité koncentrace X_0 , která je vyšší než hodnota X příslušející větvi E .



Obr. 11 Symetrický bifurkační diagram. X je znázorněno jako funkce λ . Pro $\lambda < \lambda_c$ existuje pouze jeden stálý stacionární stav. Pro hodnoty $\lambda > \lambda_c$ odpovídají každé hodnotě λ dva stálé stacionární stavy (předcházející stálý stav se stává nestálým).

Předpokládejme, že zvolná roste hodnota λ , průběh, ke kterému dochází, je znázorněn na obrázku 10 body A , B , C . Bude-li naopak počáteční hodnota koncentrace X vysoká a hodnota parametru λ bude udržována konstantní, je pravděpodobné, že se dostaneme do bodu D . Stav, kterého dosáhneme, tedy závisí na předcházejícím vývoji systému. Minulost byla doposud obvykle užívána při výkladu biologických a společenských jevů, ale to, že může být významná pro jednoduché chemické jevy, je zcela neočekávané.

Uvažujme bifurkační diagram z obrázku 11. Ten se od předchozího grafu liší tím, že se v bifurkačním bodě vyskytují dvě nová stálá řešení. A vynořuje se nová otázka: Dosáhne-li systém bifurkačního bodu, jaký bude jeho další vývoj? Lze „vybírat“ ze dvou možností. Těmi může být kterékoliv ze dvou nehomogenních rozdělení chemikálie X v prostoru (viz obrázky 12 a 13). Obě struktury jsou svými zrcadlovými obrazy. Hodnoty koncentrace X na obrázku 12 jsou větší vlevo, na obr. 13 naopak vpravo. Jak si systém vybere mezi „vlevo“ a „vpravo“? Je to nezjednodušitelný náhodný prvek; makroskopická rovnice neumožňuje předpovědět dráhu, po které se systém bude ubírat. Přechod k mikroskopickému popisu nepomůže. I zde není rozdílu mezi „vlevo“ a „vpravo“. Setkáváme se s náhodnými jevy podobnými házení kostkou.



Obr. 12 a 13 Dvě možná prostorová rozdělení chemikálie X, odpovídající každé z dvou větví z obrázku 11. Na obrázku 12 má „levá“ struktura vyšší koncentraci v levé části, podobně na obrázku 13 přísluší „pravé“ struktuře.

Očekávali bychom, že budeme-li pokus mnohokrát opakovat a dosáhne-li vývoj systému za bifurkační bod, polovina systému bude mít „levé uspořádání“ a druhá polovina „pravé uspořádání“. A opět se nabízí zajímavá otázka: zdá se, že ve světě kolem nás jsou některé základní přirozené symetrie narušeny¹⁰. Každý si jistě všiml, že ulity mívají přednostní směr točivosti. * Pasteur šel dokonce tak daleko, že nesouměrnost, narušení symetrie, považoval za příznačné pro život. Dnes víme, že DNA, nejdůležitější nukleová kyselina, má tvar levotočivé šroubovice. Jak tato nesouměrnost vznikla? Jednou z obvyklých odpovědí je, že souvisí s výjimečným jevem, při kterém náhodně došlo k zvýhodnění jednoho ze dvou možných výsledků. Potom dojde k autokatalytickému ději a levotočivá struktura vytváří další levotočivou strukturu. Jiná odpověď souvisí s představou „války“ levotočivých a pravotočivých struktur, ve které jedna struktura zničí druhou. Dodnes pro to nemáme uspokojivé vysvětlení. Hovořit o „výjimečných“ jevech je nedostatečné, potřebujeme podrobnější, systematictější vysvětlení.

* Současná genetika předpokládá, že pravo- či levotočivost je dědičná. U DNA se vyskytuje i pravotočivá dvoušroubovice. (pozn. překl.)

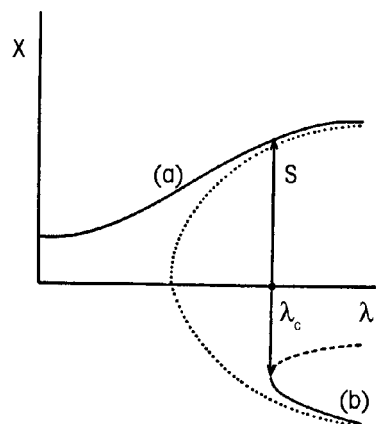
Nedávno jsme objevili překvapující příklad nových základních vlastností, které mají látky v „silně“ nerovnovážných stavech. Vnější pole, jakým je např. pole gravitační, mohou být systémem „vnímána“ a vytvářet tak předpoklad pro výběr struktury.

Jak by vnější gravitační pole změnilo rovnovážný stav? Odpověď dává Boltzmannův princip řádu. Základní veličinou, které se změna týká, je poměr potenciální a tepelné energie. Jeho hodnota je v gravitačním poli Země malá. K tomu, aby byla změna tlaku nebo složení vzduchu zřetelná, museli bychom vystoupit na horu. Ale připomeňme si Bénardovu buňku z mechanického hlediska. Její nestabilita roste se zvedáním polohy jejího těžiště v důsledku teplotní roztažnosti. Jinak řečeno, zemská přitažlivost zde má zásadní význam a bez ohledu na skutečnost, že Bénardova buňka může mít tloušťku jen několika milimetrů, vede ke vzniku nové struktury. Ve stavu rovnováhy by bylo působení zemské přitažlivosti na takovou tenkou vrstvu zanedbatelně malé, ale protože „nerovnováha“ vyvolává rozdíly teplot, jsou makroskopické vlivy související se zemskou přitažlivostí zřetelné i v této tenké vrstvě. „Nerovnováha“ účinky přitažlivosti zvětšuje.¹¹

Přitažlivost očividně ovlivňuje velikost difúzního toku v difúzní reakční rovnici. Podrobné výpočty ukazují, že tato změna může být v blízkosti bifurkačního bodu nenarušeného systému výrazná. Z uvedeného lze dovést, že existence velmi slabých gravitačních polí může vést k výběru uspořádání.

Zabývejme se znovu systémem, jehož bifurkační diagram je znázorněn na obrázku 11. Předpokládáme-li, že zemská gravitace neexistuje, tedy $g = 0$, obdržíme asymetrický, resp. „převrácené symetrický“ průběh podobný zrcadlovým průběhům z obrázků 12 a 13. Pravděpodobnost výskytu těchto průběhů je stejná. Při existenci zemské přitažlivosti, kdy $g > 0$, dojde ke změně „bifurkačních rovnic“, neboť difúzní tok obsahuje člen úměrný přitažlivosti g . Nový výsledek je znázorněn v bifurkačním diagramu na obrázku 14. Původní bifurkace zmizela, a to bez ohledu na velikost pole. Jedna ze struktur, (a), se během nárůstu hodnoty „bifurkačního parametru“ *spojitě* „vyvíjí“, zatímco druhé struktury, (b), lze dosáhnout jen prostřednictvím konečných poruch (perturbací).

Sledujeme-li průběh (a), očekáváme, že vývoj systému bude plynulý. Toto očekávání je správné potud, pokud vzdálenost s mezi oběma větvemi zůstává dostatečně velká s ohledem na teplotní kolísání koncentrace X . Dochází zde k tomu, co bychom rádi nazvali „řízeným“ rozvětvením (bifurkací). Proces samouspořádání může, podobně jako v dřívějších případech, nastat v blízkosti hodnoty λ_c . Nyní je však jedno z možných uspořádání zvýhodněno a vybráno.



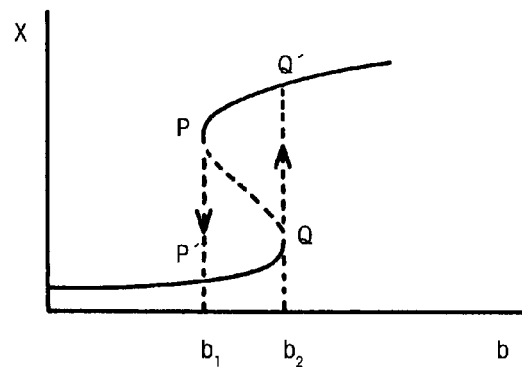
Obr. 14 „Řízené rozvětvení“ za přítomnosti vnějšího pole. X je vyneseno jako funkce λ . Symetrická bifurkace, která by se objevila v nepřítomnosti pole, je znázorněna tečkovaně. Hodnota parametru odpovídajícího bifurkaci je λ_c . Stabilní větev (b) je v konečné vzdálenosti od větve (a).

Významné je, že tento mechanismus v závislosti na chemickém ději vyvolávajícím rozvětvení (bifurkaci) má mimořádnou „citlivost“. Hmota, jak jsme se zmínili již dříve v této kapitole, „vnímá“ odchylky, které by při rovnováze byly bezvýznamné. Tyto možnosti nás vedou k tomu, abychom o nejjednodušších organismech, které známe, například o bakteriích, uvažovali jako o organismech schopných reakce na elektrické nebo magnetické pole. Obecněji řečeno, chemie „silně nerovnovážných stavů“ vede k možnosti „přizpůsobení“ chemických dějů vnějším podmínkám. To je v příkrém rozporu s tím, co nastává v rovnovážných stavech, kdy je pro vyvolání přeměny jedné struktury v druhou třeba velkých poruch nebo změn (modifikací) hraničních podmínek.

Citlivost „silně nerovnovážných“ stavů na „vnější fluktuační“ je dalším příkladem spontánní „přizpůsobivosti“ systému k jeho okolí. Ukažme si příklad¹² samouspořádání jako funkci kolísajících vnějších podmínek. Nejjednodušší možnou chemickou reakcí je izomerizační reakce, ve které $A \rightleftharpoons B$. V našem modelu látka A vstupuje i do další reakce: $A + \text{světlo} \rightarrow A^* \rightarrow A + \text{teplo}$. Látka A absorbuje světlo a v podobě tepla ho při přechodu z vybuzeného stavu A^* uvolňuje. Předpokládej-

me, že oba děje probíhají v uzavřeném systému. S okolím může docházet pouze k výměně světla a tepla. V systému existuje nelinearita, protože při přeměně látky B v A se absorbuje teplo. Přitom čím vyšší je teplota, tím rychleji se vytváří látka A . Ale též čím vyšší je koncentrace látky A , tím vyšší je pohlcování světla látkou A a její přeměna na teplo a tím vyšší je teplota. Látka A je katalyzátorem vlastního vytváření.

Očekáváme, že zjistíme, že koncentrace látky A , odpovídající stacionárnímu stavu, roste v závislosti na intenzitě světla. A také tomu tak skutečně je. Ale vyjdeme-li z kritického bodu, objeví se jev běžný pro „silně“ nerovnovážné stavy – současná existence vícenásobných stacionárních stavů. Systém se při stejných hodnotách intenzity světla a teploty může nacházet ve dvou odlišných stabilních stacionárních stavech s různými koncentracemi A . Třetí, nestabilní stav vyznačuje přechod mezi oběma předcházejícími stavy. Současná existence stacionárních stavů je příčinou vzniku dobře známého jevu – hystereze.



Obr. 15 Tento obrázek ukazuje, jak dochází k „hysterezi“ v případě, že hodnota bifurkačního parametru b nejprve roste a potom se zmenšuje. Je-li systém na počátku ve stacionárním stavu příslušejícím dolní větvi, zůstane v něm i při nárůstu hodnoty b . Ale při $b = b_2$ dojde k nespojitosti – systém „přeskočí“ na vyšší větev, tedy z bodu Q do bodu Q' . Naopak vyjdeme-li ze stavu na horní větvi, systém na ní zůstane až do okamžiku, kdy $b = b_1$, kdy systém „seskočí“ do bodu P . Podobné typy bistabilního chování je možno pozorovat v mnoha oblastech, například u laserů, v chemických reakcích nebo biologických membránách.

Ale to ještě není vše. Pokud je intenzita světla místo konstanty považována za náhodně kolísající, situace se výrazně změní. Rozšiřuje se oblast, ve které oba stacionární stavy existují současně, a pro určité hodnoty parametrů se stává možnou i koexistence *tří* stacionárních stavů.

Náhodná kolísání vnějšího toku, často nazývaná „šumem“ (již nejsou v těchto případech považována za „nepřijemnost“), vytvářejí nový druh chování, který společně s deterministickými toky zahrnuje mnohem složitější průběhy reakcí. Je důležité si uvědomit, že náhodný šum v tocích lze v jakémkoliv „přirozeném systému“ považovat za nevyhnutelný – například parametry určující vzájemné ovlivňování s okolím nelze v biologických nebo ekologických systémech pokládat obecně za stálé. Jak buňka, tak její prostředí čerpají svou potravu z okolí a vlhkost, hodnota pH, koncentrace soli, světlo a živiny vytvářejí trvale kolísající prostředí. Citlivost „nerovnovážných“ stavů nejen k fluktuacím buzeným jejich vnitřní činností, ale i k fluktuacím vytvářeným jejich okolím naznačuje nové perspektivy biologického bádání.

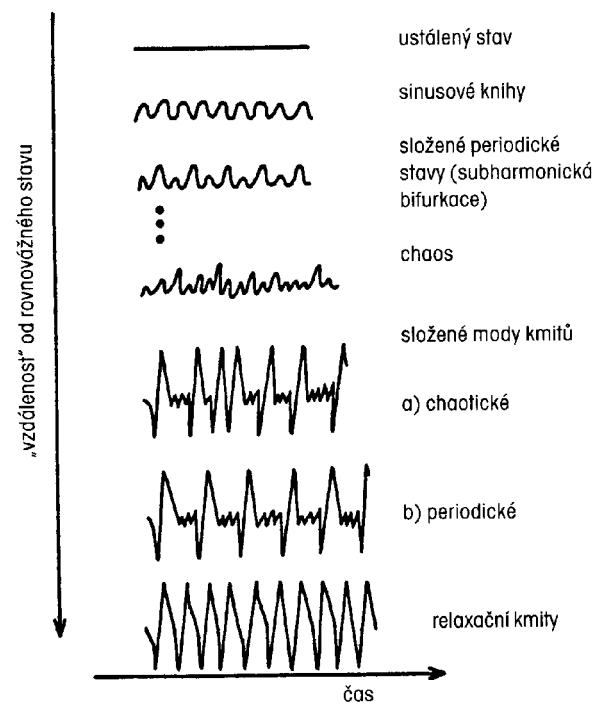
Kaskády bifurkací a přechod k chaosu

Předcházející oddíl se zabýval jen prvním rozvětvením nebo, jak to vyjadřují matematici, primární bifurkací, k níž dochází, donutíme-li systém překročit práh stability. Mnohem dříve, než popíšeme nová řešení, ke kterým může dojít, primární bifurkace zavádí jediný typický čas (periodu mezního cyklu) nebo jedinou charakteristickou délku. Pro vytvoření složitých časoprostorových pochodů pozorovaných v chemických a biologických systémech musíme dále sledovat bifurkační diagram.

Právě jsme tak narazili na jevy vyplývající ze složité souhry mnoha frekvencí v hydrodynamických nebo chemických systémech, například Bénardovy struktury vznikající v kritické vzdálenosti od rovnováhy. Vzdalujeme-li se od stavu tepelné rovnováhy, začíná konvekční tok v čase oscilovat. Při dalším vzdalování od „rovnováhy“ se zvyšuje počet oscilačních frekvencí, až je přechod k rovnováze dokončen¹³. „Skládání frekvencí“ umožňuje vznik velkých fluktuací; „oblast“ bifurkačního diagramu vymezená hodnotami těchto parametrů se často nazývá „chaotickou“. V případech jako je Bénardova nestabilita se řád nebo koherence často nacházejí mezi tepelným a nerovnovážným turbulentním chaosem. Skutečně, při pokračujícím zvětšování hodnoty teplot-

ního gradientu se konvekční proudění stává složitějším, vznikají oscilace a uspořádaný průběh konvekce z velké části mizí. Nicméně bychom si neměli pěst „rovnovážný tepelný chaos“ a „nerovnovážný turbulentní chaos“. Při tepelném chaosu, který nastává při rovnováze, jsou všechna charakteristická prostorová a časová měřítka molekulár-

Průběhy koncentrace Br^-



Obr. 16 Časové kmity iontu Br^- v Bělousovo-Žabotinského reakci. Obrázek znázorňuje vývoj oblastí příslušejících kvalitativním změnám. Jde o schematické znázornění. Experimentální údaje naznačují existenci mnohem složitějších sledů.

niho řádu, zatímco při turbulentním chaosu se setkáváme s množstvím makroskopických prostorových a časových měřítek, takže se systém jeví jako chaotický. V chemii se vztah mezi řádem a chaosem jeví jako velmi složitý. Po uspořádaných stavech (oscilacích) následují období s chaotickým chováním, což bylo např. v závislosti na průtokové rychlosti pozorováno při Bélousovově-Zabotinského reakci.

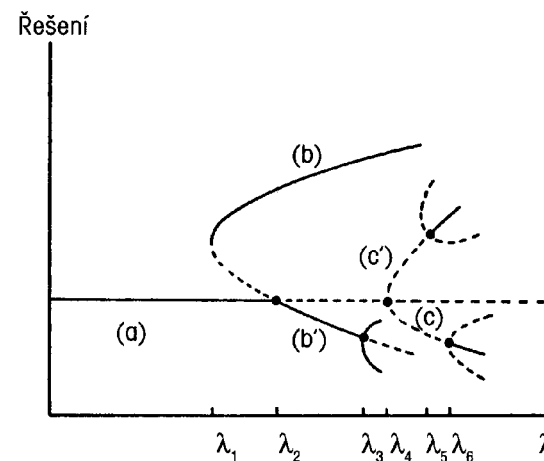
V mnoha případech je obtížné rozlišit význam slov jako „pořádek, řád“ a „chaos“. Je tropický prales uspořádaný nebo chaotický systém? Dějiny každého jednotlivého zvířecího druhu se zdají být značně nahodilé a závislé na jiných druzích a na událostech v jeho životním prostředí. Nicméně přetrvává pocit, že celkový charakter tropického pralesa, představovaný například všeobecnou odlišností druhů, odpovídá skutečnému prototypu řádu a pořádku. Bez ohledu na přesný význam, který tomuto názvosloví přisuzujeme, je jasné, že v některých případech vytváří sled bifurkací nevratný vývoj, který předurčuje charakteristické frekvence vyvolávající rostoucí náhodnost pramenící z mnohostčetnosti těchto frekvencí.

Pozoruhodně prostou cestou k „chaosu“, která na sebe již soustředila značnou pozornost, je „Feigenbaumova posloupnost“. Týká se libovolného systému, jehož chování lze charakterizovat velmi obecnou vlastností – tím, že pro určitou oblast hodnot parametrů je chování systému periodické s periodou T . Nacházejí-li se hodnoty parametrů mimo tuto oblast, je chování systému charakterizováno periodou $2T$, a jsou-li hodnoty parametrů mimo další mez, je délka periody systému $4T$. Systém se vyznačuje posloupností (kaskádou) bifurkací, při kterých vždy dochází ke zdvojení frekvence. Vytváří se tak typický průběh začínající jednoduchým periodickým chováním a přecházející ve složité aperiodické chování, ke kterému dochází při zdvojení periody *ad infinitum, do nekonečna*. Tento průběh se, jak objevil Feigenbaum, vyznačuje *obecnými číselnými* vlastnostmi. Ty jsou po celou dobu, po kterou je systém schopen frekvenci zdvojnásobovat, na mechanismu zdvojení frekvence nezávislé. „Většinu měřitelných vlastností *takového* systému nacházejícího se v aperiodickém mezním stavu lze ve skutečnosti určit způsobem, který se v podstatě vyhýbá podrobnostem v rovnicích popisujících chování každého jednotlivého systému...“¹⁴

V jiných případech, takových, jaké jsou ukázány na obrázku 16, historii systému popisují jak deterministické, tak i náhodné prvky.

Uvažujeme-li průběh na obrázku 17 a hodnota řídicího parametru je řádu λ_6 , pozorujeme, že systém má již množství možných stabilních

a nestabilních stavů. „Historii“ vývoje systému, kterým systém prošel během nárůstu hodnoty řídicího parametru, lze popsat posloupností stabilních oblastí, ve kterých převládají deterministické zákony, a nestabilních oblastí v blízkostech bifurkačních bodů, ve kterých systém může svou další budoucnost „volit“ z několika možností. Jak deterministický charakter kinetických rovnic, z nichž lze vypočítat soubor možných stavů a jejich příslušné stability, tak náhodné fluktuační „vybírající“ z několika možných stavů kolem bifurkačních bodů jsou složitě vzájemně propojeny. Tato směs nezbytnosti a náhody vytváří „dějiny“ systému.



Obr. 17. Bifurkační diagram. Ustálená řešení jsou vynesena v závislosti na bifurkačním parametru λ . Pro $\lambda < \lambda_1$ přísluší každé hodnotě λ jen jeden stacionární stav. Soubor těchto stavů vytváří větev a. Pro $\lambda = \lambda_1$ jsou možné dva soubory stacionárních stavů (větvě b, b').

Stavy na větvi b' jsou nestabilní, ale při $\lambda = \lambda_2$ se stávají stabilními, zatímco stavy na větvi a se při této hodnotě λ stávají nestabilními. Pro $\lambda = \lambda_3$ je větev b' opět nestabilní a objevují se dvě další větve.

Pro $\lambda = \lambda_4$ se na nestabilní části větve a objeví nový bifurkační bod, ze kterého mohou vycházet dvě nové větve, které jsou nestabilní až po body $\lambda = \lambda_5$, resp. $\lambda = \lambda_6$.

Od Euklida k Aristotelovi

Jedním z nejzajímavějších rysů disipativních struktur je jejich soudržnost. Systém se chová jako celek, jako by v něm byly soustředěny síly dlouhého dosahu. Přes skutečnost, že vzájemné působení molekul nepřesahuje vzdálenost asi 10^{-10} m, je systém uspořádán tak, jako by každá molekula byla „informována“ o celkovém stavu systému.

Často se říká a my jsme to též opakovali, že moderní věda se zrodila v okamžiku, kdy byl aristotelovský vesmír, ve kterém jedním ze zdrojů inspirace byl řád biologických funkcí, nahrazen homogenním a izotropním prostorem Euklidovým. Teorie disipativních struktur nás však posouvá blíže k pojetí Aristotelovu. Zabýváme-li se chemickými hodinami, vlnami koncentrace nebo nehomogenním rozdělením chemických látek, nestabilita vždy vyvolá narušení symetrie, a to jak časové, tak i prostorové. V mezním ději nejsou žádné dvě konstanty rovnocenné a například chemická reakce je charakterizována *řází* podobnou řází světelné vlny. A vyplývá-li z nestability zvýhodněný směr, prostor přestává být izotropní. Pohybujeme se od euklidovského prostoru k vesmíru aristotelovskému!

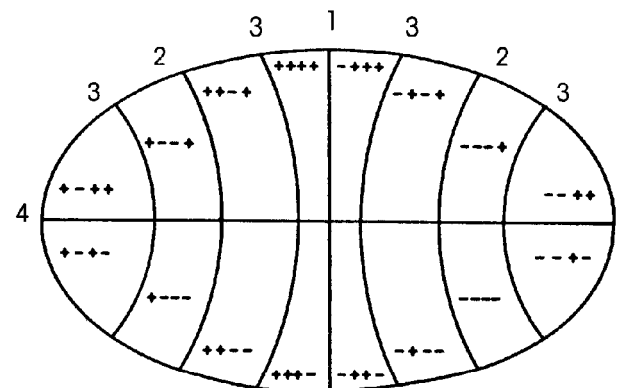
Je svůdné spekulovat o tom, že narušení symetrie času a prostoru má významnou roli v uchvacujících jevech morfogeneze*. Tyto jevy vedly často k přesvědčení, že musí existovat i nějaký skrytý vnitřní záměr uskutečněný embryem v okamžiku, kdy je jeho růst dokončen. Na počátku tohoto století věřil německý embryolog Hans Driesch, že vývoj embrya je dán nějakou nehmotnou „entelechií“**. Driesch objevil, že embryo je ve svém počátečním stadiu schopno odolávat náhlým a „drsným“ vzruchům a změnám, a i přes jejich přítomnost se vyvine v normální, funkční organismus. Naopak, pozorujeme-li na filmovaný embryonální vývoj, vidíme skoky odpovídající pronikavým změnám uspořádání, které jsou střídány obdobími „klidnějšího“ kvantitativního růstu. Naštěstí je v tom několik omylů. Skoky se vytvářejí reprodukovatelně. Mohli bychom spekulovat o tom, že základem mechanismu je souhra bifurkací (jako mechanismu bádání) a výběru vzájemného chemického působení stabilizujícího jednotlivé trajektorie. S takovou představou přišel asi před čtyřiceti lety biolog Waddington. Představa „chreodu“, kterou zavedl k popisu ustálených směrů vývoje, by odpoví

* morfogeneze – nauka o vzniku tvarů (pozn. překl.).

** entelechie – v organismu obsažená cílevědomá síla nebo schopnost určující a řídící a řídicí organismu (pozn. překl.).

vidala možným vývojovým směrům plynoucím z dvojnásobného požadavku přizpůsobivosti a spolehlivosti.¹⁵ Problém je obvykle velmi složitý a zde se jim lze zabývat jen velmi stručně.

Embryologové před mnoha lety zavedli představu morfogenetického pole a přišli s domněnkou, že diferenciace buňky závisí na její poloze v tomto poli. Ale jak buňka svou polohu „rozezná“? Často diskutovanou představou je představa „gradientu“ typické látky, jednoho či více „morfogenů“. Tyto gradienty by ve skutečnosti mohly vznikat při narušení symetrie za „silně nerovnovážných“ podmínek. Pokud by došlo k jejich vytvoření, chemický gradient by mohl každé buňce zajistit odlišné chemické prostředí a podnitit tak každou z nich k syntéze specifického souboru proteinů. Tento nyní značně užívaný model se zdá být v souladu s experimentálními poznatky. Zvláště lze zmínit Kauffmanovu práci¹⁶ o octomilkách. Difúzní reakčnímu systému je přisuzována odpovědnost za jiné směry vývoje, ke kterým, jak se zdá, dochází v různých skupinách buněk na počátku vývoje embrya. Každá část by byla určena jedinečnou kombinací vyjádřenou v dvojkové soustavě. Každá z kombinací je výsledkem bifurkace narušující prostorovou symetrii. Model vede k úspěšnému předpovídání výsledku transplantací jako funkce „vzdálenosti“ původní a konečné oblasti, tedy počtu rozdílů stavů, v nichž je volena jedna ze dvou možností, nebo „spínačů“, které ji pro každý z nich určují.



Obr. 18 Schematické znázornění struktury embrya octomilky, která vyplývá z po sobě následujících binárních voleb. Podrobněji viz text.

Takové představy a modely jsou zvláště důležité v biologických systémech, ve kterých se embryo začíná vyvíjet v očividně symetrickém stavu (například *Fucus*, *Acetabularia*). Je otázkou, zda je embryo na počátku skutečně homogenní. A také, jsou-li v prvotním prostředí přítomny malé „nestejnorodosti“, jsou-li příčinou nebo usměrňují-li vývoj směrem k dané struktuře. Přesné odpovědi na tyto otázky zatím neznáme. Jedno se však zdá jisté: nestabilita spjatá s chemickými reakcemi a přemísťováním se jeví jako jediný obecný mechanismus schopný narušit symetrii prvotně homogenních stavů.

Opravdová možnost takového řešení nás zavádí daleko mimo odvěký spor redukcionistů a antiredukcionistů. Již od Aristotela (a zmiňovali jsme se o Stahlovi, Hegelovi, Bergsonovi a dalších antiredukcionistech) bylo vyjadřováno vždy stejné přesvědčení: představy složitého uspořádání je zapotřebí k propojení různých úrovní popisu a příčin souvislostí mezi celkem a chováním částí. Ve svých odpovědích redukcionistům, pro něž jediná „příčina“ či uspořádání může spočívat v částech, prohlašují Aristoteles svou základní příčinou, Hegel svým objevem Ducha v přírodě a Bergson svým jednoduchým, nepotlačitelným, uspořádáním vytvářejícím činem, že hlavní je celek. Citujeme Bergsona:

„Obecně, jeví-li se týž předmět z jednoho hlediska jednoduchým a z jiného jako nekonečně složitý, nemají tato dvě stanoviska v žádném případě stejnou důležitost, nebo, jinak řečeno, stejné přiblížení ke skutečnosti. Jednoduchost náleží v těchto případech předmětům samotným a nekonečná složitost představám, které v přístupu k nim zaujímáme, symbolům, kterými je naše smysly nebo intelekt popisují, nebo obecněji prvkům *různého řádu*, kterým se ji uměle snažíme napodobit, ale která zůstává nesouměřitelná, neboť je odlišné podstaty. Geniální malíř na své plátno namaloval postavu. Tento obraz jsme schopni napodobit mnoha různobarevnými čtverečky mozaiky. Tvary křivek a odstínů barev modelu zobrazíme tím lépe, čím menší budou naše čtverečky, čím jich bude více a čím více se budou barevně odlišovat. Ale bylo by třeba nekonečného počtu nekonečně malých prvků znázorňujících nekonečné množství stínů, abychom získali kopii postavy, kterou umělec přenesl na plátno jako celek a která je tím úplnější, čím větší dojem v nás zobrazení neviditelné intuice vyvolá.“¹⁷

V biologii se střet redukcionistů a antiredukcionistů často jeví jako střet prosazování vnějších a vnitřních cílů. Myšlenka imanentní*, organizující inteligence tak často čelí organizačnímu modelu vypůjčené-

* imanentní - něčemu vlastní, v něčem obsažený, tkvící v podstatě něčeho (pozn. překl.)

mu ze soudobé techniky (mechanické a tepelné stroje, počítače), který okamžitě nastoluje otázku: „Kdo“ sestrojil stroj, robota, který se řídí vnějšími záměry?

Jak Bergson na počátku tohoto století zdůrazňoval, technický model i vitalistická představa vnitřní organizující síly jsou výrazem neschopnosti chápat vývojové uspořádání bez toho, že bychom ho bezprostředně spojovali s nějakým předem daným cílem. Dnes i přes úžasný pokrok v molekulární biologii zůstává stav pojmů přibližně stejný. Bergsonovy důvody by mohly být užity pro současné metafory, jakými jsou „organizátor“, „regulátor“ a „genetický program“. „Nepravověrní“ biologové jako Paul Weiss a Conrad Waddington¹⁸ správně kritizovali způsob, jakým je jednotlivým molekulám přisuzována schopnost vytvořit jednotné uspořádání, k jehož pochopení biologie směřuje a přitom se mýlí ve formulaci problému pro jeho řešení.

Musí se dospět k poznání, že technické analogie v biologii nejsou nezajímavé. Obecná platnost těchto analogií by však znamenala, že – jako v elektronickém obvodu – se zjišťuje obecná podobnost popisu molekulárního vzájemného působení a popisu celkového chování: činnost obvodu lze odvodit z vlastností a umístění jeho spínačů a cívek. Obojí patří do stejné třídy, neboť spínače a cívky byly navrženy a namontovány stejným technikem, který postavil celý stroj. V biologii to však pravidlem není.

Je pravda, že když uvažujeme biologické systémy, jakým je bakteriální chemotaxe, je obtížné nehovořit o molekulárním stroji složeném z čidel, snímačů a řídicího systému a o odezvě motoru. Známe přibližně dvacet až třicet čidel schopných zjistit velmi zvláštní třídy sloučenin a způsobit, že bakterie se pohybují buď ve směru nárůstu hodnoty prostorových gradientů „atraktantů“, nebo ve směru poklesu gradientu repelentů. Toto „chování“ je určeno údajem na výstupu vyhodnocujícího systému, tedy přepínáním, které vytváří změnu ve směru k bakterii.¹⁹

Ale z těchto případů, byť jsou jakkoli úžasně, se celou pravdu nedozvime. Spíše je můžeme vidět jako mezni případy, jako konečné produkty citlivého vývoje, který zdůrazňuje stabilitu a reprodukovatelné chování proti otevřenosti a přizpůsobivosti. Z tohoto hlediska není použitelnost technické metafory věci zásadní, ale příležitostnou.

Problematika biologického řádu zahrnuje přechod od molekulární činnosti k nadmolekulárnímu pořádku v buňkách. Tento problém zcela není vyřešen.

Často je biologický řád jednoduše představován jako nepravděpodobný fyzikální stav vytvářený a udržovaný enzymy podobajícími se

Maxwellovu démonu, enzymy, které udržují chemické rozdíly v systému stejně, jako démon udržuje rozdíly teploty a tlaku. Pokud tuto představu přijmeme, byla by biologie v postavení, jaké popisoval Stahl. Přírodní zákony dovolují pouze smrt. Stahlovo pojetí organizované činnosti duše je nahrazeno genetickou informací obsaženou v nukleových kyselinách a vyjádřenou uspořádáním enzymů umožňujících opakování života. Enzymy odsouvají smrt a zánik života.

V souvislosti s fyzikou nevratných dějů mají výsledky biologie zřejmě jiný smysl a jiné důsledky. Dnes víme, že jak biosféra jako celek, tak i její složky, ať mrtvé, či živé, existují za „silně nerovnovázných“ podmínek. V těchto souvislostech se život, který je vzdálený od přirozeného řádu, jeví jako nejvyšší vyjádření samouspořádávajících se dějů, které známe.

Jsmo sváděni zajít tak daleko, abychom mohli říci, že jsou-li jednou podmínky pro samouspořádání splněny, stane se život tak předpověditelným jako Bénardova nestabilita či padající kámen. Je pozoruhodnou skutečností, že v současné době nalezené fosilní formy života se objevily skoro současně s vytvářením prvních hornin (stáří dnes nejstarší známé mikrofosilie je odhadováno na $3,8 \cdot 10^9$ let, zatímco stáří Země se předpokládá $4,6 \cdot 10^9$ let. Vytváření prvních hornin se též datuje do doby před $3,8 \cdot 10^9$ lety). Časné objevení života je zároveň argumentem podporujícím myšlenku, že život je výsledkem samovolného uspořádání, ke kterému dojde vždy, když to podmínky umožňují. Nicméně musíme připustit, že jsme vzdáleni jakékoliv kvantitativní teorii.

Když se vracíme k našemu chápání života a jeho vývoje, nacházíme se nyní v lepším postavení než dříve. „Silně“ nerovnovázný systém lze popsat jako uspořádaný nejenom proto, že uskutečňuje plán neslučitelný se „základními činnostmi“, nebo ho překračuje, ale naopak, protože zesílení mikroskopických fluktuací, ke kterému ve „správnou chvíli“ dochází, vede k zvýhodnění jedné reakce na úkor mnoha jiných, stejně pravděpodobných reakcí. Za jistých okolností může být určující vliv „jednotlivého“ chování. Obecněji, „všeobecné“ chování nelze vůbec považovat za převládající v elementárních procesech, které ho utvářejí. Děje samouspořádání při „silně nerovnovázných“ podmínkách odpovídají jemné souhře nezbytnosti a náhody, fluktuací a deterministických zákonů. Očekáváme, že v blízkosti bifurkace by fluktuace nebo náhodné jevy mohly být významné, zatímco mezi bifurkacemi převládou deterministická hlediska. To jsou otázky, které nyní potřebujeme prozkoumat podrobněji.

Kapitola 6 Fluktuacemi k řádu

Fluktuace a chemie

V našem úvodu jsme poznamenali, že se dnes mění pojetí fyzikálních věd. Přecházejí od deterministických, vratných jevů k jevům náhodným a nevratným. Tato změna pojetí se pozoruhodně dotkla chemie. Jak bylo ukázáno v kapitole 5, chemické děje na rozdíl od trajektorií klasické dynamiky odpovídají nevratným dějům. Chemické děje vedou k růstu entropie. Naproti tomu klasická chemie pokračuje v deterministickém popisu. Jak bylo dovozeno v kapitole 5, je nutno sestavit diferenciální rovnice zahrnující koncentrace různých chemických složek. Pokud jsou jednou koncentrace v nějakém počátečním okamžiku (stejně jako při vhodných hraničních podmínkách zahrnujících prostoro-ově závislé děje jako difúze) známy, lze stanovit jejich pozdější hodnoty. Je důležité poznamenat, že deterministický přístup v chemii selhává v případě „silně“ nerovnovázných dějů.

Opakovaně jsme zdůrazňovali úlohu fluktuací. Shrňme nyní některé z nejpozoruhodnějších vlastností. Kdykoliv dosáhneme bifurkačního bodu, deterministický popis selhává. Vlastní fluktuace systému ovlivní volbu větve dalšího vývoje. Rozvětvení v bifurkačním bodě je náhodný děj stejně jako házení mincí. Chemický chaos poskytuje další příklad (viz kapitola 5). Dále zde již nelze sledovat určitou chemickou trajektorii, a nelze předpovídat podrobnosti časového vývoje. A opět je možný jen statistický popis. Nestabilitu lze pokládat za výsledek fluktuace, která je nejprve v malé části systému a pak se rozšiřuje a vede k novému makroskopickému stavu.

Tato skutečnost mění tradiční pohled na vzájemný vztah mikroskopické úrovně odpovídající molekulám nebo atomům a úrovně makroskopické popsané souhrmnými proměnnými, jako je koncentrace. Fluktuace v mnoha případech odpovídají jen malým odchylkám veličin. Vezměme si například plyn složený z N molekul uzavřený v nádobě objemu V . Rozdělme tento objem na dvě stejné části. Jaký je počet částic X v jedné z nich? Proměnná X je „náhodnou“ proměnnou a její hodnotu bychom měli očekávat v blízkosti hodnoty $N/2$.

Základní zákonitostí teorie pravděpodobnosti je zákon velkých čísel,

který umožňuje provést odhad „chyby“ způsobené fluktuacemi. V podstatě tvrdí, že měříme-li hodnotu X , musíme očekávat hodnotu X řádu $N/2 \pm \sqrt{N}/2$. Je-li N velké, rozdíl připadající na fluktuace $\sqrt{N}/2$ může být též velký (je-li $N = 10^{24}$, je $\sqrt{N} = 10^{12}$). Ale relativní chyba vnesená fluktuacemi je řádu $\sqrt{N}/2/(N/2)$, tj. $1/\sqrt{N}$ a pro dostatečně velké hodnoty N se blíží nule. Jakmile je systém dostatečně rozsáhlý, zákon velkých čísel nám umožňuje jasně rozlišit střední hodnoty a fluktuace, přičemž fluktuace jsou zanedbatelné.

U nerovnovážných dějů se však můžeme setkat se situací zcela opačnou. Fluktuace určují celkový výsledek, a místo aby byly korekcí středních hodnot, nyní tyto střední hodnoty pozměňují. Jde o novou situaci. Proto zavedeme novotvar a stavy vyplývající z fluktuací nazveme „fluktuacemi k řádu“. Před uvedením příkladů osvětlíme koncepční novost tohoto přístupu.

Čtenáři jsou možná seznámeni s Heisenbergovými vztahy neurčitosti, které poutavě vyjadřují pravděpodobnostní vztahy kvantové teorie. Tím, že v kvantové teorii nejsme schopni současně změřit polohu (nebo souřadnice) a hybnost, se klasický determinismus zhroutil. Dříve se věřilo, že tato okolnost není pro popis makroskopických objektů, jako jsou živé systémy, důležitá. Význam fluktuací v nerovnovážných systémech však ukazuje, že tomu tak není. Náhodnost zůstává podstatná i na makroskopické úrovni. Všimněme si další analogie s kvantovou teorií, která vlnové vlastnosti přisuzuje všem elementárním částicím. Jak již bylo ukázáno, i chemické systémy v „silně“ nerovnovážných stavech mohou mít chování podobné vlnám, jako například chemické hodiny popsané v kapitole 5. A opět některé z vlastností kvantové teorie objevené na mikroskopické úrovni vystupují na úrovni makroskopické.

Chemie se tak aktivně zapojuje do změny pojetí vědy.¹ Jsme pravděpodobně pouze na počátku nových směrů výzkumu. Jak některé nedávné výpočty naznačují, může se snadno stát, že v některých případech bude nutné myšlenku reakční rychlosti nahradit statistickou teorií zahrnující rozdělení pravděpodobnosti reakcí.²

Fluktuace a korelace

Vraťme se zpět k typům chemických reakcí, které jsme probírali v kapitole 5. Abychom si ukázali charakteristický příklad, uvažujme řetězec reakcí typu $A \rightleftharpoons X \rightleftharpoons F$. Kinetické rovnice v kapitole 5 se týkají průměrných koncentrací. K zdůraznění této skutečnosti budeme nadále

psát $\langle X \rangle$ místo X . Lze se tedy ptát, jaká je hodnota pravděpodobnosti, že v daném okamžiku nalezneme hodnotu X koncentrace této složky. Tato pravděpodobnost bude zřejmě kolísat stejně, jako kolísá počet srážek mezi různými molekulami. Lze snadno napsat rovnici pro změnu pravděpodobnosti rozložení $P(X,t)$ jako výsledek dějů vytvářejících molekuly X a dějů, které je ničí. Výpočty lze provádět pro rovnovážné či ustálené systémy. Uvedme nejprve výsledky pro rovnovážné systémy.

Při rovnováze ve skutečnosti znovu objevujeme rovnici klasického rozdělení pravděpodobnosti, Poissonovo rozdělení. Toto rozdělení je popsáno v každé učebnici teorie pravděpodobnosti, neboť platí v mnoha případech, jakými jsou např. rozdělení telefonních hovorů, čekací doby v restauracích nebo fluktuace koncentrací částic v plynu nebo tekutině. Matematický zápis tohoto rozdělení je pro nás nepodstatný. Chceme jen zdůraznit dvě z jeho vlastností. Za prvé, Poissonovo rozdělení vede k zákonu velkých čísel, který byl vysvětlen v první části této kapitoly. Ve velkém systému se tak fluktuace skutečně stávají zanedbatelnými. Tento zákon nám navíc umožňuje stanovit korelace mezi počty částic X ve dvou různých bodech prostoru, jejichž vzájemná vzdálenost je rovna r . Výpočet ukazuje, že při rovnováze tato korelace neexistuje. Pravděpodobnost nalezení dvou molekul X a X' ve dvou různých bodech r a r' je dána součinem pravděpodobností nalezení X v místě r a X' v místě r' (uvažujeme vzdálenosti dostatečně velké ve srovnání s dosahem mezimolekulárních sil).

Jedním z nejméně očekávaných výsledků nedávného výzkumu je poznatek, že v případě přechodu k nerovnovážným stavům se tato situace drasticky změní. Především, dostaneme-li se těsně k bifurkačním bodům, fluktuace narostou a je porušen zákon velkých čísel. To lze očekávat, neboť systém si může „vybrat“ mezi různými průběhy. Fluktuace mohou dosáhnout dokonce stejné velikosti jako střední makroskopické hodnoty. V tomto případě rozdíl mezi fluktuacemi a středními hodnotami zaniká. V případě nelineárních chemických reakcí popsaných v kapitole 5 se navíc objevují korelace velkého dosahu. Částice oddělené makroskopickými vzdálenostmi se vzájemně spojují. Místní události mají odezvu v celém systému. Je zajímavé³, že tyto korelace velkého dosahu se objevují právě přesně v místě přechodu od rovnováhy k nerovnováze. Přechod se z tohoto hlediska stává fázovým přechodem. Amplitudy korelací velkého dosahu jsou zpočátku malé, ale se vzdáleností od rovnováhy vzrůstají a v bifurkačních bodech mohou být nekonečně velké.

Domníváme se, že tento způsob chování je zajímavý, neboť na molekulární úrovni je základem problému dorozumívání, o kterém jsme se zmínili u chemických hodin. Tak je v důsledku těchto korelací velkého dosahu systém uspořádán již před makroskopickým rozvětvením. Vracíme se k jedné z hlavních myšlenek této knihy, k nerovnováze jako zdroji řádu. Zde je situace zvláště jasná. Ale v rovnováze se molekuly chovají jako nezávislé celky; ignorují se navzájem. Rádi bychom je nazvali „hypnony“, „náměsíčníky“. Ačkoliv každá z nich může být tak složitá, jak si přejeme, jedna druhé si nevšímá. Nerovnováha je však probudí a vytvoří souvislosti rovnováze zcela cizí. Mikroskopická teorie nevratných dějů, kterou rozvedeme v kapitole 9, předloží podobný obrázek hmoty.

Činnost hmoty je spojena s nerovnovážnými podmínkami, které může sama vytvářet. Stejně jako při makroskopickém chování jsou zákony fluktuací a korelací v rovnováze (kdy se setkáváme s Poissonovým rozdělením) obecně platné. Překročíme-li hranici mezi rovnováhou a nerovnováhou, stávají se velmi zvláštními a závislými na druhu nelinearity.

Zesílení fluktuací

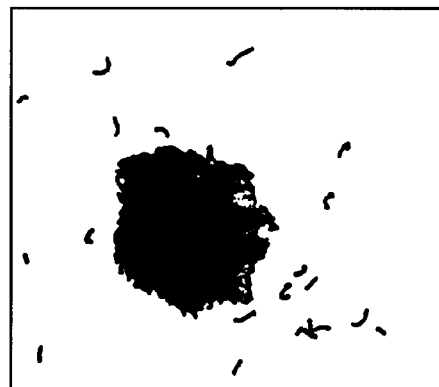
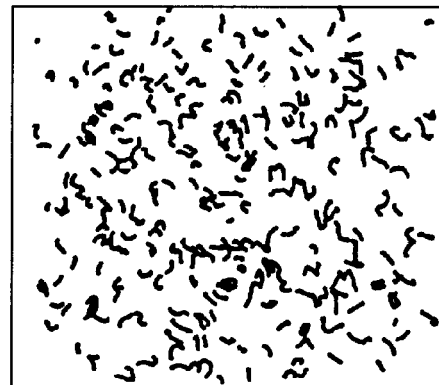
Zvolme dva příklady umožňující podrobně sledovat růst fluktuací předcházející vytvoření nové struktury. Prvním jsou shluky hlenek, které se při hladovění sloučí v jednu nadbuněčnou hmotu. Už jsme se o tom zmínili v kapitole 5. Jiným příkladem úlohy fluktuací je první stupeň stavby termitího hnízda. Poprvé byl popsán Grassém a Deneubourghem ho zkoumal z hlediska, které nás teď zajímá.⁴

Proces samoshlukování v populaci hmyzu

Larvy brouků (*Dendroctonus micans* (Scol.)) jsou na počátku náhodně rozloženy mezi dvě vodorovné tabule skla, které jsou od sebe vzdáleny 2 mm. Okraje tabulí jsou volné a plocha každé z nich je 400 cm².

Proces shlukování se jeví jako výsledek soutěže dvou činitelů – náhodných pohybů larev a jejich reakcí na chemickou látku, „feromon“. Tu syntetizují z terpenů obsažených ve stromě, na kterém se živí, a vylučují ji v množství závislejícím na její výživě. Feromon se šíří prostorem a larvy se pohybují ve směru gradientu jeho koncentrace. Tato reakce má autokatalytický průběh, neboť když se larvy hromadí v shluku, přispívají k zvýšení přitažlivosti příslušné oblasti. Čím vyšší je lokální hustota larev v této oblasti, tím vyšší je hodnota gradientu a tím silnější je sklon k pohybu směrem k přeplněnému místu.

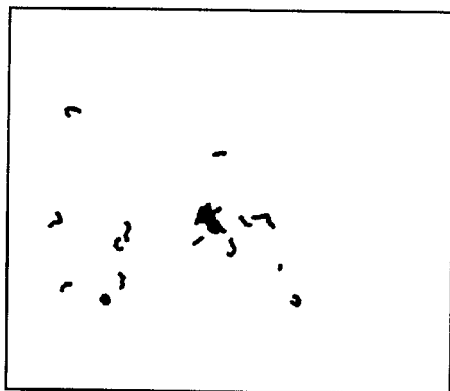
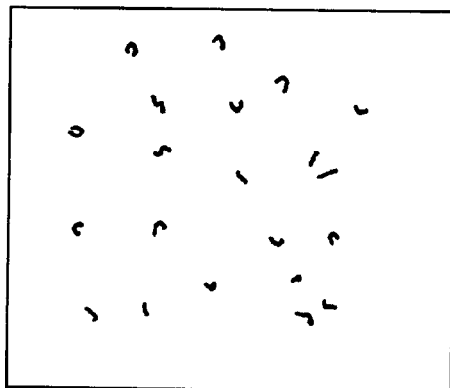
Pokus ukazuje, že hustota souboru (populace) larev určuje nejen rychlost průběhu shlukování, ale i jeho účinnost, tj. počet larev, které se konečně stanou částí shluku. Při vysokých hustotách (obr. A) se objevuje shluk, který uprostřed experimentálního zařízení rychle roste. Při malých hustotách (obr. B) k vytvoření stabilního, trvalého shluku nedochází.



Obr. A – Samoshlukování při vysoké hustotě v časech 0 a 21 minut.

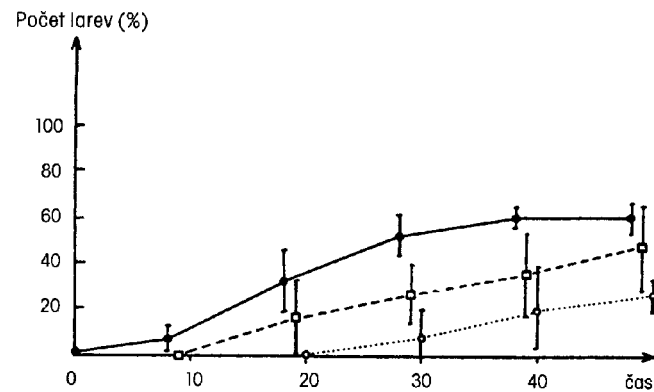
Další experimenty navíc zkoumaly možnost vývoje shluku z uměle vytvořeného „jádra“ na obvodu systému. Objevila se různá řešení v závislosti na počtu larev v tomto počátečním jádru.

Je-li počet larev v jádru malý ve srovnání s jejich celkovým počtem, shluk se nevytvívá (obr. D).

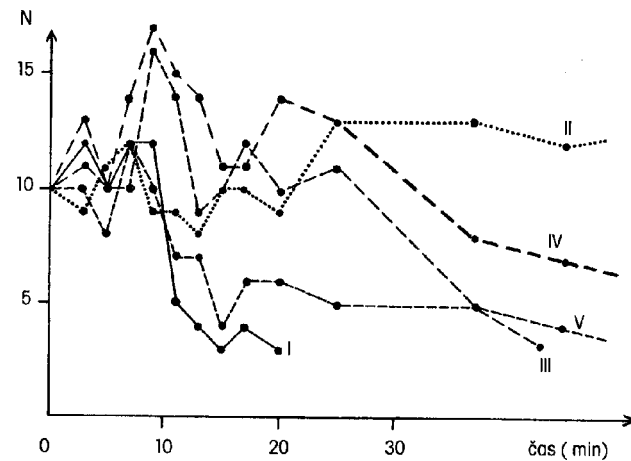


Obr. B – Samoshlukování při nízké hustotě v časech 0 a 22 minut.

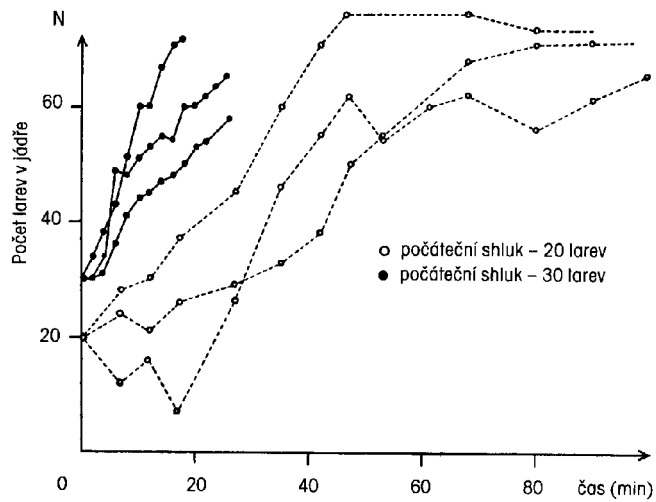
Je-li velký, shluk roste (obr. E). Z jader, jejichž velikost je mezi těmito krajními hodnotami, se mohou vyvinout nové typy struktur: objeví se dva, tři nebo čtyři další shluky a existují společně, přičemž doba jejich existence (života) je přinejmenším větší než délka pozorování (obr. F a G).



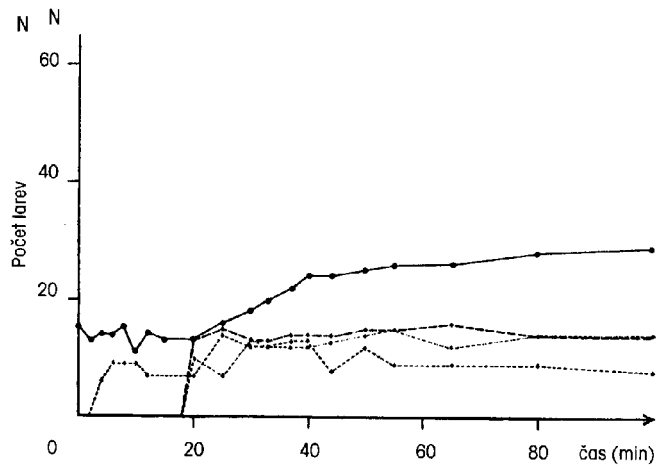
Obr. C – Celkový počet larev v hlavním shluku vyjádřený v procentech jako funkce času při třech různých hustotách.



Obr. D – Úbytek počátečních shluků 10 larev. Celkový soubor – 80 larev. N – počet larev v shlucích.



Obr. E – Růst počátečních shluků 20 a 30 larev. Celkový soubor – 80 larev.



Obr. F – Víceshluková řešení. Počáteční velikost shluku – 15 larev. Celková populace – 80 larev.

V pokusech s homogenními počátečními podmínkami nebyla tato víceshluková struktura nikdy pozorována. Zdálo by se, že v bifurkačním diagramu přísluší stabilním stavům odpovídajících hodnotám parametrů popisujících systém, ale nemohou jim být získány v případě, pokud se systém vyvine z homogenních podmínek. Jádro může být konečnou poruchou nezbytnou k vybuzení systému a směřující ho v bifurkačním diagramu do oblasti případů víceshlukových řešení.



Obr. G – Vývoj shluku (I) umístěného na okraji, který podněcuje vytváření druhého malého shluku (II).

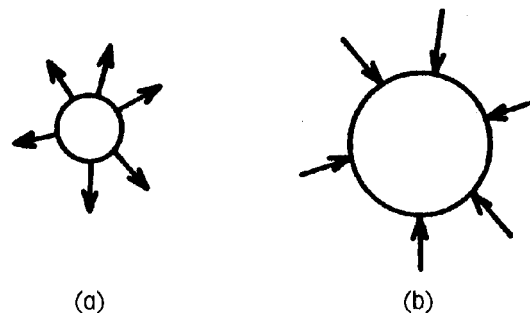
Stavba termitího hnízda je jednou z koherentních činností, která podnítila vědce k úvahám o „kolektivním myšlení“ hmyzích společenství. Kupodivu se však ukazuje, že k účasti na stavbě obrovských a složitých staveb, jakou je hnízdo, potřebují termiti ve skutečnosti velmi málo informací. První období této činnosti, stavba základů, byla Grasmem ukázána jako výsledek něčeho, co se zdá být neuspořádaným chováním termitů. V tomto období termiti dopravují a náhodně troují kousky hlíny. Tyto kousky současně napouštějí hormonem, který přitahuje ostatní termity. Děj by tedy mohl být popsán následovně: počáteční „fluktuační“ by byla nepatrně větší koncentrace kousků hlíny, která se v určitém čase na nějakém místě v této oblasti nevyhnutelně vytvoří. K jejímu zesílení a rozšíření dochází zásluhou zvyšující se koncentrace termitů v této oblasti. Ti jsou do ní přitahováni nepatrně vyšší koncentrací hormonu. V okamžiku, kdy je počet termitů v oblasti četnější, vzrůstá pravděpodobnost toho, že utroují kousek země, ale zvyšuje se i koncentrace hormonu. Tak dochází k vytváření „sloupů“. Sloupy jsou navzájem odděleny mezerami, jejichž velikost odpovídá vzdálenosti, na kterou se hormon šíří. Podobné případy byly nedávno popsány.

Ačkoliv nám Boltzmannův princip řádu umožňuje popisovat chemické či biologické děje, při nichž jsou rozdíly vyrovnány a počáteční podmínky zapomenuty, nemůže vysvětlit situaci, při které několik málo „rozhodnutí“ v nestabilním stavu může nasměrovat chování systému tvořeného velkým počtem navzájem působících jedinců směrem ke všeobecné struktuře.

Pokud je výsledkem konečných odchylek nová struktura, nemůže fluktuační, která vede od jednoho průběhu ke druhému, počáteční stav „v jednom kroku“ vůbec překonat. Nejprve se musí v omezené oblasti sama usadit a teprve potom „expanduje“ do celého prostoru – jde o *vytváření jader*. V závislosti na rozměru oblasti prvotních fluktuačních, na tom, zda je jeho hodnota pod nebo nad hodnotou kritickou (v případě chemických disipativních struktur závisí tato mez zvláště na kinetických konstantách a součinitelích difúze), fluktuační se buď potlačí, nebo se rozšíří do celého systému. Známe vytváření krystalizačních zárodků v klasické teorii fázových přeměn. Například v plynu se bez ustání vytvářejí zkondenzované kapičky a vypařují se. To, že teplota a tlak dosáhnou hodnoty, při kterých se tekuté skupenství stane stabilním, znamená, že lze určit kritickou velikost kapičky (ta je tím menší, čím nižší je teplota a vyšší tlak). Přesáhne-li velikost kapičky tento „práh vytváření zárodků“, plyn se prakticky okamžitě přeměňuje v kapalinu.

Teoretické studie a numerické modelování navíc ukazují, že s účinností difúze propojující všechny oblasti systému vzrůstá kritická velikost jádra. Jinými slovy, čím rychlejší je dorozumívání uvnitř systému, tím větší je podíl nezdařených fluktuačních a tím stabilnější je systém. Tato vlastnost problému kritické velikosti znamená, že v těchto případech má „vnější svět“, okolí oblasti, ve které fluktuační probíhají, vždy sklon k tomu, aby fluktuační utlumil. Tento sklon se buď naruší, nebo zesílí v závislosti na účinnosti dorozumívání oblasti s fluktuačními a vnějším světem. Kritická velikost je tak určena soutěží integračních schopností systému a chemických mechanismů zesilujících fluktuační.

Tento model se vztahuje na výsledky získané nedávno při experimentálních studiích prováděných *in vitro* a týkajících se vzniku rakovinových nádorů.⁵ Jednotlivá nádorová buňka je chápána jako „fluktuační“, která se může kdykoliv nekontrolovatelně objevit a dál se rozvíjet vytvářením replik (replikace). Pak se střetne s populací cytotoxických buněk, která je buď úspěšná při jejím ničení, anebo selže. Hodnoty různých parametrů typických pro vytváření replik a ničení umožňují předpovědět potlačení nebo zvětšování nádoru. Tyto studie kinetiky vedly k poznání neočekávaných rysů vzájemného působení cytotoxických buněk a nádorů. Zdá se, že cytotoxické buňky si mohou mrtvé nádorové buňky splést s buňkami živými. V důsledku toho je ničení rakovinových buněk vysoce obtížné.



Qbr. 19 Vytváření kapičky tekutiny z přesycených par. (a) kapička menší než kritická velikost; (b) kapička větší než kritická velikost. Existence meze byla pro disipativní struktury experimentálně ověřena.

Častá je otázka na meze složitosti. Skutečně, čím je systém složitější, tím četnější jsou typy fluktuací ohrožujících jeho stabilitu. A lze si klást otázku, jak vůbec mohou tak složité systémy, jakými je lidská bytost nebo systém životního prostředí, existovat? Jak to zařizují, aby se vyvarovaly trvalého chaosu? Částečnou odpovědí na tuto otázku může být stabilizující vliv dorozumívání a difúzních dějů. Ve složitých systémech, kde druhy a jednotlivci na sebe navzájem mnoha různými způsoby působí, se difúze a dorozumívání různých částí systému zdají být účinné. Stabilizace („uklidňování“) umožněná vzájemným dorozumíváním a nestabilita vyvolaná fluktuacemi si navzájem konkurují. Výsledek tohoto soupeření určuje mez stability.

Stabilita struktury

Kdy můžeme v pravém smyslu slova mluvit o „vývoji“? Jak bylo ukázáno, disipativní struktury vyžadují podmínky „daleko od rovnováhy“. Avšak v rovnicích popisujících difúzi jsou parametry, které umožňují přechod zpět k podmínkám blízkým podmínkám rovnováhy. Systém se může v bifurkačním diagramu „posouvat“ oběma směry. Podobně může proudění tekutiny přecházet z laminárního proudění na turbulentní proudění a zpět. Znamená to, že neexistuje jednoznačný průběh vývoje.

U modelů zahrnujících velikost systému jako bifurkační parametr je situace zcela odlišná. Růst nevratně probíhající v čase vytváří nevratný vývoj. Nicméně ten je jen zvláštním případem, přestože může být závažný v případě morfogenetického vývoje.

Pro biologický, ekologický nebo společenský vývoj však nelze pokládat za konečně určený ani soubor vzájemně působících částí, ale ani soubor jejich přeměn. Definice systému se musí upravit v souladu s jeho vývojem. Nejjednodušší příklad tohoto druhu vývoje je spojen s představou stability struktury. Týká se reakce daného systému na zavedení nových částí schopných násobení při spoluúčasti na dějích probíhajících v systému.

Problém stability systému lze ve vztahu k takovéto změně formulovat následovně: nové složky, zavedené v malých množstvích, vedou k novému souboru reakcí mezi složkami systému. Nový soubor reakcí začne soupeřit s předcházejícím funkčním režimem systému. Je-li systém vůči tomuto pronikání „strukturálně stálý“, nové chování se neprosadí a nové složky nepřežijí. Jestliže se fluktuace struktury úspěšně

prosadí – jestliže je například kinetika násobení složek dostatečně rychlá k tomu, aby „složky“ systém napadly, místo aby byly zničeny, celý systém nový funkční režim převezme: jeho činnost bude ovládána novou „syntaxí“.⁶

Nejjednodušším příkladem tohoto stavu je soubor (populace) makromolekul vytvořených polymerizací uvnitř systému, do kterého jsou dodávány monomery *A* a *B*. Předpokládejme, že polymerizace je autokatalytická, tedy že již syntetizovaný polymer je užit jako model k vytvoření řetězce se stejnou posloupností. Tento způsob syntézy je mnohem rychlejší než syntéza, v níž se nenachází model k napodobení. Každý druh polymeru vyznačující se zvláštním sledem *A* a *B* lze popsat souborem parametrů určujících rychlost syntézy kopie, při níž působí jako katalyzátor, přesnost reprodukčního procesu a střední dobu života samotné makromolekuly. Lze ukázat, že za jistých podmínek jeden typ polymeru s posloupností řekněme *ABABABA...* ovládá celý soubor. Ostatní polymery jsou potlačeny na pouhé „fluktuace“. Problém stability struktury se objevuje jako výsledek nepravdivosti v průběhu násobení, kdy se v systému objeví nový polymer popisovaný doposud neznámou posloupností a novým souborem parametrů, který se začne násobit a současně soupeřit s doposud převládajícími druhy o dostupné monomery *A* a *B*. Setkáváme se zde s jednoduchým případem klasické Darwinovy myšlenky o „přežití nejschopnějších“.

Tyto myšlenky tvoří základ modelu prebiologické evoluce navrženého Eigenem a jeho spolupracovníky. Podrobnosti Eigenova tvrzení jsou snadno dostupné jinde.⁷ Krátce uvedme, že se zdá, že ukazuje existenci jen jednoho typu systému, který odolává chybám, které v autokatalytických souborech nepřetržitě vznikají. Jde o systém polymeru, jehož struktura je stabilní vůči každé odchylce od původního polymeru. Tento systém je složen ze dvou souborů molekul polymerů. Molekuly prvního souboru jsou typu „kyseliny nukleové“. Každá molekula je schopna vlastní reprodukce a působí v syntéze molekul druhého souboru, který je proteinového typu jako katalyzátor. Každá molekula z druhého souboru katalyzuje reprodukci molekul v prvním souboru. „Katalytické vytváření“ souborů molekul dvou druhů může přejít v oběh (každá „nukleová kyselina“ se reprodukuje sama za pomoci „proteinu“). Je pak schopna trvalého přežívání, chráněná před trvalým nebezpečím nových polymerů s vyšší reprodukční účinností. Skutečně, nic nemůže narušit samoobnovující se děj tvořený „proteiny“ a „nukleovými kyselinami“. Na tomto stabilním základě tak může vzniknout nový druh vývoje, vývoj zvěstující genetický kód.

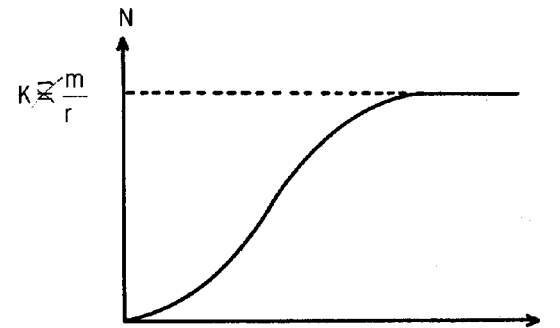
Eigenův přístup je určitě velmi zajímavý. Darwinovský výběr věrohodné samoreprodukce je jistě významný v prostředí s omezenou schopností. Nicméně se přikláníme k názoru, že to není jediné hledisko obsažené v prebiologickém vývoji. „Silně nerovnovážné“ podmínky spojené s kritickým množstvím toku energie a hmoty jsou též důležité. Zdá se rozumné předpokládat, že některé první vývojové stupně směrem k životu přispěly k vytvoření mechanismu pohlcování a přeměny chemické energie tak, že se systém „posunul“ do oblastí „silně nerovnovážných“ podmínek. Tento stupeň života nebo toho, co mu předcházelo, byl pravděpodobně tak „rozředěn“, že darwinovský výběr nebyl tak podstatný jako při pozdějším vývoji.

Velká část této knihy je zaměřena na vztah mikroskopického a makroskopického. Jedním z nejvýznamnějších problémů vývojové teorie je případná zpětná vazba makroskopických struktur a mikroskopických událostí. Makroskopické struktury vynořující se z mikroskopických událostí by postupně vedly k pozměnění mikroskopických mechanismů. V současnosti kupodivu nejlépe chápeme případy týkající se společenských dějů. Stavíme-li silnici nebo most, můžeme předpovídat, jak ovlivní chování obyvatelstva, a toto chování pak následně určuje další úpravy dopravních cest v oblasti. Takovoto vzájemně související děje vytvářejí velmi složité stavy, jež je nutné pochopit před vytvářením dalších modelů. Proto nyní popíšeme jen velmi jednoduché případy.

Vývoj uspořádání systému

Otázky strukturální stability nalézají využití ve společenské oblasti. Zdůrazněme však, že takové využívání vyžaduje výrazné zjednodušení podmínek pro samovolně se opakující pochody v prostředí s omezeným počtem zdrojů.

Původní rovnice popisující tento problém se v ekologii nazývá „evoluční rovnice“. „Evoluční rovnice“ popisuje vývoj společenství s N jedinci s uvážením porodnosti, úmrtnosti a rozsahu zdrojů dostupných populaci. Lze ji psát ve tvaru $dN/dt = rN(K - N) - mN$, kde r a m jsou konstanty popisující porodnost a úmrtnost a K je „převážná schopnost“ prostředí. Nezávisle na své počáteční hodnotě dosáhne N v průběhu času ustálenou hodnotu $N = K - m/r$, určenou rozdíly „převážná schopnosti“ a poměrem konstant úmrtnosti a porodnosti. Po dosažení této hodnoty je prostředí „nasyčeno“ a v každém okamžiku umírá stejně množství jedinců, jako se rodí.



Obr. 20 Vývoj populace N jako funkce času. Stacionární stav $N = 0$ je nestabilní, zatímco stacionární stav $N = K - m/r$ je stabilní s ohledem na kolísání N .

Zdánlivá jednoduchost evoluční rovnice skrývá do jisté míry složitost v ní zahrnutých mechanismů. Již jsme se například zmiňovali o vnějším šumu. Zde má zvláště jednoduchý význam. Již při pouhém kolísání podnebí nelze součinitele K , m a r pokládat za konstantní. Je známo, že kolísání rovnováhy podnebí může zcela změnit ekologickou rovnováhu, dokonce vést k zániku společenství. Ovšem výsledkem je vznikání nových dějů, jako je hromadění potravy a vytváření nových společenství, která se od počátku vyvíjejí tak, aby se vyhnula některým vnějším vlivům.

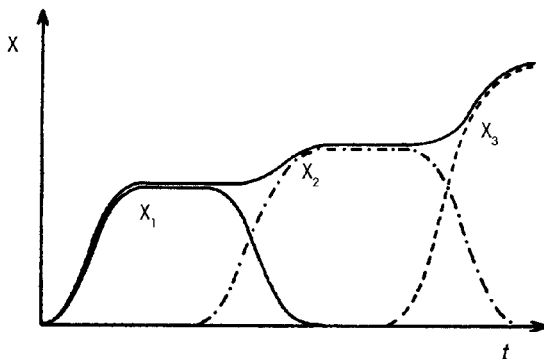
Je toho ale více. Místo abychom evoluční rovnici psali jako spojitou v čase, srovnáme vývoj společenství v daných časových obdobích (například po roce). Tuto „diskrétní“ evoluční rovnici lze psát ve tvaru $N_{t+1} = N_t (1 + r [1 - N_t/K])$, kde N_t a N_{t+1} jsou velikosti společenství ve dvou oddělených ročních obdobích (úmrtnost zanedbáváme). Jak poznamenal R. May⁸, tyto rovnice vzdor své jednoduchosti mají ohromující množství řešení. Pro hodnoty $0 \leq r \leq 2$ se podobně jako pro spojitý případ trvale blížíme rovnováze. Pro hodnoty r menší než 2,444 vzniká limitní cyklus: máme teď periodické chování s dvouletou periodou. To se opakuje s periodou čtyři, osm, atd. roků, až lze výsledné chování popsat jen jako chaotické (pro hodnoty r větší než 2,57). Dosáhli jsme přechodu v chaos, který jsme popsali v kapitole 5. Vzniká tento chaos i v přírodě? Zdá se, že nedávné studie⁹ naznačují, že parametry, které

přírodní společenství popisují, je oddělují od oblasti chaosu. Proč je tomu tak? Setkáváme se zde s jedním z velmi zajímavých problémů vznikajících při slučování vývojových problémů s problémy matematickými, které vznikají při modelování těchto jevů na počítači.

Doposud jsme se zabývali statickým hlediskem. Přejdeme k mechanismu, kdy se parametry K , r a m mohou měnit při biologickém či ekologickém vývoji.

Je třeba očekávat, že v průběhu vývoje se hodnoty parametrů K , r a m budou měnit (stejně jako mnoho ostatních parametrů a proměnných, které lze či nelze kvantifikovat). Živá společenství neustále zavádějí nové způsoby využívání zdrojů, či nové zdroje objevují (hodnota K tedy vzrůstá) a soustavně odkrývají nové způsoby jak život prodloužit nebo jak se rychleji rozrůstat (násobný efekt). Každá ekologická rovnováha určená evoluční rovnicí je tak pouze dočasná a systémově určené útočiště bude postupně obsazováno řadou druhů, z nichž každý bude schopen předcházející druh vytlačit v okamžiku, kdy jeho „schopnost“ využít útočiště, popsaná veličinou $K - m/r$ vzroste. (Viz obrázek 21.) Evoluční rovnice tedy vede k definici značně jednoduché situace, ve které můžeme kvantitativně vyjádřit darwinovskou myšlenku o „přežití nejschopnějších“. „Nejschopnější“ je ten druh, pro který je v daném čase hodnota veličiny $K - m/r$ nejvyšší.

I když je problém popsaný evoluční rovnicí značně zjednodušen, přesto vede k nádherným příkladům vynalézavosti přírody.



Obr. 21 Vývoj celkové populace X v závislosti na čase. Populaci tvoří druhy X_1 , X_2 a X_3 , které se objevují postupně a vyznačují se rostoucí hodnotou $K - m/r$ (viz text).

Vezměme si jako příklad housenku, která musí zůstat nezpozorována, neboť je kvůli své pomalosti neschopna útěku.

Metody užívání jedů, odpuzujících vláken a bodců, ale i strašáků jsou vysoce účinné při zahánění ptáků a ostatních škůdců a dravců. Ale žádná z těchto metod není dokonale účinná proti všem dravcům, zvláště jsou-li vyhladověli. Ideální je zůstat naprosto nezpozorován. Některé housenky se tomuto ideálu svým chováním přibližují a rozmanitost a důmyslnost postupů užívaných stovkami druhů motýlů k tomu, aby zůstaly nezpozorovány, přivádějí na mysl slova slavného přírodopysce devatenáctého století Louise Agassize: „Možnosti existence přecházejí tak často ve výstřednost, že sotva existuje představa, která by byla pro Přírodu natolik mimořádná, že by ji nemohla uskutečnit.“¹⁰

Nemůžeme odolat, abychom si neukázali příklad popsany Miltonem Lovem.¹¹ Motolice (druh parazitu) musí přejít z mravence na ovci a teprve tam dojde k její reprodukci. Pravděpodobnost, že ovce spolkně nakaženého mravence je velmi malá, ale mravenec se chová velmi neobvykle, čímž pravděpodobnost svého setkání s ovci zvyšuje. Motolice se svému hostiteli doslova „zavrtá do těla“. Zavrtá se do mozku mravence, čímž svou oběť donutí k sebevražednému chování. Napadený mravenec, místo aby zůstal na zemi, vylézá na koneček stébla trávy a tam nehybně čeká na ovci. Je to skutečně neuvěřitelně „chytře“ řešení životního problému parazita. Jak bylo vybráno, zůstává hádankou.

Jiné případy biologického vývoje lze zkoumat na modelech podobných evoluční rovnicí. Je možno vypočítat podmínky vzájemného soupeření druhů, za kterých je pro část společenství výhodné zaměřit se výlučně na bojové a neproduktivní činnosti (například „vojáci“ u sociálně organizovaného společenství hmyzu). Lze tak určit charakter prostředí, ve kterém se druh specializoval a omezil rozmanitost svých zdrojů potravy. Specializovaný druh v takovém prostředí přežije snáze než druh vyžadující „rozmanitost zdrojů“. ¹² Ale tím se přibližujeme k dalším velmi rozdílným problémům souvisejícím s uspořádáním vnitřně odlišených populací. Je naprosto nezbytné jasné rozlišování, máme-li zamezit rozporům. V společenstvích, jejichž jednotlivci nejsou vzájemně zaměnitelní a každý má svou vlastní paměť, charakter a zkušenost a kde každý z nich má své postavení, se význam evoluční rovnice a obecněji i darwinovského myšlení stává relativním. K tomuto problému se ještě vrátíme.

Je zajímavé, že stejná křivka, která na obrázku 21 znázorňuje sled růstů a maxim určených danou soustavou evolučních rovnic pro ro-

stouci $K - m/r$, byla užita i k popisu rozšíření (násobný efekt) určitých technických postupů nebo výrobků. I zde objev nebo zavedení nové technologie či výrobku narušuje společenskou, technologickou nebo ekonomickou rovnováhu. Tato rovnováha by odpovídala maximu křivky rozšíření technologií nebo výrobků, s kterými bude inovace muset soutěžit a které jsou z hlediska evoluční rovnice podobné.¹³ Nuže, abychom vybrali alespoň jeden příklad, rozvoj paroplavby vedl nejenom k zániku většiny plachetnic, ale snížením dopravních nákladů a zvýšením rychlosti plavby i k nárůstu poptávky po námořní přepravě („ K “) a následně i k zvýšení počtu lodí („společensví“). Popisujeme samozřejmě extrémně jednoduchou situaci, řízenou pravděpodobně jen čistě ekonomickými důvody. V tomto případě se zdá, že inovace, i když jiným způsobem, uspokojuje pouze předem existující potřebu, která se nemění. Avšak v životním prostředí, stejně jako v lidské společnosti, jsou mnohé inovace úspěšné i bez předem dané „niky“. * Inovace přeměňují prostředí, ve kterém se objevují, a při svém rozšiřování vytvářejí i podmínky nezbytné pro svůj vlastní růst, svou „niku“. Vznik poptávky a potřeba ji uspokojit se často jeví jako vzájemně provázané s výrobou zboží nebo technologií, které ji uspokojují.

Vývojová zpětná vazba

První krok k vylíčení tohoto rozměru vývojového děje je vyjádřen „přepavní schopností“ systému jako funkce způsobu, kterým ho využíváme, místo abychom předpokládali, že je dán.

Takto si lze představit některé doplňkové rozměry hospodářských činností, zejména růst a rozšíření (násobný efekt). Lze tak popsat „samourychlující“ vlastnosti systému a prostorové rozlišení rozdílných úrovní činností.

Zeměpisce již vytvořili model, který tyto jevy slaďuje (tzv. model Christaller). Tento model určuje nejvýhodnější prostorové rozdělení činností hospodářských středisek. Významná střediska by se nacházela v průsečících šestiúhelníkové sítě a každé by bylo obklopeno prstencem „o něco“ menších měst, ta by byla obklopena... atd. Ve skutečných

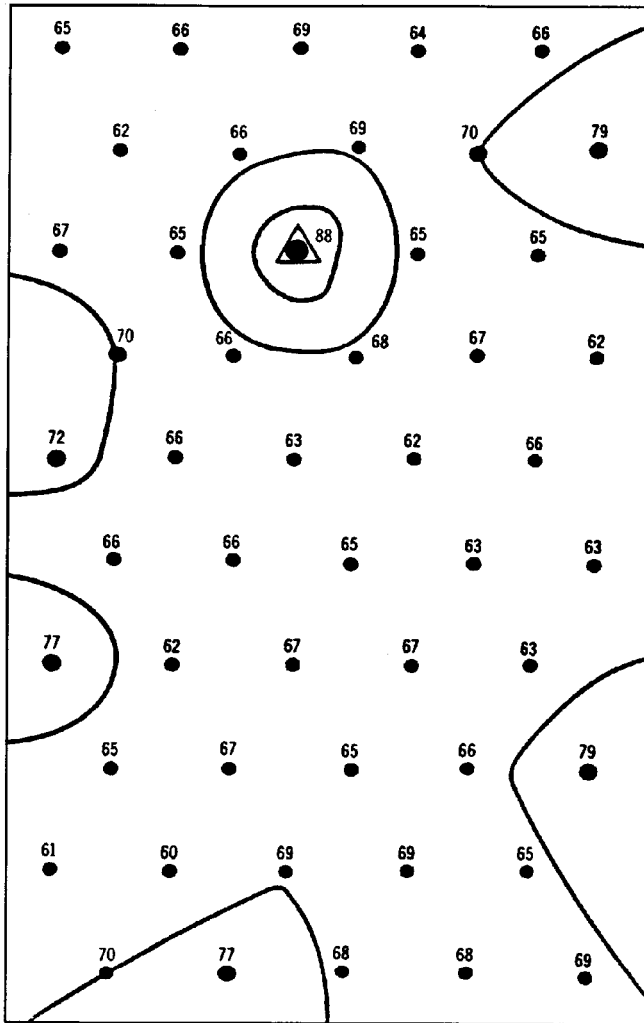
* Ekologická nika - soubor všech činitelů prostředí, které organismus nebo populace v určitém obsazeném prostoru využívá pro své životní funkce (množení, růst, potrava, vztahy mezi partnery a nepřáteli apod.). Nika je obecnější pojem než působiště. (pozn. překl.)

podmínkách je takové pravidelné hierarchické uspořádání samozřejmě velmi řídké: historické, politické a zeměpisné důvody prostorovou symetrii narušují. Ale je toho ještě více. I tehdy, pokud by všechny důležité zdroje nesouměrného vývoje byly vyloučeny a my bychom vycházeli z homogenního ekonomického a zeměpisného prostoru, modelování vývoje takového rozdělení, jakým je rozdělení určené Christallerem, potvrzuje, že jím popisovaná statická optimalizace vytváří možný, ale zcela nepravděpodobný výsledek děje.

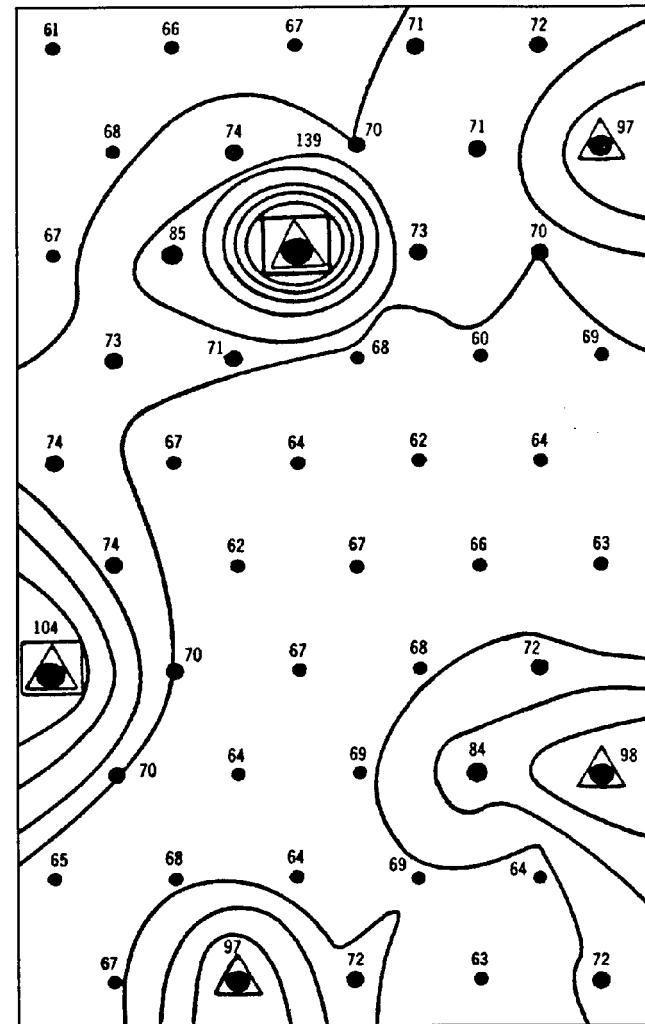
Zmiňovaný model¹⁴ uvažuje pouze minimální soubor proměnných uvažovaných při výpočtech, jako je například Christaller. Je vytvořen soubor rovnic rozšiřujících evoluční rovnice, přičemž se vychází ze základního předpokladu, že společnosti mají sklon k přemisťování (migraci). To je funkcí místních úrovní hospodářské činnosti, která tak určuje druh místní „přepavní schopnosti“, která je zde omezena na schopnost „zaměstnat“. Místní populace je i pravděpodobným spotřebitelem „místního“ zboží. Ve skutečnosti se dostáváme k dvojnásobné kladné zpětné vazbě, nazývané v případě místního vývoje „městským násobitelem“. Jak místní populace, tak hospodářská infrastruktura vytvořená již dosaženou úrovní činností nárůst těchto činností dále urychlují. Každá místní úroveň činnosti je však určena i soupeřením s podobnými středisky činnosti umístěnými někde jinde. Prodej vyrobeného zboží nebo služeb závisí na nákladech jejich dopravy ke spotřebitelům a na velikosti „podniku“. Růst každého podniku závisí na poptávce. Růst sám poptávku pomáhá vytvářet a je navíc předmětem soutěžení. Odpovídající růst společnosti, výroby či služeb je spojen silnou zpětnou vazbou a nelinearitami.

Model vychází z počáteční podmínky, kdy v různých bodech existuje „1. úroveň“ činnosti (venkovská); dále nám umožňuje sledovat postupný nárůst činností odpovídajících „vyšším“ úrovním v Christallerově hierarchii, které zahrnují i větší rozsah vývozu. Model i v případě zcela homogenního počátečního stavu ukazuje, že pouhá souhra nahodilých činitelů (činitelů mimo vlastní model, jako místo a doba vzniku různých podniků) je postačující k narušení souměrnosti: vzniku oblastí s vysokým soustředěním činností, zatímco jiné trpí poklesem hospodářské činnosti a vysídlováním. Rozdílné počítačové modelování ukazuje nárůst a útlum, podrobení a nadvládu, období příležitosti rozdílného vývoje následovaná upevněním existujících vládnoucích struktur.

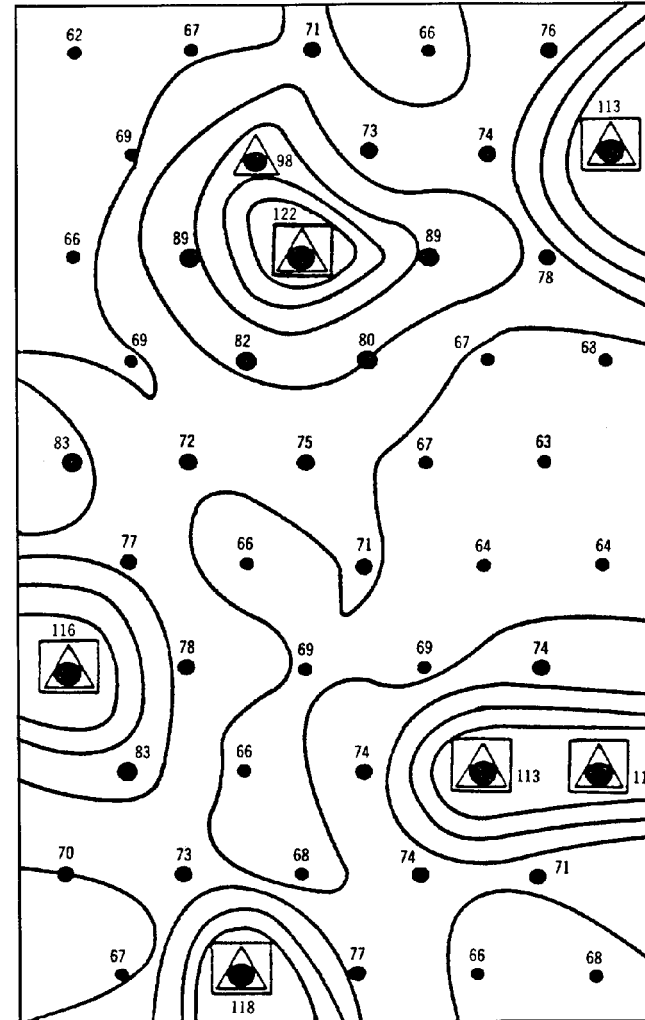
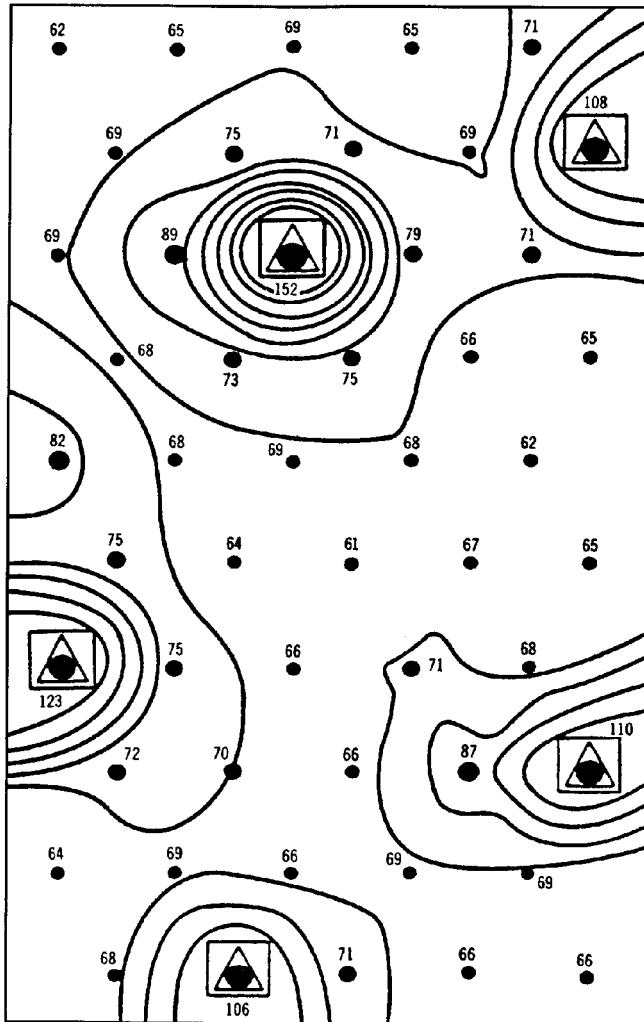
Zatímco Christallerovo souměrné uspořádání dějiny „opomijí“, tento scénář je naopak bere v úvahu, přinejmenším jako souhru „zákonů“ (zde výhradně ekonomické povahy) a „náhody“ ovládající sled událostí.

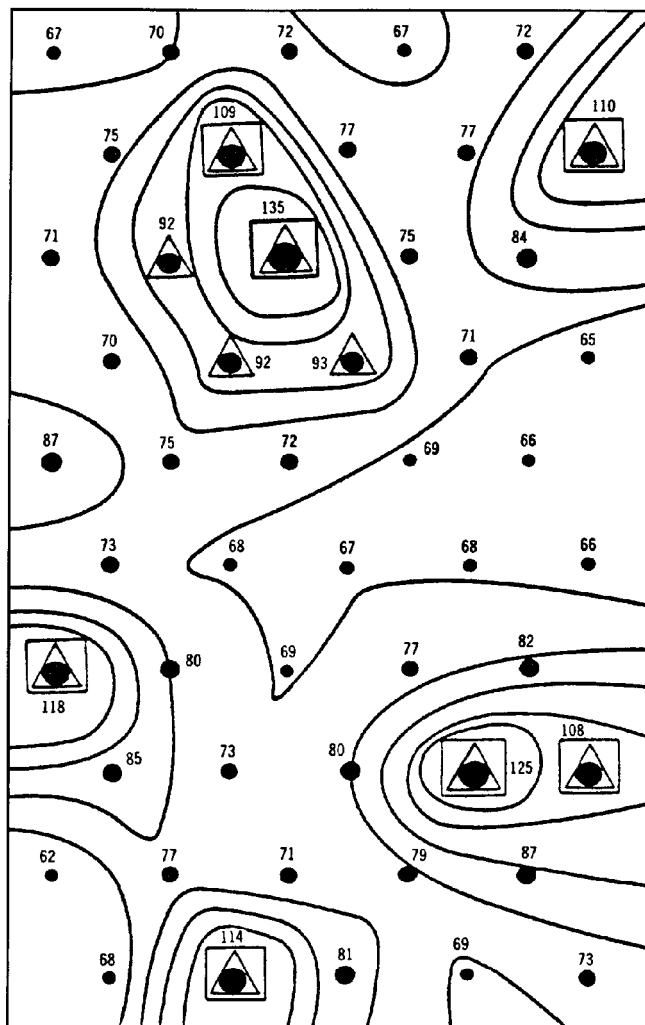


Obr. 22 Možné dějiny „urbanizace“. Symbol ● odpovídá 1. úrovni činnosti, ● odpovídá úrovním 1. a 2., ▲ odpovídá úrovním 1., 2., 3., ◻▲ jsou největší střediska s úrovněmi 1., 2., 3., 4. V čase $t = 0$, (není znázorněn), mají všechny



body četnost 67 jednotek. Na obrázku C největší středisko prochází maximem (152 jednotek). Rozšiřuje se a dochází k vytváření satelitních měst. Stejný jev nastává i u druhého největšího střediska.





Modelování složitosti

Přes svou jednoduchost je náš model úspěšný při znázornění některých vlastností vývoje složitých systémů, zejména potíží „při řízení“ vývoje určeného více navzájem se ovlivňujícími prvky. Každá jednotlivá akce nebo každý místní zásah má souhrnný charakter, který může vyústit ve zcela nepředvídatelné globální změny. Jak zdůrazňoval Waddington, naše nedostatečné znalosti neumožňují pochopit odezvu složitěho systému na danou změnu. Tato odezva často probíhá obráceně, než bychom intuitivně očekávali. Pojem „protiintuitivní“ pro vyjádření našeho zklamání byl zaveden na MIT*: „Ta zatracená věc vůbec nefunguje, jak by měla!“ Abychom se přidrželi klasického příkladu uvedeného Waddingtonem, plán asanace špinavé a přelidněné čtvrti vede k situaci horší, než byla na počátku. Nové budovy přitahují do oblasti velký počet osob, ale pokud zde pro tyto osoby není dostatek zaměstnání, zůstávají chudé a jejich příbytky jsou ještě přeplněnější.¹⁵ Jsme školeni uvažovat v pojmech lineární příčinnosti, ale potřebujeme nové „nástroje“ myšlení. Jedním z největších přínosů modelů je právě to, že nám tyto nástroje pomáhají objevovat a učí nás, jak je užívat.

Jak stále zdůrazňujeme, „evoluční rovnice“ jsou nejvýznamnější v případech, kdy je rozhodujícím rozměrem růst společnosti, a to ať jde o živočichy, činnosti nebo zvyky. Vychází se z předpokladu, že každý člen daného společenství je rovnocenný, stejný jako ostatní. Na tuto obecnou rovnost však nelze pohlížet jako na jednoduchou obecnou skutečnost, ale jako na přiblížení, jehož platnost závisí na omezeních a tlacích, jimž je toto společenství vystaveno, a na taktice, kterou používá k tomu, aby se s nimi vyrovnalo.

Vezměme například rozdíly, které mezi taktikami popsány konstantami K a r navrhli ekologové. Tyto konstanty souvisí s parametry „evoluční rovnice“. Přesto, že je jejich rozdíl jen relativní, je zvláště zřetelný, když znázorňuje rozdíly dvou společenství vyplývající z jejich soustavného vzájemného ovlivňování, především typu kořist – dravec. Z tohoto pohledu bude pro vývoj společenství „kořisti“ typický nárůst plodnosti r . Vývoj dravce bude směřovat k účinnějším formám lovu kořisti, tedy směrem k zvýšení hodnoty K . Ale toto zlepšování, definované v strukturálním systémovém duchu, může mít často důsledky sahající hlouběji, než jsou situace popsané evolučními rovnicemi.

* MIT - Massachusetts Institute of Technology, prestižní vysoká škola technická v USA (pozn. překl.)

Stephen J. Gould poznamenal,¹⁶ že taktika vyplývající z vlastnosti činitele K znamená stále větší schopnost jednotlivců poučit se ze zkušenosti a uchovávat vzpomínky, tedy složitější jedince s delší dobou dospívání a učení. To naopak znamená jak „hodnotnější“ jedince (ve smyslu většího biologického vkladu), tak jedince vyznačující se delším obdobím zranitelnosti. Vývoj „sociálních“ a „rodinných“ vazeb se tak jeví jako logický protějšek „ K -taktiky“. Vycházejí z tohoto stanoviska se ostatní činitelé vedle pouhého počtu jednotlivců ve společenství stávají významnějšími a evoluční rovnici počtem jedinců měřený úspěch se stává zavádějším. Je to příklad toho, co činí modelování tak choulostivým a riskantním. Ve složitých systémech mohou být jak definice celků, tak i jejich vzájemné působení změněny vývojem. Nejen každý stav systému, ale i samotná definice modelovaného systému je obecně nestálá nebo přinejmenším metastabilní.

Dospíváme tak k problémům, kdy metodologii nelze oddělit od otázek, jež klademe přírodě po podstatě zkoumaných objektů. Nelze se ptát stejně na populaci much, které se množí a umírají v milionech, aniž se viditelně poučí či zvětší své zkušenosti, a na společenství primátů, kde je každý jedinec spleť vlastních zkušeností a znalostí a tradic populací, v nichž žije.

Zjišťujeme, a to v rámci samotné antropologie, že musí být proveden základní výběr mezi různými přístupy k jevům souvisejícím s kolektivním chováním. Je například dobře známo, že strukturální antropologie zvýhodňuje ty rysy společnosti, ve kterých lze užít nástrojů logiky a matematiky – rysy, jako jsou základní struktury příbuzenství nebo rozbor mýtů, jejichž přeměny jsou často přirovnávány k růstu krystalů. Počítají se a spojují nespojitě prvky, což kontrastuje s přístupy, které rozebírají vývoj v pojmech procesů zahrnujících rozsáhlá, zčásti chaotická společenství. Zabýváme se dvěma odlišnými přístupy a dvěma typy modelů: Lévi-Strauss definoval jedny jako „mechanické“ a druhé jako „statistické“. V mechanickém modelu „jsou prvky řádově stejné jako jevy“ a chování jedince je založeno na předpisech vztahujících se k organizační struktuře společnosti. Antropolog pracuje s logikou tohoto chování. Naopak sociolog pracuje se statistickými modely velkých společenství a určuje průměry a meze.¹⁷

Společnost zcela definovaná pojmy funkčního modelu odpovídá aristotelovské myšlence přírodního uspořádání a řádu. Každý úředník vykonává povinnosti, kterými byl pověřen. Tyto povinnosti tlumočí na každé úrovni rozdílné rysy uspořádání společnosti jako celku. Král dává příkazy architektovi, architekt dodavateli, dodavatel dělníkům. Všude je v činnosti „řídící mozek“. Naopak termítí a jiný společenský

hmýz se, jak se zdá, blíží „statistickému“ modelu. Zdá se, že se stavbou termítích hnízd, kdy vzájemné ovlivňování jedinců vytváří za určitých okolností jistý typ kolektivního chování, nespočívá žádný „řídící mozek“, ani žádné z těchto vzájemných ovlivňování nemá obecný význam, ale pouze místní charakter. Takový popis nutně obsahuje průměry a znovu zavádí otázku stability a bifurkací.

Jaké události potlačí a jaké ovlivní celý systém? Jaké jsou výběrové stavy a jaké jsou oblasti stability? Protože velikost nebo hustota systému mohou být bifurkačním parametrem, jak může čistě kvantitativní růst vést ke kvalitativně novým volbám? Takové otázky nutně vyžadují citlivý program. Podobně jako „ r a K taktiky“ nás vedou k tomu, abychom spojovali výběr „dobrého“ modelu sociálního chování a dějin. Jak vývoj společenství vede k tomu, aby se populace stala „mechaničtější“? Tato otázka zdá se paralelou k otázce, se kterou jsme se již setkali v biologii. Jak například výběr genetické informace řídící rychlosti a průběhy metabolických reakcí zvýhodňuje určité průběhy do té míry, že vývoj se zdá účelný a funkční nebo vypadá jako tlumočení „poselství“?

Věříme, že modely podněcené představou „fluktuacemi k řádu“ nám s těmito otázkami pomohou a že za jistých okolností přispějí k přesnější formulaci složitě vzájemné závislosti individuálních a kolektivních rysů chování. Z fyzikova hlediska to znamená rozlišovat mezi stavy systému, ve kterém je na jedné straně veškerá iniciativa jednotlivců odsouzena k bezvýznamnosti, a oblastmi bifurkací, ve kterých jedinec, myšlenka či nové chování mohou změnit celkový stav. Ale i v těchto oblastech nenastává zesílení zásluhou libovolného jedince, myšlenky či chování, ale pouze těch, kteří jsou „nebezpeční“, tedy těch, kteří mohou ve svůj prospěch těžit z výhod nelineárních vztahů zaručujících stabilitu předešlého stavu. Dostáváme se tak k závěru, že *tytéž* nelinearity mohou vytvořit řád z chaosu elementárních dějů a přitom, za odlišných okolností, odpovídat za zničení téhož řádu, případně za další rozvětvení (bifurkací) a vytvoření nové souvislosti.

Modely „fluktuacemi k řádu“ zavádějí nestabilní svět, ve kterém malé příčiny mohou mít velké následky, ale tento svět není jakýkoli. Naopak příčiny zesílení malé události jsou rozumným námětem racionálního zkoumání. Fluktuace nezpůsobují přeměnu činnosti systému. Samozřejmě, abychom užili obrazu vyvolaného Maxwellem, zápalka je původcem lesního požáru, ale odkaz na zápalku nestačí k pochopení ohně. Navíc skutečnost, že fluktuace se vymykají kontrole, neznamená, že nejsme schopni objevit příčiny nestability, kterou jejich zesílení vyvolá.

Otevřený svět

Při složitosti zde nastolených otázek se jen stěží vyhneme tvrzení, že způsob, jakým byl biologický a společenský vývoj tradičně vysvětlován, představuje obzvlášť nešťastné užití představ a metod vypůjčených z fyziky¹⁸ – nešťastné proto, že oblast fyziky, v níž tyto představy a metody platí, je omezená, a tak jsou podobnosti mezi nimi a společenskými nebo ekonomickými jevy naprosto neopodstatněné.

Nejlepším příkladem toho je paradigma optimalizace. Je očividné, že vedení a správa lidské společnosti stejně jako působení určitých tlaků vedou k optimalizaci některých rysů chování nebo způsobů propojení, ale považovat optimalizaci za klíč k pochopení toho, jak populace a jednotlivci přežívají, znamená nebezpečí záměny příčin a následků.

Optimalizační modely tak opomíjejí jak možnost radikálních přeměn, tedy přeměn měnicích definici problému, a tudíž část hledaného řešení, ale i setrvačné „tlaky“, které mohou přivést systém ke katastrofě. To nám, podobně jako doktríny o neviditelné ruce Adama Smithe, či jiné definice vývoje užívající maximalizačních či minimalizačních měřítek, dává uklidňující představu přírody jako všemocného a rozumného počtáře a „souvisle a stejnoměrně probíhajících“ dějin vyznačujících se všeobecným pokrokem. K obnovení jak setrvačnosti, tak i možnosti nepředvidatelných událostí, tj. k obnovení otevřeného charakteru dějin musíme přijmout jejich zásadní neurčitost. Jako symbol zde můžeme užít zjevně náhodné vyhynutí živočišných druhů, k němuž došlo v druhohorách v období křídy a které připravilo půdu pro vývoj savců, malé skupiny tvorů podobných krysám.¹⁹

Jde zde o obecný popis, pohled z ptačí perspektivy, který opomíjí mnoho velmi zajímavých námětů: například plameny, plazma a lasery, tedy nerovnovážné jevy velkého teoretického a praktického významu. Kamkoliv se podíváme, nalézáme rozmanitost přírody a inovace. Vývoj koncepcí, který jsme popsali, je ukryt v širších souvislostech, v dějinách postupného znovuoobjevování času.

Poznali jsme nová pojetí času, který je postupně začleňován do fyziky, zatímco v klasické vědě neodmyslitelné sny o všemohoucí vědě byly postupně zavrženy. V této kapitole jsme přešli od fyziky přes biologii a ekologii k lidské společnosti, ale mohli bychom postupovat i opačným směrem. Dějiny vlastně začaly soustředěním se na lidská společenství a teprve poté byla pozornost věnována časovému rozměru života a geologie. Zahrnutí času do fyziky se tak zdá být posledním

stupněm postupného znovuuvedení historie do přírodních a společenských věd.

Kupodivu ve všech obdobích tohoto procesu byl rozhodujícím rysem „historizace“ objev nějaké časové nesourodosti. Západní společnost se již od doby renesance střetávala s různými společenstvími, jimž byly přisuzovány různé stupně vývoje. Biologie a geologie devatenáctého století se učily objevovat a určovat zkameněliny a rozpoznávat v krajině památky minulosti, vedle nichž žijeme; fyzika dvacátého století také objevila druh „zkameněliny“, zbytkové záření „černého tělesa“, které nám vypráví o počátcích vesmíru. Dnes víme, že žijeme ve světě, ve kterém vedle sebe existují různé vzájemně do sebe zapadající časy a „zkameněliny“ mnoha minulých období.

Přejdeme nyní k další otázce. Řekli jsme, že život se začíná zdát „tak přirozený jako padající těleso“. Co společného má samouspořádávání v přírodě s padajícím tělesem? Jaké souvislosti mohou spojit dynamiku, vědu o síle a trajektorii, a vědu o složitosti a změně, vědu o živých dějích, a přirozený vývoj, jehož jsou součástí? Na konci devatenáctého století byla nevratnost spojována s vlastnostmi tření, viskozity a tepla. Nevratnost byla původcem energetických ztrát a odpadů. V té době bylo stále možné plně souhlasit s fikcí, že nevratnost je pouze výsledkem naší neznalosti, našich nedůmyslných strojů a že příroda zůstala obecně vratná. Nyní již tento názor možný není. Dnes i fyzika učí, že nevratné děje mají tvořivou a nepostradatelnou úlohu.

Tak dospíváme k otázce, již nelze uniknout. Jaký je vztah této nové vědy o složitosti a vědy o jednoduchém, prostém chování? Jaký je vztah těchto dvou protichůdných pohledů na přírodu? Existují dvě nauky, dvě pravdy pro jediný svět? Jak je to možné?

V jistém smyslu jsme se vrátili na počátek moderní vědy. Dnes, stejně jako v Newtonově době, se střetávají dvě učení: věda o přitažlivosti, popisující věčnou přírodu podřízenou zákonům, a věda o ohni, chemie. Nyní chápeme, proč nebylo možné, aby první syntéza vytvořená vědou, newtonovská syntéza, byla úplná. Síly vzájemného působení popisované dynamikou nemohou složitě a nevratně chování hmoty vysvětlit. *Ignis mutat res*. Podle tohoto klasického latinského rčení jsou chemické struktury ohnivá stvoření, výsledky nevratných dějů. Jak lze překlenout rozpor mezi bytím a „stáváním se“ – mezi dvěma protichůdnými pojetími, která jsou nicméně nezbytná, abychom mohli podat logicky promyšlený popis podivného světa, ve kterém žijeme?

Kniha 3 OD BYTÍ K NASTÁVÁNÍ

Kapitola 7 **Znovuobjevení času**

Změna důrazů

Whitehead napsal, že „střetnutí doktrín není pohromou, je příležitostí“.¹ Je-li toto tvrzení pravdivé, bylo v dějinách vědy jen málo tak nadějných příležitostí: střetnutí dvou světů, světa dynamiky a světa termodynamiky.

Výsledkem byla newtonovská věda, syntéza uzavírající staletí pokusů a sblížující se směry teoretického výzkumu. Totéž platí i pro termodynamiku. Vlastní rozvoj vědy se zcela liší od rozvoje jednotlivých oborů, které se s rozvojem poznání rychle rozdělují v rostoucí množství tematicky odlišných částí. Naproti tomu sblížování rozdílných problémů a hledisek může prolomit hranice mezi obory a rozvířít vědecké názory. Důsledky takové situace sahají za hranice vědy a ovlivňují veškerý intelektuální svět. Naopak globální problémy často bývají pro vědu zdrojem inspirace.

Střetnutí doktrín, spor mezi existujícím a nastávajícím, naznačuje, že bylo dosaženo rozhodujícího obratu a že je nutná nová syntéza. K takovéto syntéze v současné době dochází, jakkoli je neočekávaná jako syntézy předchozí. Znovu probíhá pozoruhodné sblížování jednotlivých oblastí výzkumu, kdy všechny přispívají k odkrývání vnitřních obtíží newtonovského pojetí vědecké teorie.

Cílem newtonovské vědy bylo ukázat přírodu, která by byla obecná, deterministická a objektivní potud, že je nezávislá na pozorovateli, a úplně tak, že popis nezávisí na čase.

Dospěli jsme k jádru problému. „Co je čas?“ Máme přijímat protiklad Kantova tradičního pojetí statického času klasické fyziky, anebo existenciální čas, který prožíváme? Podle Camapa:

„Einstein řekl, že ho problém současnosti odedávna znepokojoval. Vysvětloval, že zkušenosti současnosti jsou pro jedince něčím zvláštním, něčím naprosto odlišným od zkušenosti minulosti či budoucnosti, a že tento významný rozdíl se neobjevuje a nemůže objevit ve fyzice. A že tato zkušenost vědě nedostupná se mu jeví jako bolestná, ale nevyhnutelná rezignace. Poznamenal jsem, že vše, k čemu objektivně dochází, lze vědou popsat. Na jedné straně popisuje události fyzika a na druhé straně lze charakteristické rysy lidských zážitků a prožitků v průběhu času, a to včetně rozdílných přístupů člověka k minulosti, současnosti a budoucnosti popsat (a v principu vysvětlit) psychologii. Einstein však mnil, že tyto vědecké popisy nemohou dostatečně uspokojit naše lidské potřeby a že v „současnosti“ existuje něco zvláštního, co se nachází právě mimo oblast vědy.“²

Je zajímavé, že i Bergson, který se v určitém smyslu ubíral opačným směrem, dospěl k dualistickému závěru (viz kapitola 3). Bergson podobně jako Einstein vycházel ze subjektivního času, a pak se přiklonil k času v přírodě, k času objektivizovanému fyzikou. Tato objektivizace ho však dovedla k vyvrácení času. Vnitřní existenciální čas má vlastnosti, které se v ději ztrácejí. A to bylo popudem k tomu, že Bergson odlišil fyzikální čas od trvání, pojmu, který se vztahuje k existenciálnímu času.

Zde se však nemůžeme zastavit. Jak říká J. T. Fraser: „Výsledná dichotomie pocívaného a chápaného času je charakteristickým znakem vědecko-průmyslové společnosti, druhem hromadné schizofrenie.“³ Již jsme upozorňovali, že tam, kde klasická věda zdůrazňovala trvání, nacházíme nyní změnu a vývoj. Na hvězdné obloze již nevidíme trajektorie, které Kantovo srdce plnily stejným obdivem jako morální zákon v něm. Nyní vidíme podivné objekty – kvazary, pulzary, galaxie, které vybuchují a rozpadají se, hvězdy, které údajně mizí v černých děrách, nevratně pohlcujících vše, co se jim podaří polapit.

Čas nepronikl jen do biologie, geologie a společenských věd, ale i do dvou oblastí, z nichž byl tradičně vylučován – do oblasti mikrosvěta a kosmu. Nejen život, ale i vesmír jako celek má dějiny, a toto zjištění má vážné důsledky.

Einstein publikoval první teoretickou práci zabývající se vesmírným modelem z hlediska obecné teorie relativity v roce 1917. Ukazovala statickou, bezčasovou představu vesmíru, Spinozovy vize přeložené do fyziky. Ale pak došlo k neočekávanému. Bylo očividné, že existovala další, časově závislá řešení Einsteinových kosmologických rovnic. Za tento objev vděčíme ruskému astrofyzikovi A. Friedmannovi a Belgičanu G. Lemaitreovi. V téže době Hubble a jeho spolupracovníci zkou-

malí pohyby galaxií a přitom ukázali, že rychlost vzdálených galaxií je úměrná jejich vzdálenosti od Země. Souvislost s rozpínajícím se vesmírem, jak ho objevili Friedmann s Lemaitrem, byla zřejmá. Nicméně fyzikové se ještě po mnoho let zdráhali takový „historický“ popis vývoje vesmíru přijmout. I sám Einstein byl opatrný. Lemaitre často říkal, že když se s Einsteinem pokoušel diskutovat o možnosti, jak podrobněji popsat počáteční stav vesmíru a případně v něm nalézt vysvětlení kosmického záření, Einstein nejevil zájem.

Dnes je dokázáno „reliktní záření“*, „světlo, které osvětlovalo výbuch superhusté ohnivé koule, ze které náš vesmír vzešel“. Je ironií dějin, že Einstein se proti své vůli stal v určitém smyslu Darwinem fyziky. Darwin nás učil, že člověk je článkem biologického vývoje; Einstein nás učil, že jsme článkem vyvíjejícího se vesmíru. Tyto myšlenky Einsteina zavedly do zcela nové oblasti, pro Einsteina stejně neočekávané, jako byla Amerika pro Kolumba. Podobně jako mnoho fyziků své generace byl Einstein veden hlubokým přesvědčením, že v přírodě existuje základní, jednoduchá úroveň. Avšak tato úroveň se dnes pro experimentální poznání stává stále méně a méně dostupnou. Jediné útvary, které se chovají doopravdy „jednoduše“, existují v našem vlastním světě, tedy na makroskopické úrovni. Klasická věda své útvary v této oblasti pečlivě vybírala. První útvary vybrané Newtonem (pádající tělesa, kyvadlo, pohyb planet) byly jednoduché. Dnes však víme, že tato jednoduchost není známkou toho, co je základní, a že ji nelze přisuzovat zbytku světa.

Stačí to? Nyní víme, že stabilita a jednoduchost jsou výjimkami. Měli bychom pominout všezahrnující nároky konceptualizace, kterou lze použít jen pro jednoduché a stabilní útvary? Proč se trápit neslučitelností dynamiky a termodynamiky?

Nezapomínejme na Whiteheadova slova, která dějiny vědy neustále potvrzují. Střetnutí doktrín je příležitostí, nikoli pohromou. Často se naznačuje, že některé problémy jsou opomíjeny jen z *praktických* důvodů, protože souvisí s idealizací, kterou je obtížné uskutečnit. Na počátku tohoto století někteří fyzikové navrhovali determinismus opus-

* Vesmír byl po svém vzniku velmi malý, horký a hustý. Záření bylo provázáno s hmotou a hmota se zářením se vzájemně ovlivňovaly. Teprve asi $7 \cdot 10^3$ let po vzniku vesmíru záření s hmotou ochladly natolik, že vzájemné působení přestalo. „Záření“ potom chladlo na dnešní teplotu 2,7 K. Záření, které nazýváme reliktním, bylo objeveno A. Penziasem a R. Wilsonem v roce 1965 a jeho existence je jedním z klíčových důkazů horkého počátku vesmíru. (pozn. překl.)

tit, protože v reálné zkušenosti se s ním nelze setkat.⁴ A jak jsme již zdůraznili, přesné polohy a rychlosti molekul v rozsáhlém systému nikdy nepoznáme. Přesná předpověď budoucího vývoje systému je proto nemožná. Brillouin doufal, že zničí determinismus odkazy na obecnou pravdivost skutečnosti, že přesná předpověď vyžaduje dokonalé poznání počátečních podmínek a že toto poznání musí být zapláceno. Pro přesnou předpověď je nezbytný funkční determinismus, jehož cena je „nekonečná“.

Tyto námitky, i když jsou rozumné, neovlivňují pojetí světa dynamiky. Nové světlo nevrhají ani na realitu. Nicméně pokroky techniky nás mohou přivést blíže k idealizaci použité v klasické dynamice.

Naopak zásadní význam mají ukázky „nemožnosti“. Předpokládají objev „*neočekávané vnitřní struktury skutečnosti*“, která odsuzuje k neúspěchu intelektuální činnost. Takové objevy nepřipouštějí možnost operací, které dříve mohly být pokládány alespoň principiálně za proveditelné. Výroky typu „žádný stroj nemá účinnost větší než jedna“, „žádný tepelný motor nemůže konat práci, pokud není ve spojení s dvěma výměníky“* jsou příklady výroků o nemožnosti, které vedly k hlubším změnám přístupu.

Termodynamika, relativita a kvantová mechanika jsou založeny na odkryvání nemožností a hranic úsilí klasické fyziky. Vyznačují konec bádání, jež dosáhlo svých mezí. V současnosti se však tyto vědecké poznatky ukazují v jiném světle, neznamenají již konec, ale počátek nových možností. V kapitole 9 uvidíme, že druhá věta termodynamiky popisuje „nemožnost“ dokonce na mikroskopické úrovni, ale i to, že nově objevená nemožnost se stává východiskem pro nová pojetí.

Konec univerzality

Vědecký popis musí být v souladu se zdroji dostupnými pozorovateli ze světa, který popisuje, a nemůže se odvolávat na nějakou bytost, která o fyzikálním světě přemýšlí „zvenčí“. To je jeden ze základních požadavků teorie relativity. V souvislosti se šířením signálů se objevuje mez, kterou žádný pozorovatel nemůže překročit. Rychlost šíření svět-

* Jde o populární vyjádření druhé věty termodynamiky, jejíž obvyklá znění např. jsou: Clausius: „Teplo nemůže samovolně přecházet ze studenějšího tělesa na teplejší.“ Thomson: „Je nemožné trvale a cyklicky vykonávat práci pouze tím, že bychom ochlazovali jedno těleso na teplotu nižší, než je teplota nejjednodušší části jeho okolí.“ (pozn. překl.)

la ve vakuu c (300 000 000 m/s) je skutečně mezní rychlostí šíření všech signálů. Proto má tato mezní rychlost zásadní význam. Omezuje oblast v prostoru, která může ovlivnit místo, v němž se pozorovatel nachází.

V newtonovské fyzice žádná univerzální konstanta není. Je to důvod jejího tvrzení o univerzalitě, příčina toho, že může být nezávisle na velikosti objektů užívána vždy stejným způsobem: pohyb atomů, planet a hvězd je určen jediným zákonem.

Objev univerzálních konstant vyznačuje zásadní změnu. Fyzika užitím rychlosti světla jako „srovnávacího normálu“ zavedla rozlišování nízké a vysoké rychlosti (blížíci se rychlosti světla).

Podobně Planckova konstanta h^* zavádí přirozené měřítko v závislosti na hmotnosti. Na atom již nelze pohlížet jako na drobounký planetární systém. Elektronů mají jiné „měřítko“ než planety a jiné těžké, pomalu se pohybující makroskopické objekty včetně nás.

Univerzální konstanty nejen že narušují homogenitu vesmíru zavedením fyzikálních měřítek, jimiž se různá „chování“ stanou kvalitativně odlišitelnými, ale vedou i k novému pojetí objektivnosti. Žádný pozorovatel nemůže vysílat signál větší rychlostí, než je rychlost světla ve vakuu. S tím souvisí i Einsteinův pozoruhodný závěr: nadále již nejsme schopni určovat absolutní současnost dvou vzdálených událostí; současně je lze definovat jen v rámci dané souřadnicové soustavy. Rozsah této knihy bohužel hlubší výklad teorie relativity neumožňuje. Zdůrazněme pouze, že Newtonovy zákony nepředpokládaly, že pozorovatelem je „fyzikální bytost“. Objektívni popis byl přesně definován jako neexistence jakéhokoliv vztahu k jeho autorovi. Pro „nefyzikální“ inteligentní bytosti schopné dorozumívání nekonečně velkou rychlostí by zákony teorie relativity byly bezvýznamné. Skutečnost, že relativita je založena na omezeních, kterých užívá jen vůči fyzikálně zjištěným pozorovatelům, bytostem, které mohou být v daném čase jen v jednom místě a nikoliv všude, dává této teorii „lidský rozměr“. Neznamená to však, že jde o „subjektivní“ teorii, o výsledek našeho upřednostňování a přesvědčení. Podvoluje se jen vnitřním omezením, jež nás ztotožňují s částí fyzikálního světa, který popisujeme. Je to fyzika, která předem předpokládá pozorovatele umístěného uvnitř pozorovaného světa. Dialog s přírodou bude úspěšný pouze tehdy, bude-li veden zevnitř přírody.

* přibližně $6,625 \cdot 10^{-34}$ J.s, určuje velikost energie fotonu, tj. světelného kvanta v závislosti na jeho vlnové délce. V Bohrově modelu atomu vodíku (jádro, kolem kterého po kruhových drahách obíhají elektrony) lze pomocí h určit energii jednotlivých elektronů na atomových hladinách. (pozn. překl.)

Nástup kvantové mechaniky

Teorie relativity změnila klasické pojetí objektivitu, přestože ponechala další základní vlastnost klasické fyziky, totiž její touhu dosáhnout „úplného“ popisu přírody, nezměněnu. Po odvození teorie relativity se již fyzikové nemohli odvolávat na démona pozorujícího celý svět „zvenčí“, ale nadále si mohli představovat vynikajícího matematika, který, jak tvrdil Einstein, nešvindluje ani nehraje kostky. Tento matematik by vlastnil vzorec vesmíru, který by zahrnoval úplný popis přírody. Teorie relativity v tomto smyslu zůstává pokračováním klasické fyziky.

Naopak kvantová mechanika je skutečně první fyzikální teorií, která doopravdy zúčtovala s minulostí. Kvantová mechanika nás nejen umísťuje do přírody, ale označuje nás i jako „těžké“ bytosti vytvořené z „makroskopického“ množství atomů. Einstein k tomu, aby jasněji ozřejmil důsledek rychlosti světla* jako univerzální konstanty, představoval sebe sama jako jedoucího na fotonu. Kvantová mechanika však objevila, že na to, abychom se na fotonech nebo elektronech projížděli, jsme příliš těžcí. My patrně nemůžeme nahradit takové éterické bytosti, ztotožňovat se s nimi, popisovat, co by si myslely, pokud by byly schopny myšlení, a co by prožily, pokud by měly cit.

Dějiny kvantové mechaniky jsou podobně jako dějiny všech změn pojetí složité, plné nečekanych událostí. Jsou to dějiny logiky, jejíž důsledky byly objeveny dlouho poté, co byla na základě experimentů a v složitém politickém a kulturním prostředí formulována.⁵ Tyto dějiny zde nelze popisovat, chceme jen zdůraznit jejich úlohu jako mostu mezi bytím a vznikáním, což je náš hlavní námět.

Sám zrod kvantové mechaniky byl částí hledání tohoto mostu. Plancka zajímalo vzájemné působení hmoty a záření. Za jeho první práci byla snaha popsat vzájemné působení „hmoty a záření“, podobně jako to Boltzmann učinil při vzájemném působení „hmoty s hmotou“ – totiž objevit kinetický model nevratných dějů vedoucích k rovnováze.⁶ Aby dosáhl platnosti svých experimentálních výsledků i za stavu tepelné rovnováhy, byl ke svému překvapení nucen předpokládat, že výměna energie mezi hmotou a zářením probíhá jen v diskretních krocích** obsahujících novou univerzální konstantu. Tato univerzální konstanta „ h “ je mírou „velikosti“ každého kroku.

* ve vakuu (pozn. překl.)

** v kvantech (pozn. překl.)

V tomto případě, stejně jako v mnoha jiných, vedl problém nevratnosti k rozhodujícímu pokroku ve fyzice.

Planckův objev zůstal osamocen až do chvíle, kdy Einstein poprvé vyložil obecný význam Planckovy konstanty a pochopil, že má pro podstatu světla dalekosáhlé důsledky. Zavedl revoluční pojem – dualitu vlastností světla.

Vlastnosti světla byly od počátku devatenáctého století spojovány s vlastnostmi vln projevujících se v jevech, jako je lom paprsků nebo interference. Avšak na konci devatenáctého století byly objeveny nové jevy. Z nich je zvláště pozoruhodný fotoelektrický jev, při kterém dochází k uvolnění elektronů následkem pohlcování světla. Vysvětlit tyto nové experimentální výsledky klasickými vlnovými vlastnostmi světla bylo obtížné. Einstein rébus vyřešil předpokladem, že světlo může být jak vlnou, tak částicí a že tyto dvě podoby jsou spojeny Planckovou konstantou. Přesněji, světelná vlna je popsána svou frekvencí ν a vlnovou délkou λ . Planckova konstanta h nám umožňuje přecházet od frekvence a vlnové délky k mechanickým veličinám, jako je energie ϵ a hybnost p . Vztahy mezi ν a λ na jedné straně a ϵ a p na straně druhé jsou velmi jednoduché: $\epsilon = h\nu$, $p = h/\lambda$ a oba obsahují h . Louis de Broglie o dvacet let později rozšířil tento vlnově-částicový dualismus ze světla na hmotu; tím byl dán základ moderní kvantové mechanice.

Niels Bohr v roce 1913 spojil novou kvantovou fyziku se strukturou atomů (a později molekul). Jako výsledek vlnově-částicové duality ukázal existenci diskretních hladin elektronů. Je-li atom vybuzen, elektron přechází z jedné hladiny na druhou. Elektron přitom emituje nebo pohlcuje foton (světelné kvantum), jehož frekvence odpovídá rozdílu energií příslušejících pohybu elektronu na těchto hladinách. Tento rozdíl je zahrnut v Einsteinově rovnici spojující energii a frekvenci.

A tak jsme dosáhli rozhodujícího období let 1925–1927, „zlatého věku“ fyziky.⁷

V průběhu této krátké doby Heisenberg, Born, Jordan, Schrödinger a Dirac vybudovali kvantovou fyziku v novou ucelenou teorii. Tato teorie začlenila Einsteinovu a de Broglieovu vlnově-částicovou dualitu do kostry nového zobecněného pojetí dynamiky, kvantové mechaniky. Pro naše účely je zásadní novost pojetí kvantové mechaniky.

Nejprve a především bylo třeba zavést v klasické fyzice neznámé nové formulace, které by umožnily včlenit „kvantování“ do teoretického jazyka. Základní myšlenkou kvantování je skutečnost, že energetické hladiny atomu mohou být pouze diskretní a odpovídají jednotlivým

drahám elektronů. Zvláště to znamená, že energie (nebo hamiltonián) již nadále není pouhou funkcí polohy a hybnosti, jak je tomu v klasické mechanice. Pokud bychom polohám a hybnostem přisuzovali nepatrně pozměněné hodnoty, energie by se mohla měnit spojitě. Pozorování však ukazují, že existují pouze diskrétní hladiny.

Proto musíme nahradit obvyklou představu, že hamiltonián je funkcí polohy a hybnosti něčím novým. Základní myšlenkou kvantové mechaniky je, že hamiltonián, stejně jako ostatní veličiny klasické mechaniky, jakými jsou například souřadnice q nebo hybnosti p , jsou *operátory*. Je to jedna z nejmělejších představ, které byly zavedeny do vědy, a proto bychom se o ní rádi zmínili podrobněji.

Přesto, že se tato představa zdá na první pohled velice abstraktní, je jednoduchá. Musíme rozlišovat operátor-matematickou operaci - a předmět, na který působí - funkci. Jako příklad si uveďme matematický „operátor“ vyjadřující derivaci jako d/dx a předpokládejme, že působí například na funkci x^2 . Výsledkem této operace je *nová* funkce, tentokrát „ $2x$ “. Určité funkce se však vůči derivaci chovají podivně. Například derivaci „ e^{3x} “ je „ $3e^{3x}$ “, vracíme se tedy k původní funkci vynásobené jen nějakým číslem, v našem případě „ 3 “. Funkce, které jsou po působení daného operátoru znovu „obnoveny“, se nazývají „vlastními (charakteristickými) funkcemi“ tohoto operátoru a čísla, kterými je vlastní funkce po působení operátoru násobena, jsou „vlastní (charakteristické) hodnoty“ operátoru.

Každému operátoru tedy odpovídá soubor, „zásobník“ čísel, a vytváří jeho „spektrum“. Toto spektrum je „diskrétní“ v případě, že vlastní hodnoty vytvářejí „diskrétní“ řadu. Existuje například operátor, jehož vlastními hodnotami jsou všechna celá čísla $0, 1, 2, \dots$. Spektrum může být též spojitě, například tvoří-li ho všechna čísla mezi „nulou“ a „jedničkou“.

Základní pojetí kvantové mechaniky lze tedy vyjádřit následovně: všem fyzikálním veličinám z klasické mechaniky odpovídá v kvantové mechanice operátor a číselné hodnoty, kterých tato fyzikální veličina může nabývat, jsou vlastními hodnotami tohoto operátoru. Zásadním bodem je skutečnost, že představa fyzikální veličiny (vyjádřená operátorem) je nyní odlišná od představy její číselné hodnoty (vyjádřené vlastními hodnotami operátoru). Energii nyní bude představovat Hamiltonův operátor a energetické hladiny, tedy pozorované hodnoty energie, budou ztotožněny s vlastními hodnotami tohoto operátoru.

Zavedení operátorů zpřístupnilo fyzice netušeně bohatý mikrosvět a mrzí nás, že tomuto úchvatnému námětu, ve kterém se tak úspěšně prolínají tvořivá představivost a experimentální výsledky, nemůžeme

věnovat více prostoru. Chtěli bychom zde zdůraznit, že mikrosvět je ovládan zákony s novou strukturou: jednou provždy tudíž skončily všechny naděje na objevení jednoduchého schématu společného všem úrovním popisu.

Nový matematický jazyk vyvinutý k vypořádání se s určitou situací může skutečně zpřístupnit oblasti bádání, které jsou plny překvapení daleko přesahujících očekávání jeho původců. Splnilo se to u diferenciálního počtu, který se stal základem odvození zákonů klasické dynamiky, a platí to i pro operátorový počet. Kvantová teorie podníce ná výsledky neočekávaných experimentálních objevů záhy rychle ukázala, že přináší nový obsah.

V současné době, více než padesát let po zavedení operátorů do kvantové mechaniky, zůstává jejich význam nadále obsahem živé diskuse. Z historického hlediska je zavedení operátorů spojeno s existencí energetických hladin, ale dnes jsou užívány i v klasické fyzice. Naznačuje to, že jejich význam se rozšířil za hranice očekávání zakladatelů kvantové mechaniky. Operátory nyní přicházejí ke slovu, jakmile představa dynamické trajektorie musí být - ať z toho či onoho důvodu - zavržena; zároveň je zahrnut i deterministický popis trajektorie.

Heisenbergovy vztahy neurčitosti

Viděli jsme, že v kvantové mechanice každé fyzikální veličině odpovídá operátor působící na příslušnou funkci. Zvláštní význam mají vlastní funkce a vlastní hodnoty příslušející danému operátoru. Vlastní hodnoty přesně odpovídají číselným hodnotám, kterých fyzikální veličina může nabýt. Podívejme se podrobněji na operátory, které kvantová mechanika přiřazuje souřadnicím q a hybnostem p . Jejich „souřadnicemi“ jsou, jak jsme viděli v kapitole 2, kanonické proměnné.

V klasické mechanice jsou souřadnice a hybnosti nezávislé v tom smyslu, že souřadnici lze číselnou hodnotu přiřadit zcela nezávisle na hodnotě, kterou jsme přiřadili hybnosti. Existence Planckovy konstanty h však znamená snížení počtu nezávislých proměnných. Tuto skutečnost bychom mohli odhadnout i přímo z Einsteinova-de Broglieova vztahu $\lambda = h/p$, který, jak jsme viděli, spojuje vlnovou délku s hybností. Planckova konstanta h vyjadřuje vztah mezi délkou (úzce spjatou se souřadným systémem) a hybností. Polohy a hybnosti tak nadále nemohou být na rozdíl od klasické mechaniky nezávislými proměnnými. Operátory příslušející polohám a hybnostem lze vyjádřit buď jen

v souřadnicích, nebo v hybnostech, přičemž podrobnosti jsou vysvětleny ve všech učebnicích kvantové mechaniky.*

Významné je, že ve všech těchto případech se objeví vždy jen jeden druh veličiny (buď souřadnice, nebo hybnost), ale nikdy obě veličiny zároveň. Lze říci, že kvantová mechanika dělí počet proměnných známých z klasické mechaniky na polovinu.

Ze základních vlastností vyplývá pro vztah mezi operátory kvantové mechaniky jedna zásadní vlastnost: dva operátory q_{op} a p_{op} navzájem *nekomutují*. Výsledek působení operátorů $q_{op} p_{op}$ a $p_{op} q_{op}$ na danou funkci je tedy jiný. Tato vlastnost má závažné důsledky, neboť „společným“ vlastním funkcím vyhovují jen komutující operátory. Znamená to, že nemůžeme najít funkci, která by byla vlastní funkcí jak operátoru souřadnic, tak hybnosti. Důsledkem definice operátoru souřadnic a hybnosti v kvantové mechanice je, že neexistuje stav, ve kterém by fyzikální veličiny, souřadnice q a hybnost p , měly obě přesně určenou hodnotu. Tato situace, v klasické mechanice neznámá, je vyjádřena známým Heisenbergovým vztahem neurčitosti. Můžeme měřit souřadnici a hybnost, neurčitosti určení souřadnic Δq a hybnosti Δp spolu navzájem souvisí vztahem $\Delta q \Delta p \geq h$. Velikost Δq lze volit co nejmenší, současně to však znamená, že hodnota Δp se blíží nekonečnu a opačně.**

O Heisenbergově vztahu neurčitosti bylo již napsáno mnohé a náš výklad je přirozeně výrazně zjednodušen. Ale přál bychom našim čtenářům, aby porozuměli novému problému, který z užití operátorů vyplývá. Heisenbergův vztah neurčitosti nezbytně vede k přehodnocení pojmu příčinnosti. Je možné přesně určit hodnotu souřadnice. Avšak v okamžiku, kdy tak učiníme, hybnost nabude libovolné hodnoty, kladné, nebo záporné. Jinými slovy, poloha tělesa se okamžitě stane „libovolně vzdálenou“. Smysl vyhledávání (lokalizace) se tak ztrácí a pojetí, tvořící základ klasické mechaniky, se pronikavě mění.

Tyto důsledky kvantové mechaniky byly pro mnoho fyziků včetně Einsteina nepřijatelné; aby se dokázala jejich nesmyslnost, bylo navrženo mnoho experimentů. Byl též učiněn pokus tyto koncepční změny minimalizovat. Především se naznačovalo, že položení základů kvantové mechaniky je svým způsobem spojeno s „poruchami“ pozorování. O systému se usuzovalo, že má vnitřně dokonale určené mechanické parametry, jakými jsou například souřadnice a hybnosti, ale ně-

* Jde o tzv. reprezentace souřadnic a hybnosti. (pozn. překl.)

** Jinak řečeno, nemůžeme měřit současně polohu a hybnost s naprostou přesností. Heisenbergova relace neurčitosti může mít i jiný než uvedený tvar. (pozn. překl.)

které z nich se stanou při měření neurčitými. Heisenbergův vztah neurčitosti by tak pouze vyjadřoval odchylku vyplývající z průběhu měření. Tím by klasický realismus zůstal na základní úrovni nedotčen a my bychom jednoduše museli přidat pozitivistické vymezení. Takové vysvětlení se zdá příliš omezené. Není to určování samotných kvant, které narušuje výsledky. Naopak Planckova konstanta nás nutí ke změně našeho pojetí souřadnic a hybnosti. Tento závěr byl potvrzen nedávnými pokusy, navrženými k prověření předpokladu o lokálních skrytých proměnných, které byly zavedeny pro obnovení klasického determinismu.⁸ Výsledky těchto pokusů potvrzují překvapivé důsledky kvantové mechaniky.

Skutečnost, že nás kvantová mechanika často zavazuje, abychom o umístění předmětu nehovořili tak absolutně, znamená, jak často zdůrazňoval i Niels Bohr, že se realismu klasické fyziky musíme vzdát. Pro Bohra Planckova konstanta určovala vzájemné ovlivňování kvantového systému a měřicího přístroje jako vzájemně neoddělitelné. Pouze kvantovému jevu jako celku včetně ovlivnění měřením lze přiřadit číselnou hodnotu. Každý popis tak zahrnuje výběr měřicího přístroje, tedy „volbu“ kladené otázky. Odpověď, výsledek měření, nám v tomto smyslu přístup k dané skutečnosti neumožňuje. Nutno rozhodnout, jaké měření provedeme a jakou otázku naše pokusy systému položí. Tím se dostáváme k neredukovatelné rozmanitosti znázornění, reprezentací systému, přičemž každá reprezentace je spojena s určeným souborem operátorů.

To nutně vede k závěru, že opouštíme klasickou představu objektivnosti, neboť v klasickém pojetí je jediným „objektivním“ popisem úplný popis *systému takového, jaký je*, a to nezávisle na volbě způsobu pozorování.

Bohr vždy zdůrazňoval novost *neempirické* volby poskytnuté měřením. Fyzik si musí svlž jazyk a makroskopický měřicí přístroj vybrat. Bohr svou myšlenku vysvětloval „principem doplňování se“⁹, který lze považovat za rozšíření Heisenbergových vztahů neurčitosti. Lze měřit buď souřadnice, nebo hybnosti, ale nikoliv obojí. Žádný teoretický jazyk popisující proměnné, kterým lze přiřadit přesně určenou hodnotu, není schopen fyzikální smysl systému obsáhnout. Různé jazyky a přístupy k systému se mohou doplňovat. Všechny se zabývají stejnou skutečností, ale je nemožné je zjednodušit na jediný popis. Existence neredukovatelného množství pohledů na tutéž skutečnost vyjadřuje nemožnost dosáhnout každého hlediska, ze kterého je celá skutečnost zřejmá. Poučení o „principu doplňování se“ však není cvičením v rezignaci. Bohr říkával,

že význam kvantové mechaniky mu působí závratě a my, jsme-li vytrhávaní z příjemné rutiny běžného uvažování, závratí trpíme.

Tím, čemu bychom se měli z „principu doplňování se“ naučit, je poučení, které lze možná přenést i do jiných oblastí vědění. Spočívá ve zdůrazňování bohatství skutečnosti, které překonává možnosti každého jazyka a každé logické struktury. Každý jazyk může vyjádřit jen část skutečnosti. Například hudba nebyla „vyčerpána“ žádným z jejích „děl“, ani žádným hudebním stylem, Bachem počínaje a Schönbergem konče.

Důležitost operátorů jsme zdůrazňovali pro jejich schopnost ukázat, že realita zkoumaná fyzikou není pouze dána, ale je i duševním výtvorem. Musíme rozlišovat abstraktní představy souřadnic nebo hybností, matematicky vyjádřené operátory, a jejich číselné vyjádření, kterého lze dosáhnout pokusy. Jednou z příčin protikladů „dvou kultur“ může být přesvědčení, že literatura je ve shodě s vytvářením pojmů o skutečnosti, o „fikci“, zatímco věda, zdá se, popisuje objektivní „skutečnost“. Kvantová mechanika nás učí, že okolnosti tak jednoduché nejsou. Skutečnost na všech úrovních v sobě obsahuje základní prvky nových přístupů.

Časový vývoj kvantových systémů

Nyní bychom se měli obrátit k diskusi o časovém vývoji kvantových systémů. Stejně jako v klasické mechanice má hamiltonián i zde zásadní význam. Jak jsme již poznali, v kvantové mechanice je hamiltonián nahrazen Hamiltonovým operátorem H_{op} . Tento operátor celkové energie* má zásadní význam. Jeho vlastní hodnoty na jedné straně odpovídají energiím jednotlivých hladin a na druhé straně, podobně jako v klasické mechanice, určuje Hamiltonův operátor časový vývoj systému. Úlohu, kterou v klasické mechanice mají kanonické rovnice, má v kvantové mechanice Schrödingerova rovnice, která vyjadřuje časový vývoj funkce popisující kvantový stav jako výsledek působení operátoru H_{op} na vlnovou funkci ψ^{**} (ovšem též existují i jiná vyjádření, ale těmi se zde nebudeme zabývat). Pojem „vlnová funkce“ byl vybrán,

* Operátor celkové energie se nazývá Hamiltonovým operátorem právě kvůli příbuznosti s hamiltoniánem, který je výrazem pro celkovou energii systému v klasické mechanice. (pozn. překl.)

** Vlnová funkce umožňuje popsat jistý mikroobjekt, např. elektron, „přisouzením“ vlnových vlastností. Druhá mocnina „velikosti“ vlnové funkce je rovna hustotě pravděpodobnosti výskytu částice v daném místě. (pozn. překl.)

abychom opětovně zdůraznili vlnově-částicovou dualitu, tak základní pro celou kvantovou fyziku. ψ je amplitudou vlny, jejíž vývoj je určen v závislosti na druhu částice a tvaru hamiltoniánu. Schrödingerova rovnice vyjadřuje, podobně jako kanonické rovnice v klasické fyzice, vratný a deterministický vývoj. Vratná změna vlnové funkce odpovídá vratnému pohybu podél trajektorie. Je-li v jistém okamžiku tvar vlnové funkce znám, umožňuje Schrödingerova rovnice vypočítat její tvar v libovolném předcházejícím či následujícím čase. Z tohoto hlediska je stav naprosto podobný stavu v klasické mechanice. Podobnost je vyvolána tím, že relace neurčitosti v kvantové mechanice neobsahují čas. Čas zůstává číslem, není operátorem a v Heisenbergových relacích neurčitosti se mohou objevit jen operátory.

Kvantová mechanika užívá současně jen polovinu proměnných užívaných v klasické mechanice. V důsledku toho se klasický determinismus stává nepoužitelným a v kvantové fyzice mají ústřední význam statistické úvahy. Ve statistickém vyjádření se výrazně uplatňuje druhá mocnina amplitudy vlnové funkce ψ^2 .

Obvyklé vysvětlení statistického charakteru kvantové mechaniky je následující: uvažujeme vlastní funkce některého operátoru, například operátoru energie H_{op} a příslušné vlastní hodnoty. Vlnová funkce ψ není obvykle vlastní funkcí operátoru energie, ale lze ji vyjádřit jako superpozici těchto vlastních funkcí. Význam každé z jednotlivých vlastních funkcí zastoupených v této superpozici nám umožňuje vypočítat pravděpodobnost výskytu různých odpovídajících vlastních hodnot.

A zde opět pozorujeme zásadní odklon od klasické teorie. Mohou být předpověděny pouze pravděpodobnosti, nikoliv jednotlivé události. Bylo to podruhé v dějinách vědy, kdy bylo k vysvětlení některých základních vlastností přírody užito pravděpodobnosti, poprvé ji užil Boltzmann při vysvětlení entropie. Subjektivní hledisko zůstává i nadále; z tohoto pohledu nám v úplném popisu systému bránila pouze naše neznalost jeho složitosti. (Uvidíme, že dnes lze tento postoj překonat.) Užiti pravděpodobnosti bylo – stejně jako předtím – pro mnoho fyziků (včetně Einsteina), kteří si přáli dosáhnout úplného deterministického popisu, nepřijatelné. Zdálo se, že obdobně jako s nevratností bude východiskem dovolávání se naší nevědomosti. Za statistické chování v kvantovém světě by nás činila zodpovědnými naše nezpůsobilost, stejně jako nás činí zodpovědnými za nevratnost.

Znovu docházíme k problému skrytých proměnných. Avšak, jak jsme již zdůraznili, neexistuje experimentální důkaz, který by jejich zavedení opravňoval, a úloha pravděpodobnosti se jeví jako nezjednodušitelná.

Je pouze jeden případ, kdy Schrödingerova rovnice vede k deterministické předpovědi. Nastává tehdy, je-li vlnová funkce ψ , místo aby byla *superpozicí* vlastních funkcí, zjednodušena v *jedinou*. Zejména pro ideálně prováděná měření lze systém připravit tak, že výsledek daného měření můžeme předpovědět. Potom víme, že systém je popsán odpovídající vlastní funkcí. Systém může být od tohoto okamžiku s jistotou popisován tak, že se nachází ve „vlastním stavu“ naznačeném výsledkem měření.

Provedení měření v kvantové mechanice má zvláštní význam a ten v současné době přitahuje značnou pozornost. Předpokládejme, že na začátku měření máme vlnovou funkci, která je výsledkem superpozice vlastních funkcí. Výsledkem provádění měření je, že tento jediný soubor systémů, které jsou všechny popisovány (reprezentovány) stejnou vlnovou funkcí, je nahrazen souborem vlnových funkcí. Ty odpovídají různým vlastním hodnotám, které lze získat měřením. Technicky řečeno, měření vede od jedné vlnové funkce („ryzího“ stavu) ke „směsi“.

Každé měření obsahuje, jak opakovaně zdůrazňovali Bohr a Rosenfeld,¹⁰ prvek *nevratnosti*, odkaz na nevratné děje, jakými jsou například chemické děje, které odpovídají zaznamenávaným „údajům“. Zápis je doprovázen zesílením, kterým se z mikroskopické události stává makroskopický jev, což odpovídá úrovni, na které odčítáme z měřicího přístroje. Měření tak předem předpokládá nevratnost.

V jistém smyslu to již platilo v klasické fyzice. V kvantové mechanice je však problém nevratného provádění měření naléhavější, neboť již při navrhování měření vznikají otázky.

Obvyklý přístup k tomuto problému je spojen s tvrzením, že kvantová mechanika si nemůže vybírat, ale musí předpokládat současnou existenci dvou vzájemně nezjednodušitelných dějů, vratného a nepřetržitého vývoje, popsaného Schrödingerovou rovnicí, a nevratného a přerušovaného zjednodušení vlnové funkce na jednu z jejích vlastních funkcí v době měření. Jde o paradox: vratnou Schrödingerovu rovnici lze prověřovat jen nevratným měřením, které Schrödingerova rovnice *a priori* nemůže popsat. Stanovení uzavřené struktury je tudíž pro kvantovou mechaniku nemožné.

Tváří v tvář těmto obtížím se někteří fyzikové opět uchýlili k subjektivismu a tvrdili, že *my-naše* měření a pro některé dokonce *náš* rozum určují vývoj systému, který porušuje zákon přirozené, „objektivní“ vratnosti.¹¹ Jiní došli k závěru, že Schrödingerova rovnice není „úplná“ a že do ní musíme k tomu, aby popisovala i nevratnost měření, přidat další členy. Byla navrhována i jiná, nepravděpodobnější „řešení“,

jako je např. Everettova hypotéza mnoha světů (viz d’Espagnat, pozn. č. 8). Nám však současná existence vratnosti a nevratnosti v kvantové mechanice ukazuje, že klasická idealizace popisující dynamický svět jako samostatný a soběstačný je na mikroskopické úrovni vyloučena. Vystihl to Bohr ve své poznámce, že jazyk, který k popisu kvantového systému užíváme, nelze oddělit od makroskopického pojetí, které popisuje činnost našich měřicích přístrojů. Schrödingerova rovnice nepopisuje oddělenou úroveň skutečnosti, ale spíše předem předpokládá makroskopický svět, ke kterému náležíme.

Problém měření v kvantové mechanice je tedy hlediskem problému, kterému je tato kniha věnována, spojení jednoduchého světa popsaného Hamiltonovými trajektoriemi a Schrödingerovou rovnicí a složitého makroskopického světa nevratných dějů.

V kapitole 9 uvidíme, že nevratnost vstupuje do klasické fyziky tehdy, jestliže se idealizace obsažená v představě trajektorie stává nepřiměřenou. Problém měření v kvantové mechanice je citlivý na stejný typ řešení.¹² Vlnová funkce skutečně představuje maximum znalostí o kvantovém systému. A stejně jako v klasické fyzice vyhovuje předmět tohoto maxima znalostí rovnici vratného vývoje. V obou případech nastupuje nevratnost tehdy, jestliže „ideální předmět“ odpovídající maximu poznání musí být nahrazen méně idealizovanými představami. Ale kdy k tomu dochází? Je to otázka fyzikálního mechanismu nevratnosti, k níž se vrátíme v kapitole 9. Nejprve však shrňme některé další rysy obzracující se soudobé vědy.

Nerovnovážený prostor

Dvě vědecké revoluce popsané v této kapitole začaly jako pokusy o začlenění univerzálních konstant, rychlosti světla c a Planckovy konstanty h , do rámce klasické mechaniky. Toto úsilí mělo dalekosáhlé důsledky, z nichž některé jsme popsali. Z jiného pohledu se zdálo, že teorie relativity a kvantová mechanika zachovávají základní světový názor obsažený v newtonovské mechanice. Platí to především ve vztahu k úloze a významu času. Je-li jednou v kvantové mechanice známa hodnota vlnové funkce v čase t rovném nule, jsou určeny její hodnoty $\psi(t)$ jak pro budoucnost, tak pro minulost. Podobně v teorii relativity je často zdůrazňován *statický* rozměr času ve smyslu geometrické souřadnice při užití čtyřrozměrného prostoru, tzv. časoprostoru (tři souřadnice popisují prostor a čtvrtá čas). Jak stručně vyjádřil v roce 1908

Minkowski,* „prostor sám a čas sám jsou odsouzeni stát se pouhými stíny. Pouze jejich sjednocení uchová nezávislou skutečnost... a svět bude existovat pouze sám o sobě.“¹³

V posledním půlstoletí se však tento stav výrazně změnil. Kvantová mechanika se stala hlavním nástrojem ke studiu elementárních částic a jejich přeměn. Popsat úžasnou mnohotvárnost elementárních částic, které se během několika posledních let objevily, přesahuje možnosti této knihy.

Chceme jen připomenout, že Dirac s užitím kvantové mechaniky a teorie relativity ukázal, že každá částice hmotnosti m a náboje e má svůj protějšek, antičástici, která má stejnou hmotnost, ale jejíž náboj má opačné znaménko. Pozitrony, antičástice elektronů, stejně jako antiprotony, jsou v současné době vytvářeny ve vysoce výkonných urychlovačích částic. Antihmota se stala běžným předmětem studia fyziky elementárních částic. Částice a jim příslušné antičástice při vzájemné srážce anihilují** a uvolňují fotony, nehmotné částice, které odpovídají světelným kvantům. Rovnice kvantové teorie jsou vzhledem k výměně částice–antičástice symetrické, přesněji jsou symetrické vzhledem k slabšímu požadavku, známému jako CPT symetrie. Nehledě na tuto symetrii, ve světě kolem nás existuje mezi částicemi a antičásticemi výrazná *asymetrie*. Jsme vytvořeni z částic (elektronů, protonů), zatímco antičástice zůstávají vzácnými laboratorními produkty. Pokud by částice a antičástice existovaly ve stejném množství, všechna hmota by anihilovala. Existují jasné důkazy, že antihmota v naší galaxii neexistuje, nicméně ve vzdálených galaxiích nelze možnost její existence vyloučit. Lze si představit, že někde ve vesmíru mechanismus oddělující částice a antičástice existuje a antičástice přitom někde uschovává. Mnohem pravděpodobnější se však zdá, že žijeme v „nesymetrickém“ vesmíru, v němž hmota jasně převládá nad antihmotou.

Jak je to možné? Model, který tuto situaci vysvětluje, předložil v roce 1966 Sacharov a dnes se řada prací ubírá tímto směrem.¹⁴ Jedním z podstatných rysů modelu je skutečnost, že v době vytváření hmoty musel být vesmír v *nerovnovázném stavu*, protože ve stavu rovnováhy by Guldbergův-Waageův zákon, tzv. zákon o působení aktivní hmoty (kapitola 5), potřeboval stejné množství hmoty a antihmoty.

Na tomto místě chceme zdůraznit, že nerovnováha nyní nabyla

* mj. tvůrce tohoto souřadnicového systému (pozn. překl.)

** současně zanikají (pozn. překl.)

nový, kosmologický rozměr. Bez nerovnováhy a s ní spojených nevratných dějů by měl vesmír zcela odlišnou strukturu. Neexistovalo by žádné znatelné množství hmoty, existovalo by jen několik „fluktuujících místních přebytků“ hmoty nad antihmotou anebo opačně.

Kvantová teorie se z mechanické teorie upravené kvůli vysvětlení existence univerzální konstanty h vyvinula v teorii vzájemných přeměn elementárních částic. V nedávných pokusech formulovat „jednotnou teorii elementárních částic“ se též naznačovalo, že *všechny* hmotné částice, včetně protonu, jsou nestabilní (i když doba života protonu by byla obrovská, řádu 10^{30} let). Mechanika, nauka o pohybu, se místo toho, aby odpovídala základní úrovni popisu, stává pouhým přiblížením, užitečným jen zásluhou dlouhé doby života takových elementárních částic, jako jsou protony.

Stejnými přeměnami prošla teorie relativity. Jak jsme uvedli, na jejím počátku byla geometrická teorie zdůrazňující charakteristické vlastnosti nezávislé na čase. Dnes je hlavním nástrojem k výzkumu teplotního vývoje vesmíru a poskytuje záchytné body při pátrání po mechanismech, které vedly k jeho dnešní struktuře. Problém času, nevratnosti, tak získal novou naléhavost. Z oblasti strojírenství a aplikované chemie, kde byl poprvé zformulován, se rozšířil do celé fyziky, elementárními částicemi počínaje a kosmologií konče.

Z pohledu této knihy tkví význam kvantové mechaniky v zavedení pravděpodobnosti do fyziky mikrosvěta. Nemělo by to být směřováno s náhodnými (stochastickými) ději popisujícími chemické reakce, tak jak bylo uvedeno v kapitole 5. V kvantové mechanice se vlnová funkce (vyjma průběh měření) vyvíjí deterministicky.

Viděli jsme, že studium nerovnovázných dějů během padesáti let od vzniku kvantové mechaniky ukázalo, že fluktuace a prvky náhodnosti jsou důležité i v mikroskopickém měřítku. V této knize jsme opakovaně prohlašovali, že změna pojetí fyziky, která probíhá až do současnosti, nás vede od deterministických, vratných dějů k dějům náhodným a nevratným. Domníváme se, že kvantová mechanika má v tomto ději mezioborovou úlohu. Objevuje se v ní pravděpodobnost, ale nikoliv nevratnost. Očekáváme, a některé důvody tohoto očekávání uvedeme v kapitole 9, že dalším krokem bude zavedení zásadní nevratnosti do mikroskopické úrovně. Na rozdíl od snah o znovuzrození klasické pravděpodobnosti za pomoci skrytých proměnných či jiných nástrojů, budeme tvrdit, že je nutné se posunout od deterministického popisu přírody ještě dále a osvojit si statistický, náhodný popis.

Kapitola 8

Střet doktrín

Pravděpodobnost a nevratnost

Přesvědčíme se, že fyzikové prakticky všude zbavují svou vědu jednosměrného času, jako by si byli vědomi, že tato myšlenka zavádí antropomorfní prvek, který je představám fyziky cizí. Přesto v některých důležitých případech se jednosměrného času a jednosměrné příčinnosti dovolávají, a to, jak postupně ukážeme, vždy ve prospěch nějaké chybné doktríny.

G. N. LEWIS¹

Zákon, že entropie stále roste – druhá věta termodynamiky – má, jak se domnívám, mezi zákony Přírody výsadní postavení. Pokud Vám někdo vytkne, že Vaše zamilovaná teorie vesmíru je v rozporu s Maxwellovými rovnicemi, tím hůř pro Maxwellovy rovnice. Zjistí-li se, že je v rozporu s pozorováním, dobrá, výzkumníci občas něco zpackají. Ale zjistí-li se, že Vaše teorie je v rozporu s druhou větou termodynamiky, nemáte naději. Nezbyvá než se v hluboké pokoře sklonit.

A. S. EDDINGTON²

Střet mezi termodynamikou a dynamikou se stal zjevným v okamžiku, kdy Clausius vyslovil své pojetí druhé věty termodynamiky. Ve fyzice stěží existuje otázka, která by byla projednávána častěji a s větším zájmem než vztah termodynamiky a dynamiky. I nyní, sto padesát let po Clausiovi, je tato otázka stále živá. Nikdo nemůže zůstat nezaujatý ve sporu, který se dotýká smyslu reality a času. Musí být dynamika, matka moderní vědy, opuštěna ve prospěch nějakého pojetí termodynamiky? To bylo hledisko „energetistů“, kteří měli velký vliv v devatenáctém

století. Existuje způsob, jak „zachránit“ dynamiku, jak užít druhou větu termodynamiky, aniž bychom se vzdali uznávané struktury vystavěné Newtonem a jeho následovníky? Jakou úlohu má entropie ve světě popsaném dynamikou?

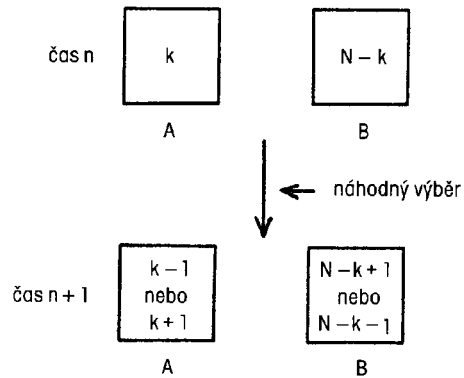
O odpovědi předložené Boltzmanem jsme se již zmínili. Boltzmanova proslulá rovnice $S = k \log P$ spojuje entropii a pravděpodobnost, přičemž entropie roste, protože roste pravděpodobnost. Zdůrazněme ihned, že z tohoto pohledu by měla druhá věta termodynamiky v praxi ohromnou důležitost, ale neměla by zásadní význam. Martin Gardner ve své vynikající knize *The Ambidextrous Universe (Obojaký svět)* píše: „Jisté události probíhají jen jedním směrem, a to ne proto, že by opačným směrem proběhnout nemohly, ale protože je vysoce nepravděpodobné, že by se odehrávaly pozpátku.“³ Zlepšením našich schopností měřit události méně a méně pravděpodobné bychom mohli dospět k situaci, kdy by druhá věta termodynamiky měla tak nevýznamnou roli, jak bychom si přáli. Je to názor dnes často zastávaný. Nebylo to však Planckovo stanovisko:

„Bylo by absurdní předpokládat, že platnost druhé věty termodynamiky závisí na obratnosti a zručnosti fyzika či chemika pozorovat nebo provádět pokusy. Podstata druhé věty termodynamiky nemá s pokusem nic společného. Druhá věta termodynamiky stručně prohlašuje, že *v přírodě existuje veličina, která se vždy ve všech přírodních dějích mění ve stejném smyslu*. Toto obecné tvrzení může být správné, anebo nesprávné. Ať je však jakékoliv, zůstane takovým bez ohledu na to, zda myslící a měřící bytosti na Zemi existují či neexistují a zda jsou či nejsou schopny za předpokladu, že skutečně existují, měřit podrobnosti fyzikálních nebo chemických dějů přesněji o jedno, dvě nebo sto desetinných míst, než dokážeme my. Omezení zákona, existuje-li nějaké, musí spočívat ve stejné oblasti jako jeho základní myšlenka, tedy v pozorované Přírodě, nikoliv v Pozorovateli. Je bez významu, že se při odvozování zákona dovoláváme zkušenosti člověka; je to naše jediná možnost, jak se k poznání přírodních zákonů dostat.“⁴

Přesto však Planckovy názory zůstaly osamocené. Jak jsme poznamenali, nejvíce vědců považovalo druhou větu termodynamiky za výsledek přiblížení, pronikání subjektivních názorů do přesného světa fyziky. Například Born vyslovil proslulou větu: „Nevratnost je výsledek zavedení neinformovanosti do základních fyzikálních zákonů.“⁵

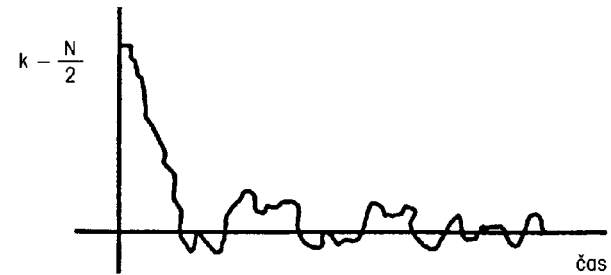
V této kapitole bychom rádi popsali některé ze základních kroků při vysvětlování smyslu druhé věty termodynamiky. Nejprve musíme po-

rozumět, proč se tento problém jeví tak složitý. V kapitole 9 budeme v popisu pokračovat až do současnosti a ukážeme nové pojetí, které jak doufáme, nejen zřetelně vyjádří výraznou původnost, ale i objektivní význam druhé věty termodynamiky. Náš závěr bude v souladu s Planckovým názorem. Ukážeme, že druhá věta termodynamiky imponantní strukturu dynamiky neničí, nýbrž do ní vkládá nový zásadní prvek.



Obr. 23 „Model krabiček“ P. a T. Ehrenfestových. N míčků je rozděleno do dvou nádob A a B. V čase n je k míčků v nádobě A a $(N - k)$ míčků v nádobě B. V pravidelných časových okamžicích je z nádoby A náhodně vybrán míček a dán do B.

Nejprve chceme vyjasnit Boltzmannovo spojení pravděpodobnosti a entropie. Začneme popisem „modelu krabiček“, který navrhli P. a T. Ehrenfestovi.⁶ Uvažujme N předmětů (např. míčků) rozdělených do dvou nádob A a B. V pravidelných časových okamžicích (například každou sekundu) je náhodně vybrán jeden míček a přenesen z jedné nádoby do druhé. Předpokládejme, že v čase n je v nádobě A k míčků a $N - k$ míčků je v nádobě B. V čase $(n + 1)$ pak může být v nádobě A buď $k - 1$ nebo $k + 1$ míčků. Pro pravděpodobnost přemístování k/N je změna počtu $k \rightarrow k - 1$ a pro pravděpodobnost přemístování $1 - k/N$ je změna počtu $k \rightarrow k + 1$. Předpokládejme, že pokračujeme ve hře (třeba přemísťování). Očekáváme, že výsledkem výměny míčků bude nejpravděpodobnější rozdělení v duchu Boltzmannova pojetí. Pokud je počet míčků N velký, odpovídá toto rozdělení stejnému počtu $N/2$ míčků v každé nádobě. Lze to ověřit jednoduchými výpočty nebo pokusem.



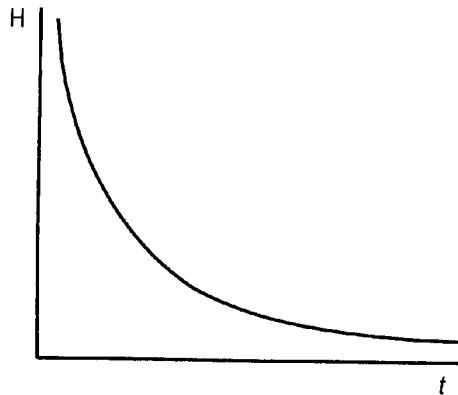
Obr. 24 Schematické znázornění „přibližování se“ k rovnováze ($k = N/2$) v Ehrenfestově modelu.

Ehrenfestův model je jednoduchým příkladem „Markovova procesu“ (řetězce), pojmenovaném po slavném ruském matematikovi Markovovi, který byl jedním z prvních, kteří takové procesy popsali (dalším byl Poincaré). Stručně řečeno, charakteristickým rysem těchto procesů je existence přesně určených pravděpodobností přechodu, *nezávislých na předcházejícím vývoji systému*.

Markovovy řetězce mají pozoruhodnou vlastnost – lze je popsat entropií. Označme $P(k)$ pravděpodobnost nalezení k míčků v nádobě A. Můžeme jí přiřadit hodnotu „veličiny H“, jejíž vlastnosti se dokonale shodují s vlastnostmi entropie, které byly probrány v kapitole 4. Příklad jejího vývoje je na obrázku číslo 25. Veličina H se podobně jako entropie izolovaného systému mění rovnoměrně v závislosti na čase. Je pravda, že zatímco hodnota veličiny H v závislosti na čase *klesá*, hodnota entropie S roste, je to však jen otázka zavedení, definice: veličina H má význam $-S$.

Matematický význam této „veličiny H“ si zaslouží podrobnější rozbor – poměruje rozdíl pravděpodobnosti v daném čase a pravděpodobnosti, která odpovídá rovnovážnému stavu (při kterém je počet míčků v každé nádobě roven $N/2$). Tvrzení použité v Ehrenfestově „modelu krabiček“ lze zobecnit. Uvažujme rozdělení čtverce, tj. rozdělme ho na mnoho jednotlivých kousků (viz obrázek 26). Potom uvažme rozdělení částic ve čtverci a označme možnost nalezení částice v oblasti k pravděpodobností $P(k, t)$. Podobně nazvěme $P_{rov}(k)$ pravděpodobnost, která odpovídá rovnoměrnému rozdělení. A podobně jako v „modelu krabiček“ předpokládejme, že existují přesně určené pravděpodobnosti přechodů. Definicí „veličiny H“ je

$$H = \sum_k P(k, t) \log \frac{P(k, t)}{P_{rov}(k)}$$



Obr. 25 Časový vývoj v textu definované „veličiny H“, která odpovídá Ehrenfestově modelu. Její hodnota stále klesá a pro „dlouhé časy“ se blíží nule („vymizí“).

Všimněme si poměru $P(k,t)/P_{rov}(k)$, který je ve vzorci obsažen. Předpokládejme, že máme osm krabiček a že pravděpodobnost rovnovážného stavu je $P_{rov}(k) = 1/8$. Začneme například se všemi částicemi v první krabičce. Odpovídajícími hodnotami pravděpodobnosti $P(k,t)$ je $P(1,t) = 1$, ostatní hodnoty jsou nulové. Výsledkem bude $H = \log(1/[1/8]) = \log 8$. Po uplynutí nějaké doby dojde k rovnoměrnému rozdělení částic a $P(k,t) = P_{rov}(k) = 1/8$. V důsledku toho je hodnota veličiny H nulová. Ve shodě s obrázkem číslo 25 lze ukázat, že pokles hodnoty veličiny H probíhá stále stejně (ukázka je provedena ve všech učebnicích zabývajících se náhodnými ději). Proto má veličina H úlohu $-S$, entropie. Význam rovnoměrného poklesu veličiny H je prostý: je měřítkem postupného vytváření se stejnorodosti systému. Počáteční informace je ztracena a systém se vyvíjí od „řádu“ k „nepořádku“.

Všimněte si, že Markovův děj zahrnuje fluktuace, jak je zřetelné z obrázku 24. Pokud bychom čekali dostatečně dlouho, objevil by se znovu počáteční stav. My se však zabýváme průměrnými hodnotami. Veličina H_M , která rovnoměrně klesá, je vyjádřena *rozdělením pravděpodobnosti*, nikoliv jednotlivými událostmi. Je to rozdělení pravděpodobností, které se nevratně vyvíjí (rozdělovací funkce v Ehrenfestově modelu rovnoměrně konverguje k binomickému rozdělení). Markovovy řetězce tedy na úrovni rozdělovacích funkcí vedou k *jednosměrnosti času*.

Tato šipka času vyznačuje rozdíl Markovových řetězců a časového vývoje v kvantové mechanice, kde se vlnová funkce, přestože souvisí s pravděpodobnostmi, vyvíjí *vratně*. Ukazuje i úzkou souvislost náhodných dějů, jako je Markovův řetězec, a nevratnosti. Nárůst entropie (resp. pokles H) nesouvisí jen s šipkou času obsaženou v zákonech přírody, ale především s naším rozhodnutím užít současného poznání k předpovědi budoucího (a nikoliv minulého) chování. Gibbs svým obvyklým lapidárním způsobem konstatoval:

„Zatímco rozlišení prvotních a pozdějších událostí může být vzhledem k matematickým představám nevýznamné a nedůležité, s událostmi skutečného světa je tomu naprosto jinak. Při výběru příkladů sloužících k vysvětlení pravděpodobnosti událostí, k nimž ve skutečném světě dochází, by se nemělo zapomínat, že zatímco pravděpodobnosti následných událostí lze často určit z pravděpodobnosti událostí dřívějších, jen zřídka dojde k tomu, aby pravděpodobnosti předcházejících událostí bylo též možno určit z pravděpodobnosti událostí pozdějších, neboť jsme jen málokdy oprávněni vyloučit úvahy o předcházející pravděpodobnosti dřívějších událostí.“⁷

Je to významná okolnost, která vedla k široké diskuzi.⁸ Počet pravděpodobnosti je skutečně časově zaměřený. Předpověď budoucnosti se liší od zpětného popisu. Pokud by to bylo všechno, museli bychom dojít k závěru, že jsme subjektivní výklad nevratnosti nuceni přijmout, pokud by rozlišení budoucnosti a minulosti záviselo pouze na nás. Jinak řečeno, při subjektivním výkladu nevratnosti (posíleným dále nejednoznačnou podobností s teorií informace) je za časovou asymetrii, kterou se vývoj systému vyznačuje, zodpovědný pozorovatel. Vzhledem k tomu, že pozorovatel nemůže jediným pohledem určit polohy a rychlosti všech částic tvořících složitý systém, nemůže znát okamžitý stav, tedy stav obsahující současně jeho minulost i budoucnost, ani nemůže pochopit vratný zákon, který by mu vývoj systému umožnil předpovědět od prvního do posledního okamžiku. Se systémem nelze zacházet ani tak, jak činí démon stvořený Maxwellem, který umí oddělit rychlé a pomalé částice a předepsat systému „netermodynamický vývoj“ vedoucí k postupně stále méně rovnoměrnému rozdělení teploty.⁹

Termodynamika zůstává naukou o složitých systémech. Z tohoto hlediska je jediným specifickým rysem složitých systémů to, že naše vědomosti o nich jsou omezené a naše nejistota s časem narůstá. Vědec místo toho, aby v nevratnosti spatřoval něco, co přírodu s pozorovatelem spojuje, je donucen připustit, že příroda pouze odráží

jeho nevědomost. Příroda mlčí; nevratnost nám neumožňuje vkořenit se do hmotného světa, je pouze ozvěnou lidského úsilí a jeho mezí.

Lze však okamžitě namítnout, že termodynamika by podle těchto výkladů měla být stejně univerzální, jako je naše nevědomost. Měly by existovat *jen* nevratné děje. A to je úskalí všech obecných výkladů entropie, které se soustřeďují na naši neznalost počátečních (nebo mezních) podmínek. *Nevratnost není obecnou vlastností.* Ke spojení dynamiky a termodynamiky je nezbytné fyzikální měřítko, abychom rozlišili vratné a nevratné děje.

Touto otázkou se budeme zabývat v kapitole 9. Nyní se vraťme k dějinám vědy a k Boltzmannově průkopnické práci.

Boltzmannův průlom

Boltzmannův zásadní přínos pochází z roku 1872, tedy z doby asi třicet let před objevem Markovových řetězců. Boltzmannovým cílem bylo odvodit „mechanické“ pojetí entropie. Jinak řečeno, zatímco v Markovových řetězcích jsou, jako například v Ehrenfestově modelu, pravděpodobnosti přechodů dány zvenčí, nyní je musíme spojit s dynamickým chováním systému. Boltzmann byl tímto problémem tak uchvápen, že mu zasvětil většinu svého vědeckého života. Ve své knize *Populäre Schriften*¹⁰ napsal: „Pokud by se mne někdo zeptal, jaký název máme dát tomuto století, bez zaváhání bych odpověděl, že je to století Darwinovo.“ Boltzmann byl myšlenkou vývoje hluboce přitahován a jeho touhou bylo stát se „Darwinem“ vývoje hmoty.

Prvním krokem k mechanistickému pojetí entropie bylo znovuzavedení pojmu „srážek“ molekul nebo atomů do fyzikálního popisu a současně s ním i možnosti statistického popisu. Tento krok učinili Clausius a Maxwell. Protože srážky jsou diskrétní, „nespojité“ události, lze je počítat a určovat jejich průměrnou frekvenci. Srážky též můžeme třídit do skupin, například rozlišovat srážky, jejichž výsledkem jsou částice s rychlostí v , a srážky, při nichž dochází k zániku částice o rychlosti v a k vytvoření molekuly s rozdílnou rychlostí (tzv. „přímé“ a „nepřímé“ srážky).^{11*}

Maxwell položil otázku, zda je možné definovat stav plynu tak, aby

* „Přímou“ srážkou je srážka, při které vektor rychlosti „přibližování se“ jedné částice míří do těžiště částice, se kterou se srážka bude konat. Ostatní srážky jsou „nepřímé“ a částice se při nich po sobě „navzájem sklouzávají“. (pozn. překl.)

srážky, které bez ustání mění rychlosti molekul, nadále neurčovaly další vývoj *rozdělení* těchto rychlostí, tzn. střední hodnotu počtu částic pohybujících se danou rychlostí. Jaké je rozdělení rychlostí, při kterém se v souboru (populaci) vlivy různých srážek navzájem vyrovnávají?

Maxwell ukázal, že tento zvláštní stav, který je stavem termodynamické rovnováhy, nastává tehdy, má-li rozdělení rychlostí známý „zvonovitý“ tvar, tzn. jde o tzv. „gaussovskou“ křivku*, kterou Quetelet, zakladatel „společenské fyziky“, považoval za skutečné vyjádření náhodnosti. Maxwellova teorie nám umožňuje jednoduše vysvětlit některé ze základních zákonů popisujících chování plynů. Vzestup teploty odpovídá zvýšení střední rychlosti molekul, a tedy i energie související s jejich pohybem. Pokusy Maxwellův zákon s velkou přesností potvrdily a ten tak i nadále zůstává východiskem k řešení četných problémů ve fyzikální chemii (např. výpočtu počtu srážek v reagující směsi).

Boltzmann však chtěl dojet dále. Chtěl popsat nejen *stav* rovnováhy, ale i *vývoj* směrem k rovnováze, tedy vývoj směrem k Maxwellovu rozdělení. Chtěl objevit mechanismus chování molekul, který odpovídá nárůstu entropie, mechanismus, který „žene“ systém ze stavu s libovolným rozdělením rychlostí směrem k rovnováze.

Je charakteristické, že Boltzmann k problému fyzikálního vývoje přistupoval nikoliv z úrovně jednotlivých trajektorií, ale z úrovně *počtu* molekul. Cítil, že je vyrovnáván Darwinův výkon, tentokrát ve fyzice. Hnací silou skrytou v biologickém vývoji – přírodní výběr – nelze určovat pro jednotlivce, ale jen pro velké soubory. Jde tedy o statistické pojetí.

Boltzmannův výsledek lze celkem jednoduše popsat. Vývoj rozdělovací funkce $f(v,t)$ popisující výskyt částic o rychlosti v v čase t v nějaké oblasti prostoru je dán výslednicí dvou jevů. Počet částic, které mají v daném čase t rychlost v , se mění v důsledku volného pohybu částic a srážek molekul. První výsledek lze snadno vyjádřit klasickou dynamikou. Původnost Boltzmannovy metody spočívá ve zkoumání druhé části, která je dána srážkami. Tváří in tvář obtížím obsaženým ve sledování trajektorií (včetně vzájemného působení) dospěl Boltzmann k užití pojmů podobných těm, které jsou načrtnuty v kapitole 5 (v souvislosti s chemickými reakcemi), a k výpočtu *průměrného* počtu srážek, při kterých (pro danou hodnotu rychlosti v) dochází k vytvoření či zániku molekuly.

* Tvarem odpovídající tzv. Gaussovu rozdělení, podle matematika C. F. Gausse. (pozn. překl.)

Opět se setkáváme s dvěma ději, jejichž účinky jsou protichůdné. „Přímé“ srážky vytvářejí molekulu s rychlostí v , jejímž předchůdci byly molekuly s rychlostmi v' a v'' a „nepřímé“ srážky, při kterých je molekula o rychlosti v ovlivněna při srážce s molekulou o rychlosti v'' . Frekvence takových událostí je stejně jako v případě chemických reakcí (viz kapitolu 5, 1. oddíl) vyhodnocována jako úměrná součinu počtu molekul, které se těchto dějů zúčastňují. (Historicky vzato Boltzmannova metoda [1872] předcházela chemickou kinetiku).

Boltzmannovy výsledky se naprosto podobají výsledkům získaným pro Markovovy řetězce. Opět, tentokrát v souvislosti s funkcí rozdělení rychlostí, kterou označíme f , zavedeme veličinu H . Lze psát $H = \int f \log f dv$. A opět může hodnota této veličiny v čase pouze klesat, a to až do dosažení rovnováhy, kdy se rozdělení rychlostí stává maxwellovským.

V posledních letech byl rovnoměrný pokles veličiny H v závislosti na čase mnohokrát numericky ověřován. Všechny výsledky potvrdily Boltzmannovu předpověď. A i dnes má jeho kinetická rovnice významnou úlohu ve fyzice plynů. „Transportní“ součinitele, jakými jsou například součinitelé charakterizující vedení tepla či difúzi, lze vypočítat v dobré shodě s výsledky získanými pokusy.

Boltzmannův přínos je však největší z hlediska pojetí a přístupu – rozlišování vratných a nevratných jevů, které se, jak jsme viděli, skrývá za druhou větou termodynamiky, se nyní přenáší do mikrosvětla. Změna rozdělení rychlostí vyvolaná volným pohybem odpovídá „vratné“ složce, zatímco přínos vyvolaný srážkami přísluší „nevratné“ složce. Pro Boltzmana to byl klíč k výkladu entropie v mikrosvětě. Princip molekulárního vývoje byl na světě! Je snadné pochopit okouzlení a silný zájem, který tento objev vyvolal u fyziků, kteří následovali Boltzmana, a to včetně Plancka, Einsteina a Schrödingera.¹²

Boltzmannův průlom byl rozhodujícím krokem ve směru k fyzice dějů. V Boltzmannově rovnici již neurčuje časový vývoj hamiltonián závisléjící na druzích sil; jsou to naopak funkce související s procesy, které plodí pohyb, například účinný průřez rozptylu. Lze tedy dovozovat, že problém nevratnosti byl vyřešen a že Boltzmannova teorie omežila entropii na oblast dynamiky? Odpověď je jasná – nikoliv. Podívejme se na tuto záležitost blíže.

Zkoumání Boltzmannova výkladu

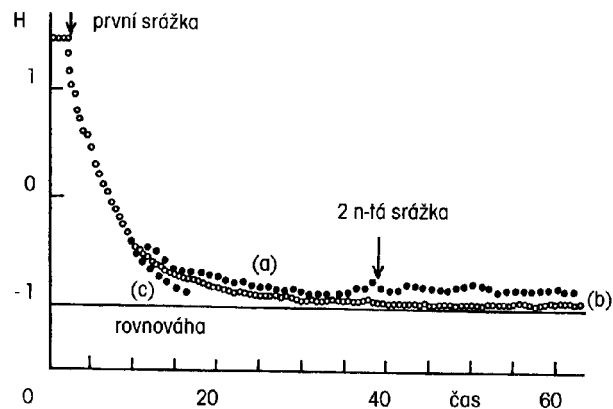
Jakmile se v roce 1872 Boltzmannův stěžejní článek objevil, byly ihned vzneseny námitky. Odvodil Boltzmann skutečně pomocí dynamiky nevratnost? Jak mohou vést „vratné“ zákony týkající se trajektorii k nevratnému vývoji? Je Boltzmannova kinetická rovnice nějak slučitelná s dynamikou? Lehce zjistíme, že symetrie obsažená v Boltzmannově rovnici je v rozporu se symetrií klasické mechaniky.

Již jsme poznali, že obrácení, inverze rychlosti ($v \rightarrow -v$) má v klasické dynamice stejný účinek jako inverze času ($t \rightarrow -t$). Jde o základní souměrnost klasické dynamiky a očekávali bychom, že Boltzmannova kinetická rovnice, která časovou změnu rozdělovací funkce popisuje, se na této souměrnosti bude podílet. Ale není tomu tak. Srážkový člen vypočtený Boltzmannem zůstává *vzhledem k inverzi rychlosti invariantní, neměnný*. Má to jednoduchou fyzikální příčinu. V Boltzmannově představě neodlišuje nic srážku, k níž dochází ve směru k budoucnosti, od srážky směřující do minulosti. Tato skutečnost je základem Poincaréovy námitky k Boltzmannovu odvození. Správný výpočet nemůže nikdy vést k závěru odporujícímu jeho předpokladům.^{13, 14} Jak jsme viděli, jsou symetrické vlastnosti kinetické rovnice získané pro rozdělení Boltzmannem v rozporu se souměrností v dynamice. Boltzmann proto nemohl entropii „odvodit“ z dynamiky. Musel zavést něco nového, něco, co bylo dynamice cizí. Jeho výsledky tak v nejlepším případě mohou být jen vyjádřením fenomenologického modelu, který, i když je užitečný, nemá s dynamikou žádnou přímou souvislost. Bylo to i obsahem námitky, kterou vůči Boltzmannovi v roce 1896 vznesl Zermelo.

Naopak Loschmidtova připomínka umožnila určit *meze platnosti* Boltzmannova kinetického modelu. Loschmidt si ve skutečnosti (v roce 1876) uvědomil, že model po obrácení rychlostí odpovídajících transformaci $v \rightarrow -v$ již neplatí.

Vysvětleme tuto okolnost myšlenkovým pokusem. Máme plyn nacházející se v nerovnovážném stavu a necháme ho po dobu t_0 rozpínat. Potom směry rychlostí obrátíme. Systém se vrací do původního, „minulého“ stavu. V důsledku toho je hodnota Boltzmannovy entropie stejná jak v čase $t = 0$, tak v čase $t = 2t_0$.

Myšlenkový pokus můžeme opakovat. Začneme se směsí vodíku a kyslíku. Po určité době se objeví voda. Pokud obrátíme rychlosti, měli bychom se dostat zpět do počátečního stavu, ve kterém máme směs vodíku a kyslíku a již ne vodu.



Obr. 26 Počítačová simulace časového vývoje H pro N tuhých „kuliček“; (a) odpovídá $N=100$, (b) $N=484$ a (c) $N=1225$.

Je zajímavé, že při laboratorních nebo počítačových pokusech lze inverzi rychlosti skutečně provést. Na grafech v obrázcích 26 a 27 jsou vyneseny hodnoty Boltzmannovy veličiny H , která byla vypočtena pro dvourozměrné tuhé „kuličky“ (disky), přičemž začínáme s disky umístěnými v uzlech mřížky s izotropním* rozdělením rychlostí. Výsledky jsou v souladu s Boltzmannovou předpovědí.

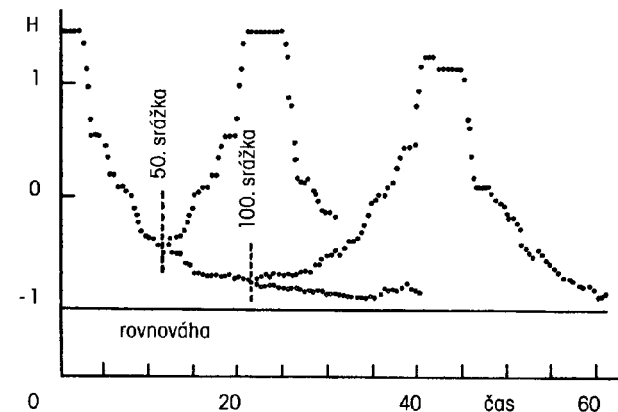
Pokud po padesáti nebo stu srážkách, jejichž trvání ve zředěném plynu trvá asi 10^{-6} s, rychlosti obrátíme, získáme nový soubor.¹⁵ A hodnota veličiny H po inverzi rychlosti roste, místo aby klesala.

Podobná situace může být vytvořena při pokusech s „ozvěnou v plazmatu“. A i zde je po omezenou dobu možno pozorovat „netermodynamické“ chování (v Boltzmannově smyslu).

Je ale důležité si uvědomit, že uskutečnění pokusů s inverzí rychlosti se stává obtížnějším se zvětšováním časového intervalu t_0 , během kterého k inverzi dochází.

K tomu, aby se plyn mohl „vrátit“ do své minulosti, musí si pamatovat vše, k čemu během časového intervalu od nuly do t_0 došlo. Musí dojít k „zapamatování“ informací. Toto „zapamatování“ můžeme vyjádřit vzájemnými vztahy (korelacemi). K otázce korelací se vrátíme

* stejným ve všech směrech (pozn. překl.)



Obr. 27 Vývoj H pro obrácené rychlosti po 50 nebo 100 srážkách. Modelování se 100 tuhými kuličkami.

v kapitole 9. Zde se pouze zmiňme o tom, že článkem, který v Boltzmannových úvahách chybí, je právě tato souvislost vzájemného působení a srážek. Boltzmann v okamžiku, kdy ho Loschmidt před tento problém postavil, musel uznat, že východisko neexistuje. Srážky, k nimž v opačném směru dochází, „anulují, ničí“ vše, co bylo vykonáno předtím, a systém se musí vrátit do výchozího stavu. Veličina H tedy musí až do okamžiku dosažení své počáteční hodnoty růst. Inverze rychlosti tak vyžaduje rozlišení situací, pro které je Boltzmannova argumentace použitelná, a situací, ve kterých ji nelze užít.

Jakmile byl problém jednou zformulován (v roce 1894), bylo určení povahy tohoto omezení snadné.^{16, 17} Platnost Boltzmannova statistického postupu závisí na předpokladu, že se molekuly předtím, než se srazí, pohybují navzájem *nezávisle*. Vytváří se tak předpoklad o počátečních podmínkách, předpoklad „molekulárního chaosu“. Počáteční podmínky vytvořené inverzí rychlosti nejsou v souladu s tímto předpokladem. Je-li vytvořen systém, který „se má v čase pohybovat nazpět“, vytváří se nový „anomální“ stav, a to v tom smyslu, že jisté molekuly jsou pak „předurčeny“ k setkání v předem určeném okamžiku a zároveň k tomu, aby v této době prošly předem určenou změnou rychlosti. Na tom, jak daleko se molekuly v okamžiku inverze rychlosti mohou nacházet, přitom nezávisí.

Inverze rychlosti tak vytváří vysoce uspořádaný systém, a předpoklad o molekulárním chaosu proto selhává. Různé srážky vytvářejí jakoby předem ustanovenou shodou očividně funkční chování.

Ale je toho více. Co znamená přechod od pořádku k nepořádku? V Ehrenfestově pokusu „s krabičkami“ je to jasné, systém se bude vyvíjet až do okamžiku, ve kterém je dosaženo rovnoměrnosti. Jiné případy však již tak jasné nejsou. Můžeme provádět počítačové pokusy, při kterých je na počátku rozdělení vzájemně působících částic náhodné. Časem se vytvoří jakási „konstrukce“. Pohybujeme se stále směrem od pořádku k nepořádku? Odpověď není zřejmá. K tomu, abychom řádu a nepořádku porozuměli, musíme nejprve určit, definovat objekty pomocí pojmů, ve kterých je těchto představ užito. Přechod od dynamických objektů k objektům termodynamickým je, jak ukazuje Boltzmannovo dílo, v případě zředěných plynů snadný. Ale v případě hustých systémů, jejichž molekuly na sebe vzájemně působí, již přechod tak snadný není.

Kvůli těmto obtížím zůstala Boltzmannova tvůrčí a průkopnická práce nedokončená.

Dynamika a termodynamika – dva oddělené světy

Již jsme zaznamenali, že trajektorie jsou s myšlenkou nevratnosti nelslučitelné. Studium trajektorií však není jediný způsob, jak k formulaci dynamiky dospět. Existuje také teorie statistických souborů, předložená Gibbsem a Einsteinem^{6, 18}, již je v případě souborů tvořených velkými počty molekul věnována značná pozornost. Zásadním novým prvkem této teorie je skutečnost, že „dynamickou“ teorii lze odvodit nezávisle na jakémkoliv přesnějším určení počátečních podmínek.

Teorie statistických souborů se týká dynamických systémů ve „fázovém“ prostoru. Dynamický stav bodové částice je určen polohou (ta je dána vektorem o třech složkách) a hybností (opět popsána vektorem o třech složkách). Tento stav lze znázornit dvěma body, přičemž každý z nich se nachází v třírozměrném prostoru, nebo jedním bodem v šestirozměrném prostoru tvořeném souřadnicemi a hybnostmi.* Jde o fázový prostor. Tuto geometrickou představu je možno rozšířit na libovolný systém tvořený n částicemi. K určení stavu systému pak po-

* Jeho osami jsou tři osy souřadnic a tři osy hybností. (pozn. překl.)

třebujeme $n \times 6$ „čísel“, nebo ho případně můžeme popsat jedním bodem v $6n$ -rozměrném fázovém prostoru. Vývoj takového systému v čase bude tedy popsán trajektorií ve fázovém prostoru.

Již bylo konstatováno, že přesné počáteční podmínky makroskopického systému nejsou nikdy známy. Avšak nic nám nebrání v tom, abychom tento systém *popsali* „souborem“ bodů, a to bodů odpovídajících různým dynamickým stavům, které jsou slučitelné s informacemi, které o systému máme. Každá oblast fázového prostoru může obsahovat nekonečné množství těchto tzv. „reprezentativních“ bodů. Jejich hustota je mírou pravděpodobnosti skutečného nalezení systému v této oblasti. Místo zavádění nekonečného počtu oddělených bodů je výhodnější zavést spojitou hustotu reprezentativních bodů ve fázovém prostoru. Tuto hustotu označíme $\rho(q_1 \dots q_{3n}, p_1 \dots p_{3n})$, kde q_1, q_2, \dots, q_{3n} jsou souřadnice n bodů a podobně p_1, p_2, \dots, p_{3n} jsou složky hybností (každý bod je popsán třemi souřadnicemi a třemi složkami hybností). Hustota ρ určuje pravděpodobnost nalezení dynamického systému v okolí bodu o souřadnicích $q_1, \dots, q_{3n}, p_1, \dots, p_{3n}$ ve fázovém prostoru.

Takto zavedená hustota ρ se může zdát idealizací, umělým vytvořením, zatímco trajektorie bodu ve fázovém prostoru jako by „přímou“ odpovídala popisu „přirozeného“ chování. Ale ve skutečnosti tím, co odpovídá idealizaci, je bod, nikoliv hustota. My však počáteční stav nikdy s naprostou přesností, která by oblast fázového prostoru zredukovala v jediný bod, neznáme. Lze určit pouze soubor trajektorií vycházejících ze souboru reprezentativních bodů, které odpovídají našim znalostem o počátečním stavu systému. Funkce hustoty ρ vyjadřuje vědomosti o systému, a čím jsou tyto znalosti úplnější a přesnější, tím menší je oblast fázového prostoru, ve které je hodnota této funkce hustoty nenulová a kde lze tedy systém nalézt. Pokud by hustota měla mít všude stále stejnou hodnotu, nevěděli bychom o stavu systému nic a systém by se mohl nacházet v kterémkoliv z možných stavů, které jsou slučitelné s jeho dynamickou strukturou.

Z tohoto hlediska představuje bod *maximum znalostí* o systému. Je výsledkem limitního děje*, výsledkem stále rostoucí přesnosti našich znalostí. Jak poznáme v kapitole 9, základním problémem bude určení toho, kdy je limitní děj skutečně možný. Tento děj v důsledku rostoucí dokonalosti znamená, že přecházíme z oblasti, ve které je hodnota hustoty ρ nenulová, do jiné, menší oblasti uvnitř ní. Tímto způsobem

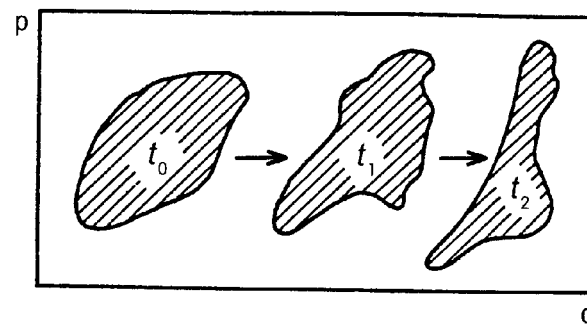
* Děj, při kterém se hodnota (např. funkce nebo řady) blíží k nějakému číslu, tzv. limitě. (pozn. překl.)

můžeme pokračovat tak dlouho, dokud oblast, ve které se systém nachází, nebude libovolně malá. Ale jak uvidíme, musíme být opatrní. „Libovolně malý“ neznamená „roven nule“ a předem není jisté, zda tento limitní děj umožní odpovídající předpověď „jediné, dobře definované“ trajektorie.

Logickým pokračováním Boltzmannova díla bylo zavedení teorie statistických souborů Gibbsem a Einsteinem. Z tohoto pohledu nahrazuje hustota ρ ve fázovém prostoru Boltzmannem použitou rozdělovací funkci $f(v,t)$, popisující výskyt částic s rychlostí v v nějaké oblasti prostoru a v čase t . Fyzikální význam hustoty ρ však význam rozdělovací funkce f přesahuje. Hustota ρ , stejně jako rozdělovací funkce f , určuje rozdělení rychlostí, ale obsahuje i jiné informace, např. pravděpodobnost setkání dvou částic v „jistě vzdálenosti od sebe“. Do funkce ρ je nyní zahrnut i vzájemný vztah částic, o kterém jsme se zmiňovali v předcházející části, a funkce ρ tedy ve skutečnosti obsahuje úplnou informaci o všech statistických charakteristikách systému o n tělesech (částicích).

Nyní musíme popsat vývoj hustoty ve fázovém prostoru. Na první pohled se tento úkol jeví jako ještě ctižádostivější než ten, který si v souvislosti s rozdělovací funkcí rychlostí dal sám Boltzmann. Ale tak tomu není. Hamiltonovy rovnice, probírané v kapitole 2, nám umožňují získat přesné odvození rovnice vývoje hustoty ρ bez dalších přiblížení. Je jí tzv. Liouvilleova rovnice, ke které se vrátíme v kapitole 9. Zde chceme pouze zdůraznit, že vlastnosti Hamiltonovy dynamiky zahrnují též skutečnost, že vývoj hustoty ρ ve fázovém prostoru je vývojem odpovídajícím *nestlačitelné tekutině*. Pokud se reprezentativní body jednou nacházejí v oblasti objemu V ve fázovém prostoru, zůstává velikost objemu tohoto prostoru v čase *neměnná*. Tvar oblasti se může libovolně měnit, ale její objem je stále stejný.

Gibbsova teorie statistických souborů tak připouští důsledné sloučování statistického přístupu (studium „souborů“ popsanych hustotou ρ) a zákonů dynamiky. Umožňuje i přesnější znázornění stavu termodynamické rovnováhy. V případě izolovaného systému odpovídá soubor reprezentativních bodů systémům, které mají stejnou energii E . Hodnota hustoty ρ bude nenulová jen na „mikrokanonické ploše“ odpovídající určité hodnotě energie ve fázovém prostoru. Rozložení hustoty ρ na této ploše může být zpočátku libovolné. V rovnováze se hustota ρ v čase měnit nemůže a musí být nezávislá na určitém počátečním stavu. Přejít k rovnováze má tedy ve smyslu vývoje hustoty ρ jednoduchý význam. Rozdělovací funkce (hustota) ρ má na mikrokanonické



Obr. 28 Časový vývoj „objemu obsahujícího reprezentativní body“ ve fázovém prostoru. Velikost objemu se na rozdíl od jeho tvaru nemění. Poloha ve fázovém prostoru je určena souřadnicemi q a hybností p .

ploše jednotný tvar. Každému z bodů této plochy přísluší stejná pravděpodobnost, že systém skutečně znázorňuje. Hovoříme o „mikrokanonickém souboru“.*

Zavádí nás teorie souborů blíže k řešení problému nevratnosti? Boltzmannova teorie popisuje termodynamickou entropii rozdělovací funkcí rychlosti f . Boltzmann tohoto výsledku dosáhl zavedením veličiny H . Jak jsme poznali dříve, systém se v čase vyvíjí tak dlouho, dokud není dosaženo Maxwelllovo rozdělení. Během tohoto vývoje hodnota veličiny H rovnoměrně klesá. Můžeme nyní obecněji pokládat vývoj rozdělení ρ ve fázovém prostoru směrem k mikrokanonickému souboru za základ pro růst entropie? Stačilo by Boltzmannovu veličinu H vyjádřenou pomocí f nahradit „Gibbsovou“ veličinou H_G , definovanou stejným způsobem, ale tentokrát vyjádřenou ρ ? Bohužel odpověď na obě otázky zní „Ne“. Použijeme-li Liouvilleovu rovnici, která vývoj hustoty ρ ve fázovém prostoru popisuje, a uvážíme-li zachování objemu oblasti fázového prostoru, o kterém jsme se již zmínili, je výsledek nasnadě. H_G je konstanta, a nemůže tedy představovat entropii. S ohledem na Boltzmann se to však zdá být spíše krok zpět než kupředu!

Jakkoliv je Gibbsův závěr záporný, je velmi důležitý. Již jsme pro-

* Systém je z makroskopického hlediska tzv. uzavřen tím, že jsou dány jeho energie, vnější „vlastnosti“ (tj. parametry) a počty jednotlivých druhů částic. Statistický soubor takových systémů je pak mikrokanonickým souborem. (pozn. překl.)

brali *nejednoznačnost představ pořádku a nepořádku*. To, že H_G je konstantní, znamená, že jakákoliv změna v rámci dynamické teorie nevede ke změně uspořádání! „Informace“ vyjádřená H_G zůstává stálá. Lze tomu rozumět následovně: viděli jsme, že srážky přinášejí vzájemný vztah (korelace). Z hlediska rychlosti je výsledkem srážek jejich náhodné chování, a proto lze tento děj popsat jako přechod od pořádku k nepořádku. Výskyt vzájemných vztahů (korelací) jako výsledek srážek však ukazuje do opačného směru, k přechodu od nepořádku k pořádku! Gibbsův výsledek ukazuje, že se dva jevy navzájem přesně ruší.

Dospěli jsme tedy k významnému závěru. Při užití libovolného vyjádření, ať je to představa trajektorií nebo Gibbsova a Einsteinova teorie statistických souborů, nebudeme nikdy schopni odvodit teorii nevratných dějů, která by platila pro každý systém vyhovující klasické (nebo kvantové) dynamice. Dokonce neexistuje způsob, jak hovořit o přechodu z pořádku k nepořádku! Jak máme tyto záporné výsledky chápat? Je nějaká teorie nevratných dějů v naprostém rozporu s dynamikou (ať klasickou nebo kvantovou)? Často se navrhovalo, abychom zahrnuli nějaké kosmologické členy, které by vyjádřily vliv rozpínajícího se vesmíru na pohybové rovnice. Kosmologické členy by konečně poskytl šipku času. Tento názor je však obtížné přijmout. Na jedné straně není jasné, jak bychom tyto kosmologické členy měli připojit, na druhé straně se zdá, že přesné dynamické pokusy možnost existence těchto členů vylučují, a to přinejmenším v pozemském měřítku, kterým se zde zabýváme. (Uvažte například přesnost kosmických pokusů, které ve značné míře potvrzují platnost Newtonových rovnic.) Na druhé straně, jak jsme již uvedli, žijeme v pluralistickém světě, v němž vratné a nevratné děje existují společně v jednom a téže rozpínajícím se vesmíru.

Ještě radikálnější závěr je spolu s Einsteinem prohlášovat, že čas jako nevratnost je iluze, která nikdy nenalezne své místo v objektivním fyzikálním světě. Naštěstí existuje jiné východisko (prozkoumáme je v kapitole 9). Nevratnost, jak jsme opakovaně uváděli, není univerzální vlastností, a proto nelze očekávat obecné odvození nevratnosti z dynamiky.

Gibbsova teorie souborů ve srovnání s dynamikou pracující s trajektoriemi zavádí další velmi důležitý prvek – naši neznalost přesných počátečních podmínek. Není pravděpodobné, že by tato neznalost sama vedla k nevratnosti.

Neměli bychom být tedy překvapeni neúspěchem. Dosud jsme ne-

určili zvláštní vlastnosti, které musí mít dynamický systém, má-li vést k nevratným dějům.

Proč tak velký počet vědců ochotně přijal subjektivní vysvětlení nevratnosti? Jak jsme již poznali, přitažlivost tohoto vysvětlení možná částečně spočívá ve skutečnosti, že nevratný nárůst entropie byl zpočátku spojován s naší neschopností ovládat děje, které jsou ideálně vratné.

Avšak jakmile opustíme nepodstatná spojování s technickými problémy, stává se toto vysvětlení ihned nesmyslným. Připomeňme souvislosti, které druhé větě termodynamiky propůjčily význam přirozené šipky času. Podle subjektivního výkladu by chemická afinita, vedení tepla, viskozita a všechny vlastnosti spojené s nevratným nárůstem entropie závisely na pozorovateli. Navíc rozsah jevů vyvolávajících nevratnosti v biologii nelze považovat za pouhý přelud vyvolaný naší neznalostí. A my sami, živé bytosti schopné pozorování a ovládnutí, jsme rovněž pouhou iluzí vyvolávanou našimi nedokonalými smysly? Rozdíl mezi životem a smrtí je iluzí?

Současný vývoj termodynamické teorie přilil oleje do střetu s dynamikou. Snahy omezit výsledky termodynamiky na pouhá přiblížení, vyvolaná našimi nedokonalými znalostmi, se zdají být chybně zaměřeny v okamžiku, kdy je pochoopen tvořivý význam entropie a kdy je odhalena možnost zesilování fluktuací. A opačně – je obtížné odmítnout dynamiku ve jménu nevratnosti: v pohybu ideálního kyvadla není žádná nevratnost. Zřetelné jsou dva střetávající se světy, svět trajektorií a svět dějů a neexistuje možnost, jak jeden prosazováním druhého odmítnout.

Toto střetnutí je do jisté míry analogií sporů, ze kterých vzešel dialektický materialismus. V kapitolách 5 a 6 jsme popsali přírodu, kterou bychom mohli nazvat „dějinnou“, tedy schopnou vývoje a inovací. Dějiny přírody jako nedílná část materialismu byly prosazovány Marxem a podrobněji Engelsem. Současný vývoj fyziky a odhalení tvořivé úlohy nevratnosti tak v přírodních vědách vyvolaly otázku, kterou si již materialisté kladli dlouho. Pochopení přírody pro ně znamenalo pochopit ji jako schopnou tvorby člověka a lidské společnosti.

V době, kdy Engels psal svou *Dialektiku přírody*, se zdálo, že fyzikální vědy odmítly mechanistický světový názor a že se více přimkly k myšlence dějinného vývoje přírody. Engels zmiňuje tři zásadní objevy – energie a zákonů řídících její kvalitativní přeměny, buňky jako základní složky života a Darwinův objev vývoje druhů. Engels došel ve

světlo těchto velkých objevů k závěru, že mechanistický světový názor je mrtev.

Mechanicismus však zůstal základním problémem, kterému dialektický materialismus čelil. Jaké jsou vztahy mezi obecnými zákony dialektiky a stejně obecnými univerzálními zákony mechanického pohybu? „Přestávají“ tyto zákony pohybu po dosažení jistého stavu platit, nebo jsou pouze chybné a neúplné? Abychom se vrátili k naší předcházející otázce, jak lze vůbec spojit navzájem svět dějů a svět trajektorií?¹⁹

Kritizovat subjektivní pojetí nevratnosti a zdůrazňovat jeho slabost je snadné, avšak pokračovat a odvodit „objektivní“ teorii nevratných dějů zdaleka tak snadné není. Dějiny tohoto námětu obsahují jisté dramatické tóny. Mnoho lidí věří, že to bylo poznání základních problémů, co mohlo vést k Boltzmannově sebevraždě v roce 1906.

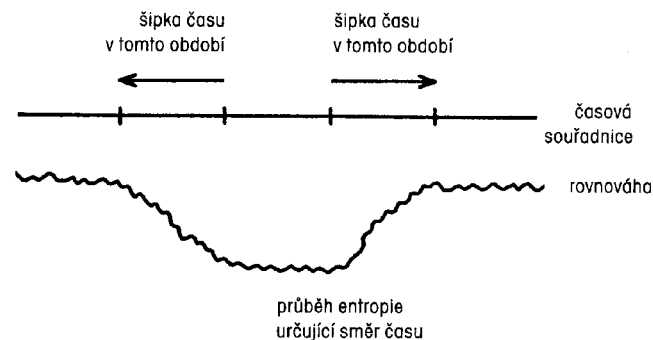
Boltzmann a šipka času

Jak jsme si všimli, Boltzmann zpočátku myslel, že by mohl prokázat, že šipka času je určena vývojem dynamických systémů směrem ke stavům s vyšší pravděpodobností, nebo s vyšším stupněm uspořádanosti, který by se v čase zvyšoval. Zmínili jsme se též o Poincarého a Zermelových výhradách. Poincaré prokázal, že každý uzavřený dynamický systém se v čase vrací k svému předchozímu stavu. Bez přestání se tak vrací všechny stavy. Jak by tedy mohla být taková věc, jakou je „šipka času“, spojována s nárůstem entropie? Tato otázka přiměla Boltzmannu k pronikavé změně postoje. Vzdal se snahy prokázat existenci šipky času a přišel s myšlenkou, která v jiném smyslu omezila zákon o nárůstu entropie v tautologii. Boltzmann nyní argumentoval, že šipka času je pouhou úmluvou, kterou my (nebo snad všechny lidské bytosti) zavádíme do světa, ve kterém neexistuje žádné objektivní rozlišení minulosti a budoucnosti. Citujme Boltzmannovu odpověď Zermelovi:

„Máme na výběr dvě možnosti. Buď předpokládáme, že se celý vesmír nyní nachází ve vysoce nepravděpodobném stavu. Nebo předpokládáme, že dlouhá období, po která tento nepravděpodobný stav trvá a vzdálenost od nás ke hvězdě Sirius jsou „minutou“ ve srovnání se stářím a rozměrem celého vesmíru. V takovém vesmíru, který je jako celek ve stavu tepelné rovnováhy a je tudíž mrtev, lze tu a tam nalézt poměrně malé oblasti o velikosti, jakou má naše galaxie. Stav těchto oblastí (mů-

žeme je nazývat „světy“) se po relativně „krátká“ časová období výrazně odchylojí od stavu tepelné rovnováhy. Mezi těmito světy vzrůstá pravděpodobnost jejich stavu (tj. entropie) zároveň s tím, jak se zmenšují. Ve vesmíru jako celku jsou oba směry času nerozlišitelné stejně jako ve vesmíru, v němž žádné „nahoru“ nebo „dolů“ neexistuje. Nicméně, stejně jako my, když na jistém místě zemského povrchu určujeme směr do středu Země jako „dolů“, může i živý organismus, který se v takovém světě v určitém časovém období nachází, určit „směr“ času jako směr od méně pravděpodobného stavu ke stavu pravděpodobnějšímu (přičemž ten první bude „minulostí“ a druhý „budoucností“) a na základě této definice zjistí, že jeho malá oblast, oddělená od zbytku vesmíru, se „zpočátku“ nachází vždy v nepravděpodobném stavu. Zdá se mi, že tento způsob nazírání je jediný, který nám umožňuje pochopit platnost druhé věty termodynamiky a „tepelné smrti“ každého jednotlivého světa bez vyvolání jednosměrné změny veškerého vesmíru z určitého počátečního stavu do konečného, definitivního stavu.“²⁰

Boltzmannovu myšlenku lze učinit srozumitelnější odkazem na schéma navržené Karlem Popperem (obrázek 29). Šipka času by byla stejně libovolná jako svislá osa určená směrem gravitačního pole.



Obr. 29 Popperova schematická představa Boltzmannova kosmologického vysvětlení šipky času (viz text).

Popper v komentáři k Boltzmannovu textu napsal:

„Myslím, že Boltzmannův nápad ohromuje svou smělostí a krásou. Ale také si myslím, že je, přinejmenším pro realistu, zcela neudržitelný. Označuje jednosměrnou změnu jako přelud. To činí z hirošimské katastrofy iluzi. Tak se stává přeludem i náš svět a s ním i všechny naše snahy vypátrat o něm víc. Poráží tedy sám sebe podobně jako každý idealismus. Boltzmannova idealistická hypotéza ad hoc se střetává s jeho realistickou a téměř vášnivě podporovanou protiidealistickou filosofií a s jeho vroucí touhou po vědění.“²¹

S Popperovými poznámkami se plně ztotožňujeme a jsme přesvědčeni, že nastal čas, abychom se ještě jednou ujali Boltzmannova úkolu. Jak jsme řekli, dvacáté století zažilo velkou koncepční revoluci v teoretické fyzice a zrodila se nová naděje na sjednocení dynamiky a termodynamiky. Vstupujeme do nového období dějin času, období, ve kterém lze jak bytí, tak vznikání sloučit v jednu vzájemně si neodporující představu.

Kapitola 9 Nevratnost, entropie jako překážka

Entropie a šipka času

V předcházející kapitole jsme popsali některé obtíže teorie nevratných dějů v mikroskopické oblasti. Její vztah k dynamice, ať klasické či kvantové, nemůže být jednoduchý, protože nevratnost a ji doprovázející nárůst entropie nemohou být obecným důsledkem dynamiky. Teorie nevratných dějů v mikroskopické oblasti vyžaduje další, a to mnohem přesněji vymezené podmínky. Musíme připustit pluralistický svět, v němž se vyskytují vratné i nevratné děje společně. Není však snadné takový pluralistický svět připustit.

Voltaire ve svém *Dictionnaire philosophique* (*Filosofickém slovníku*) napsal následující řádky týkající se osudu:

„...vše je řízeno nezměnitelnými zákony... vše je předem uspořádáno... vše je nezbytným důsledkem... Jsou lidé, kteří vyděšeni touto pravdou připouštějí z ní polovinu jako dlužníci, kteří svým věřitelům nabízejí splátku poloviny dluhu a pro zbytek žádají odklad. Jsou události, které, jak říkají, jsou nevyhnutelné, a jiné, které nejsou. Bylo by podivné, kdyby část z toho, co se stane, se stát musela a druhá nikoliv... K tomu, abych tyto řádky napsal, musím mít nutně chuť a i vy, abyste mne odsoudil, musíte cítit zlost. Jsme oba stejně bláhoví, oba hříčkou v rukách osudu. Ve vaší přirozenosti je konat zlo, v mé milovat pravdu a zveřejnit ji proti vaší vůli.“¹

Jakkoliv znějí přesvědčivě, mohou nás tyto předem dané důvody svěst na zcestí. Voltairovo uvažování je newtonovské: příroda se vždy zařídí podle sebe. Ale dnes se kupodivu sami nacházíme v podivném světě, kterému se Voltaire vysmíval. Jsme překvapeni, že odkrýváme kvalitativní rozmanitost, již nabízí příroda.

Nepřekvapuje, že lidé kolísají mezi dvěma krajnostmi, mezi vyloučením nevratnosti z fyziky, jak to obhajoval Einstein,² a mezi zdůrazňováním významu nevratnosti, jak je uvedeno ve Whiteheadově pojetí dějů. Nemůže být pochyb, že nevratnost na makroskopické úrovni existuje a že má, jak jsme ukázali v kapitolách 5 a 6, důležitou konstruk-

tivní úlohu. V mikroskopickém světě proto musí být něco, co se projevuje v makroskopickém světě jako nevratnost.

Teorie v mikroskopické oblasti musí vysvětlovat dva úzce svázané prvky. Především musíme následovat Boltzmannova v jeho snahách vytvořit mikroskopický model entropie (Boltzmannova funkce H), která se rovnoměrně mění v čase. Tato změna musí určovat naši šipku času. Nárůst entropie izolovaného systému musí vyjadřovat stárnutí systému.

S šipkou času se můžeme často setkat, aniž bychom byli schopni spojit entropii s druhem uvažovaných dějů. Popper udává jednoduchý příklad systému představujícího jednosměrný děj, a tedy i šipku času:

„Předpokládejme, že filmujeme rozsáhlou vodní hladinu, která byla zpočátku v klidu a do níž byl vhozen kámen. Zpětně promítaný film ukáže stahující se kruhové vlny, jejichž amplituda vzrůstá. Navíc, bezprostředně za hřebenem nejvyšší vlny se ve směru k místu, do něhož se vlny „stahují“, bude nacházet kruhová oblast „klidné“ hladiny. Tento průběh nelze považovat za klasický děj. Klasický děj by vyžadoval ohromný počet vzdálených koherentních generátorů vln. Vlny by k tomu, aby byly vysvětlitelné, musely být na filmu ukázány jako vytvářející se z jednoho místa, což znovu vyvolává přesně stejné potíže, jestliže pozmeněný film zkusíme převrátit.“³

Skutečně, bez ohledu na naše technické vybavení, bude kolem středu oblast, v níž nejsme schopni stahující se vlny vytvářet. To jsou jednosměrné děje. Mnoho dalších dějů stejného druhu, jaký ukazuje Popper, si lze představit. Nikdy nevidíme energii, která přichází ze všech stran a dopadá na hvězdu současně s pozpátku probíhajícími jadernými reakcemi, které by tuto energii absorbovaly.

Navíc mohou být další šipky času, například kosmologická šipka (viz výborný příspěvek M. Gardnera⁴). Předpokládáme-li, že počátkem vesmíru byl „velký třesk“, vyplývá z toho samozřejmě na kosmologické úrovni směr chodu času. Velikost vesmíru stále narůstá, ale poloměr vesmíru s entropií nejsme schopni ztotožnit. Avšak, jak jsme již uvedli, uvnitř rozpinajícího se vesmíru nacházíme jak vratné, tak nevrtné děje. Ve fyzice elementárních částic podobně existují děje, které souvisejí s tzv. „narušením T -symetrie“. Toto narušení znamená, že rovnice popisující vývoj systému v čase $+t$ jsou odlišné od rovnic popisujících vývoj v čase $-t$. Existence tohoto narušení nám však nebrání v tom, abychom ho zahrnuli do obvyklé (Hamiltonovy) formulace dynamiky. Žádná funkce entropie nemůže být definována jako výsledek narušení T -symetrie.

Připomíná se nám proslulá diskuse mezi Einsteinem a Ritzem publikovaná v roce 1909.⁵ Jde o velmi krátký a velmi neobvyklý článek, kratší než jedna strana. Je to pouhé vyjádření nesouhlasu. Einstein dokazoval, že nevratnost je důsledkem pojetí pravděpodobnosti zavedeného Boltzmannem. Ritz naopak tvrdil, že rozdíly „zpožděných“ a „předbíhavých“ vln mají zásadní význam. Tento rozdíl nám připomíná tvrzení Popperovo. Vlny, které pozorujeme na rybníce, jsou zpožděnými vlnami. Následují vhození kamene.

Jak Einstein, tak Ritz vnesli do diskuse o nevratnosti zásadní a nepostradatelné prvky, ale každý z nich zdůrazňoval jen část celé záležitosti. V kapitole 8 jsme se již zmínili o tom, že pravděpodobnost *předem předpokládá* směr času, a proto ji nelze užít k odvození šipky času. Rovněž jsme se zmínili, že vyloučení dějů, jako jsou „předsunuté“ vlny, nutně nevede k formulaci druhé věty termodynamiky. Oba typy argumentů potřebujeme.

Nevratnost – děj narušující symetrii

Dříve než budeme pojednávat o problému nevratnosti, připomeňme si, jak lze odvodit jiný druh narušení symetrie – narušení prostorové symetrie. V rovnicích popisujících difúzně reakční systémy mají levé a pravé strany stejnou úlohu [rovnice difúze se při záměně (tedy „prostorové inverzi“) $r \rightarrow -r$ nezmění, zůstane invariantní]. Jak jsme nicméně poznali, bifurkace mohou vést k řešením, ve kterých dochází k narušení symetrie (viz kapitolu 5). Například koncentrace některé složky může být „vlevo“ vyšší než „vpravo“. Symetrie rovnic pouze vyžaduje, aby se řešení narušující symetrii objevovala ve dvojicích.

Ovšem je i mnoho difúzně reakčních rovnic, které bifurkace neobsahují, a tudíž nemohou prostorovou symetrii narušit. Narušení prostorové symetrie vyžaduje jiné, velmi zvláštní podmínky. Tato skutečnost má velký význam pro pochopení dočasně narušení symetrie, o které se zde zajímáme především. Musíme nalézt systémy, u kterých pohybové rovnice mohou vést k *menší symetrii*.

Rovnice jsou vůči inverzi času $t \rightarrow -t$ skutečně neměnné (invariantní). Ale sestavení těchto rovnic může odpovídat vývoji, který tuto symetrii ztrácí. Jedinou podmínkou, která je symetrii rovnic položena, je skutečnost, že se tyto rovnice vyskytují v párech. Nalezneme-li například jedno řešení vedoucí k rovnováze ve velmi vzdálené budouc-

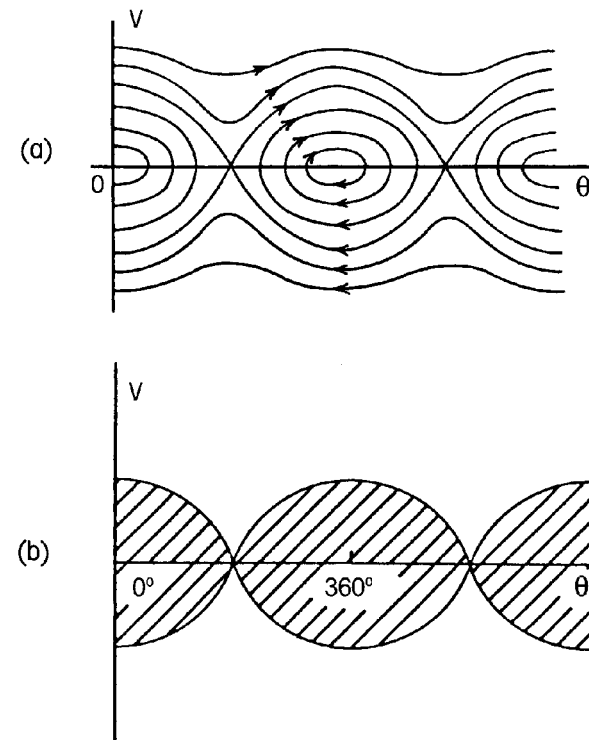
ností (a nikoliv ve velmi vzdálené minulosti), měli bychom též nalézt řešení vedoucí k symetrii ve velmi vzdálené minulosti (a nikoliv ve velmi vzdálené budoucnosti). Řešení s narušenou symetrií se vyskytují v párech.

Pokud jednou takový stav nalezneme, budeme moci vyjádřit skutečný význam druhé věty termodynamiky. Druhá věta termodynamiky se stává výběrovým pravidlem, podle něhož lze v přírodě ze dvou typů řešení uskutečnit nebo pozorovat jen jeden. Kdykoliv je druhá věta termodynamiky užita, vyjadřuje vnitřní polarizaci přírody. Druhá věta termodynamiky nemůže být nikdy výsledkem dynamiky samotné. Musí vypadat jako doplňující výběrové pravidlo, které, je-li užito, je šířeno dynamikou. Ještě před několika roky se zdálo nemožné pokusit se o takový program. Avšak dynamika během několika posledních desetiletí dosáhla významného pokroku a my nyní chápeme, jak se v „dostatečně složitých“ dynamických systémech tato symetrii narušující řešení objevují a co výběrové pravidlo, vyjádřené druhou větou termodynamiky na mikroskopické úrovni, znamená. A to se pokusíme v následující části této kapitoly ukázat.

Meze klasických pojetí

Začneme s klasickou mechanikou. Jak jsme se již zmínili, má-li být trajektorie základním nezjednodušitelným prvkem, svět by byl tak vratný, jako jsou trajektorie, ze kterých je utvářen. V tomto popisu by nebylo ani entropie, ani šipky času; v důsledku nečekaného pokroku v poslední době se však platnost pojetí trajektorií zdá být mnohem omezenější, než bychom očekávali. Vraťme se ke Gibbově a Einsteinově teorii statistických souborů zmiňované v kapitole 8. Poznali jsme, že Gibbs i Einstein zavedli do fyziky fázový prostor pro popis skutečnosti, že „neznáme“ počáteční stav systémů tvořených velkým počtem částic. Rozdělovací funkce ve fázovém prostoru jim byla pouze pomocnou konstrukcí, vyjadřující *de facto* naši skutečnou neznalost stavu, který byl dobře určen *de iure*. Avšak jakmile lze ukázat, že *pro jisté druhy systémů* naprosto přesné určení počátečních podmínek vede k protichůdným postupům, dostává celý problém nové rozměry. Nastane-li tento stav, skutečnost, že nikdy neznáme jednotlivou trajektorii, ale skupinu, soubor trajektorií ve fázovém prostoru, není pouhým vyjádřením mezi našich znalostí. Stává se i výchozím bodem nového způsobu zkoumání dynamiky.

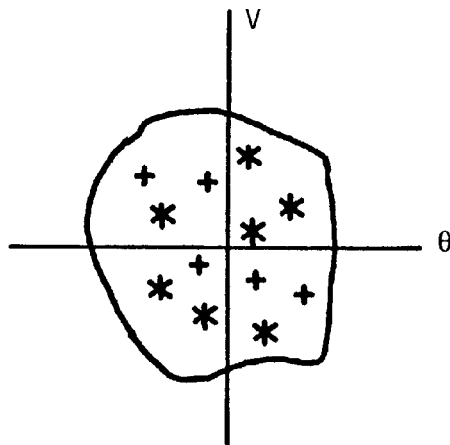
Je pravda, že v jednoduchých případech se problémy neobjevují. Věnujme se kyvadlu. Jak například může kmitat nebo jinak se otáčet kolem své osy v souladu s počátečními podmínkami. K tomu, aby se otáčelo, musí být jeho kinetická energie dostatečně vysoká, aby „se nevracelo“ dříve, než dosáhne svislé polohy. Tyto dva druhy pohybu určují dvě oddělené oblasti fázového prostoru. Příčina je naprosto jednoduchá – otáčení vyžaduje více energie než kmitání (viz obrázek 30).



Obr. 30 Znárodnění pohybu kyvadlu v prostoru, ve kterém je V rychlost a θ úhel vychýlení; (a) typické trajektorie ve (V, θ) prostoru; (b) vyšraťované oblasti odpovídají kmitům, zbylé oblasti otáčení.

Pokud nám naše měření umožní zjistit, že systém se zpočátku nachází v dané oblasti, můžeme spolehlivě předpovědět druh pohybu, který bude kyvadlo vykonávat. Přesnost našich měření lze zvýšit a umístit počáteční stav kyvadla do menší oblasti obklopené předcházejícími oblastmi. V každém případě známe chování systému po celou dobu, takže nic nového nebo nečekaného snad nenastane.

Jedním z nejpřekvapivějších výsledků dosažených ve dvacátém století je skutečnost, že *takový popis obecně neplatí*. Naopak, chování většiny „dynamičtějších“ systémů je zcela nestabilní.⁶ Označme jeden typ trajektorie (například příslušející kyvu) + a druhý (například příslušející otáčení) *. Místo obrázku číslo 30, ve kterém byly dvě oblasti odděleny, obvykle nacházíme směsici stavů, která přechod v jeden bod činí nejednoznačným (viz obrázek 31). Víme-li jenom to, že počáteční stav našeho systému je v oblasti A, nemůžeme usuzovat, že tato trajektorie je typu +, naprosto stejně může být i typu *. Ničeho nedosáhneme ani zvyšováním přesnosti přechodem z oblasti A do menší oblasti, která se uvnitř této oblasti nachází. Neurčitost přitom zůstává. *Stavy příslušející každému ze dvou typů trajektorií existují vždy ve všech oblastech, ať jsou jakkoliv malé.*⁷



Obr. 31 Schematické znázornění libovolně malé oblasti fázového prostoru V systému s dynamickou nestabilitou. Podobně jako v případě kyvadla existují dva typy trajektorií (v obrázku znázorněné + a *). Avšak oba pohyby se na rozdíl od kyvadla vyskytují v každé, libovolně malé oblasti.

Trajektorie se v takových systémech stávají *nepozorovatelnými*. Tato nestabilita představuje meze newtonovské idealizace. Nezávislost dvou základních prvků newtonovské dynamiky, dynamické rovnice a počátečních podmínek, zmizela. Dynamické rovnice se střetávají s určováním počátečních podmínek. Lze si připomenout způsob, jakým si Anaxagoras* představoval bohatství tvůrčích možností přírody. Každý předmět podle něj obsahoval ve své každé části nekonečnou rozmanitost kvalitativně odlišných semen. A i zde „vykazuje“ každá oblast fázového prostoru mnoho kvalitativně odlišných chování.

Z tohoto pohledu se zdá, že dynamická trajektorie má omezené použití. Vzhledem k tomu, že nejen v praxi, ale i teoreticky nejsme schopni systém trajektorií popsat a *musíme* užít rozdělovací funkci odpovídající oblasti konečné (libovolně malé) velikosti ve fázovém prostoru, můžeme jen předpovědět *statistickou* budoucnost systému.

Náš přítel Leon Rosenfeld říkával, že konceptům lze porozumět pouze *prostřednictvím jejich mezí*. V tomto smyslu by se tedy zdálo, že klasickou mechaniku, která razila cestu moderní vědě, nyní chápeme lépe.

Ale jak se toto nové stanovisko objevilo? Musíme popsat dramatické změny dynamiky, kterými dynamika během tohoto století prošla. I když byla považována za opravdový vzor celistvé a úplné oblasti poznání, byla ve skutečnosti zcela přetvořena.

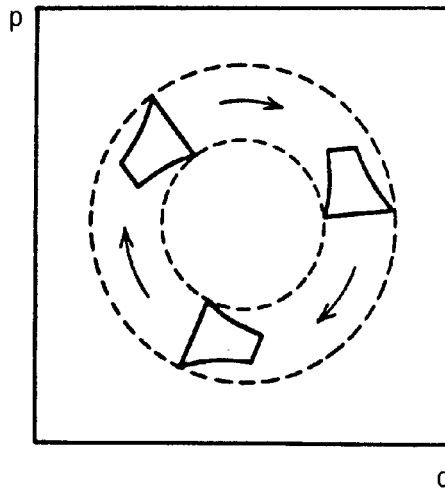
Obrození dynamiky

V první části této knihy jsme nabídli popis dynamiky, jak byl vytvořen v devatenáctém století. Tento popis je stále uváděn v mnoha učebnicích. Vzorem dynamického systému byl integrovatelný systém. Pro řešení pohybových rovnic bylo třeba stanovit „správný“ souřadnicový systém tak, aby odpovídající momenty byly nezávislé na pohybu. Vzájemné působení pohybujičích se celků tak bylo vyloučeno. Tento přístup však selhal. Již jsme se zmínili, že Bruns a Poincaré na konci de-

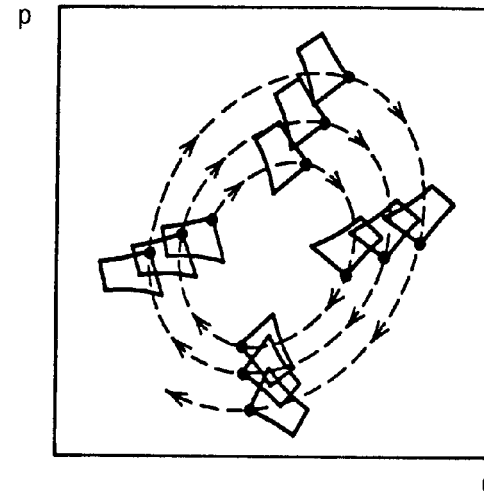
* Anaxagoras (asi 500–428 př. Kr.) – živočichové podle něj vznikli ze semen padajících z nebe. Za sídlo rozumu v člověku považoval mozek, a nikoliv, jak bylo tehdy obvyklé, srdce. Svět podle něj stvořil „božský duch“, ten pak ale ustoupil do pozadí a ponechal svět už jen jeho vlastním zákonům, tedy působení materiálních sil na materiální objekty. Anaxagoras též tvrdil, že žádná věc nevzniká a nezaniká, nýbrž se slučuje a rozkládá z „jsoucích elementů“. (pozn. překl.)

vatenáctého století ukázali, že většina dynamických systémů, počínaje známým problémem tří těles, není integrovatelná.

Na druhé straně myšlenka přiblížení se rovnováze ve smyslu teorie statistických souborů vyžaduje překonat idealizaci integrovatelných systémů. Jak bylo dovozeno v kapitole 8, je podle teorie statistických souborů izolovaný systém v rovnováze tehdy, je-li „mikrokanonickým souborem“, kdy všechny body vytvářející „plochu dané energie“ mají stejnou pravděpodobnost. To znamená, že aby se systém vyvíjel směrem k rovnováze, musí být energie jedinou veličinou, která se během vývoje systému zachovává. Energie musí být jediným „invariantem“. Vývoj nezávisle na počátečních podmínkách musí zasáhnout všechny body vytvářející „plochu dané energie“. Energie není zdaleka jediným invariantem v integrovatelném systému. Ve skutečnosti počet invariantních veličin odpovídá počtu stupňů volnosti, pokud každá zobecněná hybnost zůstává konstantní. Musíme proto očekávat, že takový systém je uvězněn ve velmi malém „zlomku“ plochy dané energie (viz obrázek 32), který je vymezen průnikem všech těchto invariantních ploch.



Obr. 32 Časový vývoj buňky ve fázovém prostoru p, q . „Objem“ buňky a její tvar se v čase zachovávají; většina fázového prostoru je mimo to pro systém nepřístupná.



Obr. 33 Typický vývoj buňky odpovídající ergodickému systému ve fázovém prostoru. Čas „ubíhá“, „objem“ a tvar se zachovávají, ale buňka se celým fázovým prostorem točí ve spirále.

Aby se těmto potížím zabránilo, zavedli Maxwell a Boltzmann nový, zcela odlišný dynamický systém, u kterého je energie jediným invariantem. Takové systémy nazýváme „ergodickými“ (viz obrázek 33).*

K teorii ergodických systémů značně přispěli, abychom jmenovali alespoň některé, Birkhoff, von Neumann, Hopf, Kolmogorov a Sinai^{8, 9, 10}. Dnes víme, že existují rozsáhlé třídy dynamických (i když „nehamiltonovských“) systémů, které jsou ergodické. Je též známo, že i poměrně jednoduché systémy mohou mít silnější vlastnosti, než je „ergodičnost“. Pro tyto systémy platí, že pohyb ve fázovém prostoru se stává

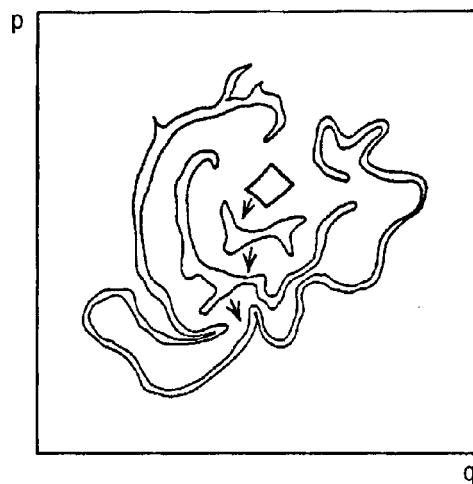
* Maxwell (1879) a Boltzmann (1871) vyslovili „ergodický předpoklad“, podle něhož fázová trajektorie projde v libovolně malé vzdálenosti každého bodu energetické nadplochy. Ergodický předpoklad zobecňuje zákon velkých čísel na spojitě děje. Vyjadřuje skutečnost, že časové či prostorové ustředňování u stacionárních, resp. homogenních náhodných dějů každé realizace vede ke stejnému výsledku. Tento výsledek je shodný s matematickou pravděpodobností za předpokladu, že pravděpodobnost je spojitá veličina. (pozn. překl.)

vysoce chaotickým (i když se v souladu s Liouvilleovou rovnicí – zmínili jsme se o ní v kapitole 7 – stále zachovává objem).

Předpokládáme, že znalost počátečních podmínek umožňuje umístit systém do malé „buňky“ fázového prostoru. Při svém vývoji se tato počáteční buňka zakrucuje a otáčí a podobně jako měňavka vysílá do všech směrů „panožky“ (pseudopodia), přičemž se roztahuje do stále tenčích a zkroucenějších vláken, až postihne celý prostor.

Žádný náčrtek nemůže dostatečně vystihnout složitost tohoto procesu. Dva body, které se ve fázovém systému nacházejí libovolně blízko vedle sebe, mohou při dynamickém vývoji utvářejícího se systému směřovat různými směry. I při množství informací, kdy počáteční buňka vytvářená významnými body je velmi malá, přetváří dynamický vývoj tuto buňku ve skutečnou geometrickou „příšeru“, která síť svých vláken roztahuje do celého fázového prostoru.

Dále bychom rádi ukázali několik jednoduchých příkladů stabilních a nestabilních systémů. Uvažujme dvourozměrný fázový prostor (tedy prostor, který je popsán dvěma souřadnicemi). V pravidelných časo-

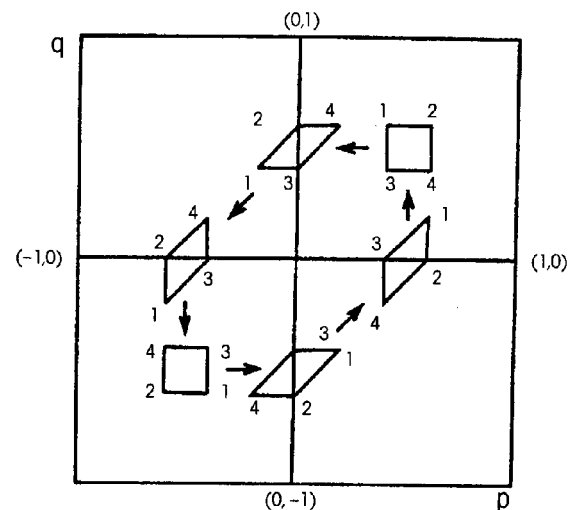


Obr. 34 Typický vývoj buňky ve fázovém prostoru odpovídající „utvářejícímu se“ systému. Její objem se stále zachovává, ale tvar již nikoliv – buňka se postupně „rozšiřuje“ do celého fázového prostoru.

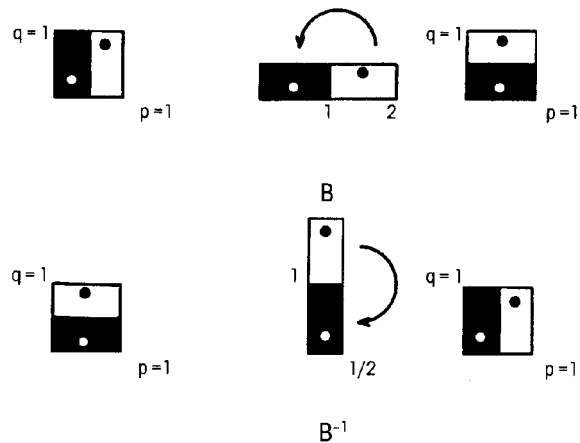
vých okamžicích nahradíme tyto souřadnice novými. Nový bod na svislé ose je $p-q$, nová souřadnice je p . Obrázek 35 ukazuje, co se stane, použijeme-li tuto operaci na čtverec. Čtverec se přetváří, ale po šesti přeměnách se vracíme k původnímu tvaru (čtverci). Systém je stabilní: sousední body se přeměňují v sousední body. Navíc jde o cyklickou přeměnu (po šesti proměnách se znovu objeví původní čtverec).

Uvažujme nyní dva příklady vysoce nestabilních systémů, první matematický a druhý typicky fyzikální. První systém spočívá v transformaci, kterou matematici z pochopitelných důvodů nazývají „pekařskou transformací“.^{9, 10} Máme čtverec, ten „uhladíme“ v obdélník a potom poloviny obdélníku přeložíme na sebe, abychom opět vytvořili čtverec. Popsaný sled operací je ukázán na obrázku 36 a lze ho libovolně opakovat.

Povrch čtverce je pokaždé rozbit, „hněten“ a znovu „rozválen“, tedy přerozdělen. Čtverec v tomto případě odpovídá fázovému prostoru. „Pekařská transformace“ přetváří každý bod v nový, přesně určený bod. Ačkoliv je řada bodů získaných tímto způsobem „deterministická“, systém kromě toho vykazuje i nejjednodušitelné statistické rysy.



Obr. 35 Přeměny objemu ve fázovém prostoru nespojitým přeměňováním: první souřadnice p se stává $p-q$, druhá souřadnice q se stává p . Přeměna je kruhová, po šesti přeměnách se znovu objevuje prvotní buňka.

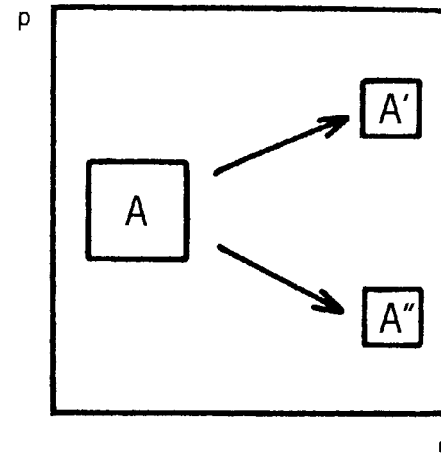


Obr. 36 Uskutečnění „pekařské transformace“ (B) a její inverze (B^{-1}). Přemisťování obou vyznačených bodů naznačuje podstatu přeměny.

Vezměme si například systém, který je popsán takovou počáteční podmínkou, že oblast A čtverce je zpočátku jednotně vyplněna významnými body. Lze ukázat, že po dostatečném počtu opakování transformace se tato buňka *bez ohledu na svou velikost a umístění rozpadne* na kousky (viz obr. 37). Podstatné je, že každá oblast bez ohledu na svou velikost obsahuje vždy různé trajektorie, které se při každém dělení rozbíhají. Třebaže je vývoj bodu vratný a deterministický, je popis libovolné malé oblasti v podstatě statistický.

S podobným příkladem se setkáváme při rozptylu tuhých koulí. Lze uvažovat malou kouli odražející se od souboru velkých, náhodně rozmístěných koulí, o kterých se předpokládá, že jsou upevněné. Jde o model, který fyzikové podle slavného holandského fyziků Hendrika Antoona Lorentze nazývají „Lorentzovým modelem“.

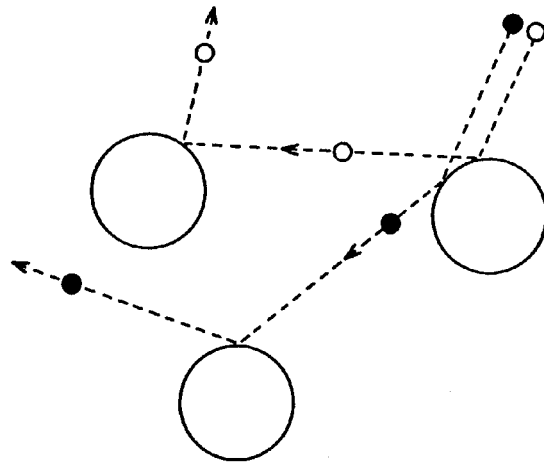
Trajektorie malé pohyblivé koule je dobře určena. Přesto zavedeme-li do počátečních podmínek libovolně malou neurčitost, srážky tuto neurčitost postupně „zesilují“. Po čase je pravděpodobnost, že se malá koule nachází v daném objemu, neproměnná. Do původního stavu se bez ohledu na počet přeměn nikdy nevrátíme.



Obr. 37 Časový vývoj nestabilního systému. Čas ubíhá a oblast A se rozštěpí v oblasti A' a A'' , které se dále dělí.

V posledních dvou příkladech se setkáváme se silně *nestabilními* dynamickými systémy. Tento jev nám připomíná nestability objevující se v termodynamických systémech (viz kapitola 5). Libovolně malé rozdíly v počátečních podmínkách jsou zesilovány. Důsledkem je nemožnost přechodu od statistických souborů ve fázovém systému k jednotlivým trajektoriím. Výchozím bodem musí být popis v pojmech statistických souborů. Statistická pojetí již dále nejsou pouhým přiblížením s ohledem na nějakou „objektivní pravdu“. Při setkání s těmito nestabilními systémy je Laplaceův démon stejně bezmocný jako my.

Einsteinovo rčení „Bůh nehraje v kostky“ je dobře známo. Poincaré ve stejném duchu prohlašoval, že pro vynikajícího matematika se náhodnost nevyskytuje. Avšak sám na tento problém hledal odpověď.¹¹ Všiml si, že když házíme kostky a užijeme počet pravděpodobnosti, neznamená to, že předpokládáme, že dynamika musí být chybná. Znamená to něco zcela jiného. Pravděpodobnost užíváme proto, že v každém, jakkoli malém rozsahu počátečních podmínek se nachází tak „mnoho“ trajektorií, že vedou ke každé straně kostky. Je to přesně to, k čemu dochází u nestabilních dynamických systémů. Vypočítat trajek-



Obr. 38 Schematické znázornění nestálosti trajektorie malé kuličky odrážející se od velkých koulí. Nejmenší nepřesnost v určení polohy malé kuličky znemožňuje předpovědět, do které koule kulička po první srážce narazí.

torie v nestabilním dynamickém světě by mohl, pokud by si to přál. Bůh. Dospěl by ke stejnému výsledku, jaký i nám umožňuje získat počet pravděpodobnosti. Ovšem, pokud by užil svých absolutních znalostí, mohl by se zbavit veškeré náhodnosti.

Závěrem lze konstatovat, že mezi nevratností a pravděpodobností existuje úzká souvislost. Jde o významnou okolnost a nyní o ní poho-voříme.

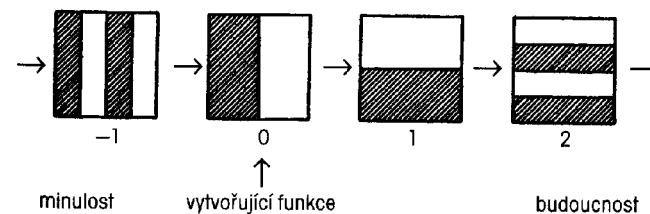
Od náhodnosti k nevratnosti

Uvažujme sled čtverců, na které použijeme „pekařskou transformaci“. Sled čtverců je znázorněn na obrázku 39. Šrafovanou oblast si lze představit jako vyplněnou inkoustem, světlou oblast jako vyplněnou vodou. V čase rovném nule se setkáváme s tím, co se nazývá „vytvářující funkci“. Z této vytvářující funkce vytváříme řadu vodorovných rozdělení, proužků, jestliže se pohybujeme směrem k budoucnosti, nebo řadu svislých proužků, pohybujeme-li se směrem k minulosti. Jde o „výcho-

zí rozdělení“. Libovolné vyplnění čtverce inkoustem lze formálně zapsat jako překládání a překrývání (superpozici) výchozích rozdělení. Každému výchozímu rozdělení lze přiřadit „vnitřní čas“, který je v podstatě počtem „pekařských transformací“ nutných k tomu, abychom se od vytvářující funkce dostali k rozdělení, o kterém uvažujeme.¹² Vidíme, že tento druh systému připouští jakési „vnitřní stáří“.*

Tento vnitřní čas T je značně rozdílný od času užívaného v mechanice, neboť závisí na celkové topologii systému. Proto lze hovořit o „časování prostoru“. Přiblížili bychom se tím k představám, s nimiž nedávno vystoupili zeměpisci, když zavedli pojem „chronogeografie“.¹³ Díváme-li se na strukturu města nebo krajiny, vidíme současné bytí a ovlivňování časových prvků. Města Brasília a Pompeje by odpovídala správně vymezenému „vnitřnímu stáří“, něčemu podobnému výchozím rozdělením v „pekařské transformaci“. Naopak moderní Řím, jehož budovy vznikaly ve zcela různých obdobích, by odpovídal „střednímu času“ stejně, jako lze libovolné rozdělení rozložit do částí příslušejících odlišným vnitřním časům.

Podívejme se znovu na obrázek 39. Co se stane, pohybujeme-li se směrem k velmi vzdálené budoucnosti? Vodorovné pásy inkoustu se budou stále těsněji přibližovat.



Obr. 39 Vycházíme z „vytvářující funkce“ (viz text) v čase 0, na kterou budeme provádět „pekařskou transformaci“. Vytvoří se nám vodorovné proužky. Budeme-li se podobným způsobem pohybovat do minulosti, získáme svislé proužky.

* Lze si všimnout, že tento vnitřní čas, který označujeme T , je ve skutečnosti operátorem podobajícím se těm, které jsou zavedeny v kvantové mechanice (viz kapitola 7). Skutečně, libovolné rozdělení čtverce nemá správně vymezený čas, ale pouze „střední čas“ odpovídající překrývání (superpozicím) výchozích rozdělení, z nichž je vytvořeno.

Po jisté době lze nezávisle na přesnosti našich měření usuzovat, že inkoust je v celém objemu rozložen rovnoměrně. Proto nepřekvapuje, že tento přístup k „rovnováze“ lze vysledovat až k náhodným dějům, jakými jsou Markovovy řetězce popsané v kapitole 8. Nedávno byla tato okolnost ukázána se vši matematickou přesností,¹⁴ ale výsledek se nám zdá zcela přirozený. Jak čas plyne, rozdělení inkoustu se blíží rovnováze stejně jako rozdělení míček v „modelu krabiček“, o kterém jsme hovořili v kapitole 8. Se stejným jevem se setkáváme, obrátíme-li se do minulosti a bude-li naším výchozím bodem v čase rovném nule opět stejná „vytvorující funkce“. Inkoust je nyní rozdělen do zužujících se svislých oblastí a opět se, „jsme-li dostatečně daleko v minulosti“, setkáváme s rovnoměrným rozdělením inkoustu. Lze tudíž usuzovat, že i tento děj můžeme znázornit Markovovým řetězcem. Ten je však nyní orientován do minulosti. Vidíme, že z nestabilních dynamických dějů získáváme dva Markovovy řetězce, z nichž jeden dosahuje rovnováhy v budoucnosti a druhý v minulosti.

Domníváme se, že tento výsledek je velmi zajímavý a rádi bychom ho rozvedli. Vnitřní čas nám poskytuje nový „nemístní popis“.

Známe-li „stáří“ systému (tedy odpovídající rozdělení), stále mu ještě nelze přiřadit správně určenou „místní trajektorii“.

Víme jen, že systém se nachází ve šrafované oblasti (obrázek 39). Podobně, známe-li nějaké přesné počáteční podmínky odpovídající bodu v systému, neznáme ještě ani rozdělení, ke kterému bod přísluší, ani stáří systému. Pro takové systémy tedy známe dva doplňující se popisy a nastává stav, který poněkud připomíná diskusi o kvantové mechanice popsanou v kapitole 7.

A právě existence této nové možnosti – nemístního popisu umožňuje přechod od dynamiky k pravděpodobnostem. Systémy, ve kterých je přechod možný, nazýváme „vnitřně náhodnými systémy“.

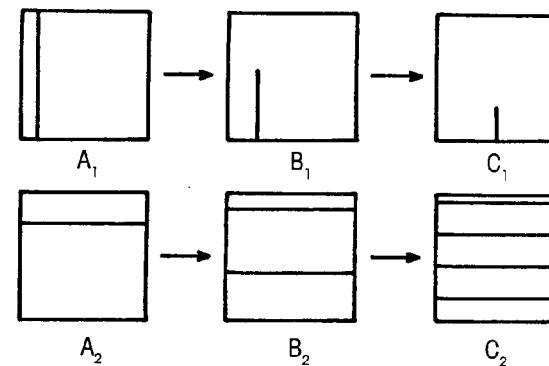
V klasických deterministických systémech lze pravděpodobnosti přechodu užít k tomu, abychom se od jednoho bodu ke druhému pohybovali „naprosto zvrhlým způsobem“. Pravděpodobnost přechodu bude rovna jedné, jestliže dva body leží na stejné trajektorii, anebo nule, pokud na ní neleží.

Pravděpodobnosti přechodu, které jsou kladnými čísly mezi nulou a jedničkou, naopak potřebujeme v „pravé“ teorii pravděpodobnosti. Jak je to možné? Je zde zřetelný rozdíl mezi subjektivním pohledem a objektivním výkladem pravděpodobnosti. Subjektivní pohled odpovídá stavu, ve kterém jednotlivé trajektorie neznáme. Pravděpodobnost (a nakonec i nevrtnost, která s ní úzce souvisí) by vycházela z naší

nevědomosti. Naštěstí však existuje jiné, objektivní vysvětlení: pravděpodobnost je výsledkem druhého možného popisu dynamiky, „nemístního popisu“, který vzniká v silně nestabilních dynamických systémech.

Pravděpodobnost se zde stává objektivní vlastností „vyvolanou z hloubi dynamiky“ a vyjadřuje základní strukturu dynamického systému. Zdůraznili jsme důležitost Boltzmannova základního objevu – souvislost entropie a pravděpodobnosti. Ve vnitřně náhodných systémech nabývá pojetí pravděpodobnosti dynamického významu. Nyní musíme přejít od vnitřně náhodných systémů k nevrtným systémům. Viděli jsme, že jsme mimo nestabilní dynamické děje získali dva Markovovy řetězce.

Na tuto dvojakost lze pohlížet i odlišně. Uvažujme rozdělení týkající se přímky (místo toho, aby se týkalo plochy). Tato přímka může být svislá nebo vodorovná. Podívejme se, co se s touto přímkou stane, použijeme-li na ni „pekařskou transformaci“ směřující do budoucnosti. Výsledek je znázorněn na obrázku 40. Svislá přímka je postupně rozsekána na kousky a ve velmi vzdálené budoucnosti se promění v bod. Vodorovná přímka je naopak zdvojená a ve velmi vzdálené budoucnosti rovnoměrně „pokryje“ celý povrch. Pohybujeme-li se do minulosti, očividně se stane pravý opak. Ze snadno pochopitelných příčin se svislá přímka nazývá „zkracujícím se vláknem“ a vodorovná přímka „prodlužujícím se vláknem“.



Obr. 40 Zkracující se a prodlužující se vlákna při „pekařské transformaci“. Zkracující se vlákno A_1 se s ubíhajícím časem zkracuje (sled A_1, B_1, C_1), zatímco prodlužující se vlákno se zdvojuje (sled A_2, B_2, C_2).

Najednou zjišťujeme naprostou analogii s bifurkační teorií. Zkracující se a prodlužující se vlákno odpovídá dvěma pojetím dynamiky, z nichž každé obsahuje narušení souměrnosti a objevuje se v dvojicích. Zkracující se vlákno odpovídá rovnováze ve velmi vzdálené minulosti, prodlužující se vlákno odpovídá rovnováze v budoucnosti. Máme tudíž dva Markovovy řetězce orientované v opačných směrech času.

Nyní musíme provést přechod od vnitřně náhodných k vnitřně nevratným systémům. Aby to bylo možné, musíme přesněji chápat rozdíl zkracujících se a prodlužujících se vláken. Viděli jsme, že jiný systém, tak nestabilní jako „pekařská transformace“, může popsat rozptyl tuhých koulí. Zde mají zkracující se a prodlužující se vlákna jednoduchý fyzikální smysl. Zkracující se vlákno odpovídá souboru tuhých koulí, jejichž rychlosti jsou náhodně rozloženy ve velmi vzdálené minulosti a ve velmi vzdálené budoucnosti se všechny rychlosti stanou rovnoběžnými. Prodlužující se vlákno odpovídá opačnému stavu, při kterém vycházíme z rovnoběžných rychlostí a pokračujeme k náhodnému rozdělení rychlostí. Rozdíl je tedy značně podobný rozdílu mezi přicházejícími a odcházejícími vlnami, jak ve svém příkladu udal Popper. Vyloučení zkracujících se vláken odpovídá experimentální skutečnosti, že i ten nejdokonalejší experimentátor nebude nikdy schopen ovládat systém tak, aby po libovolném počtu srážek vytvořil souběžné rychlosti. Jakmile jednou vyloučíme zkracující se vlákna, opustili jsme jen jeden ze dvou možných, námi zavedených Markovových řetězců. Jinak řečeno, druhá věta termodynamiky se stává výběrovým pravidlem počátečních podmínek. A zůstávají jen ty počáteční podmínky, které směřují k rovnováze v *budoucnosti*.

Platnost tohoto výběrového pravidla je samozřejmě určována dynamikou. Na příkladu „pekařské transformace“ lze snadno vidět, že zkracující se vlákno zůstává ve všech časech zkracujícím se vláknem, a podobně i prodlužující se vlákno. Potlačením jednoho ze dvou Markovových řetězců přecházíme od vnitřně náhodného systému k vnitřně nevratnému systému. V popisu nevratnosti nacházíme tři základní prvky:

nestálost (nestabilita)
↑
vnitřní náhodnost
↑
vnitřní nevratnost.

Vnitřní nevratnost je nejvýraznější vlastností a zahrnuje náhodnost a nestálost.^{14, 15}

Jak je tedy tento závěr slučitelný s dynamikou? Jak jsme viděli, v dynamice je „informace“ zachována, zatímco v Markovových řetězcích se informace ztrácí (a entropie proto vzrůstá, viz kapitola 8). Není v tom žádný rozpor. Přesouváme-li se od dynamického popisu „pekařské transformace“ k termodynamickému popisu, musíme naši rozdělovací funkci upravit. „Objekty“, pro které entropie roste, jsou odlišné od objektů uvažovaných v dynamice. Nová rozdělovací funkce, $\hat{\rho}$, odpovídá vnitřně časově orientovanému popisu dynamického systému. Matematickou stránkou této transformace se v této knize zabývat nemůžeme. Pouze zdůrazníme, že transformace musí být *nekanonická* (viz kapitola 2). Při termodynamickém popisu se musíme vzdát obvyklých, dynamikou užívaných formulací.

Je velmi pozoruhodné, že taková transformace existuje a že výsledkem je možnost sjednocení dynamiky s termodynamikou, tedy fyziky bytí a fyziky nastávání. K těmto novým termodynamickým „objektům“ se vrátíme později v této kapitole, a rovněž i v závěru. Zdůrazněme jen, že při rovnováze, kdykoliv entropie dosáhne svého maxima, se tyto „objekty“ musí chovat náhodně.

Je zvláště pozoruhodné, že nevratnost se vynořuje z nestálosti, která do našeho popisu zavádí nezjednodušitelné statistické rysy. Co by tedy šipka času mohla znamenat v deterministickém světě, ve kterém jsou v současnosti obsaženy jak budoucnost, tak i minulost? Protože budoucnost není obsažena v přítomnosti a my se pohybujeme od přítomnosti k budoucnosti, je šipka času spojena s přechodem od přítomnosti k budoucnosti. Sestrojení nevratnosti z náhodnosti má, jak věříme, mnoho důsledků, které sahají mimo vlastní vědu. Vrátime se k nim v závěru. Nyní vyjasněme rozdílnost stavů, které druhá věta termodynamiky povoluje a které zakazuje.

Překážka entropie

Čas plyne jedním směrem – od minulosti k budoucnosti. Čas nemůžeme zmanipulovat a ani nemůžeme cestovat zpátky do minulosti. Putování časem vábilo mnoho spisovatelů, od *Tisíce a jedné noci* až po *Stroj času* H. G. Wellse. V současnosti Nabokovův krátký román *Look at the Harlequins!* (*Koukej na harlekýny*)¹⁶ popisuje utrpení vypravěče, který se ocitá v situaci, kdy je stejně neschopen „přepnout jeden prostorový směr v druhý“, jako jsme my neschopni „otočit čas“. Needham v pátem díle *Science and Civilization of China* (*Věda a kultura v Číně*) po-

pisuje sen čínských alchymistů. Jejich hlavním cílem nebylo dosáhnout přeměny kovů ve zlato, ale zmanipulovat čas, dosáhnout nesmrtelnosti pronikavým zpomalením přírodních rozkladných dějů. Nyní můžeme lépe pochopit, proč, řečeno Nabokovovými slovy, nemůžeme „otčit čas“.

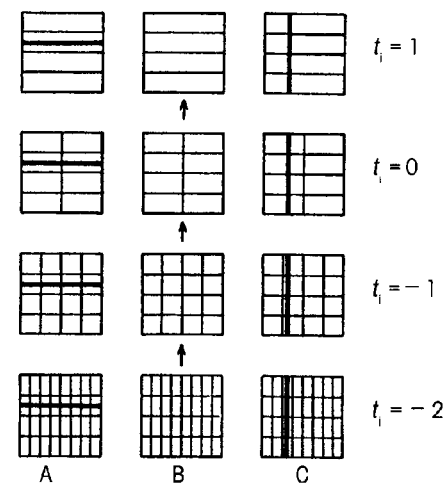
Nekonečná překážka entropie odděluje možné počáteční podmínky od zakázaných. Protože je tato překážka nekonečná, žádný technický pokrok ji nikdy nepřekoná. Musíme se vzdát naděje, že jednoho dne budeme moci cestovat zpět do naší minulosti. Tato situace je v mnohém podobná překážce představované rychlostí světla. Technický pokrok nás může k rychlosti světla přiblížit, ale podle současného názoru fyziků ji nikdy nepřekonáme.

Abychom původu této překážky porozuměli, vraťme se k vyjádření veličiny H , která se objevuje v teorii Markovových řetězců (viz kapitola 8). Každému rozdělení lze přiřadit číslo – odpovídající hodnotu H . Lze říci, že každému rozdělení přísluší určitý informační obsah. Čím je obsah „kvalitnější“, tím bude uskutečnění odpovídajícího stavu obtížnější. Zde bychom chtěli ukázat, že počátečnímu rozdělení, které je druhou větou termodynamiky zakázané, přísluší nekonečný informační obsah. A v tom vězí příčina toho, že ho nikdy nemůžeme uskutečnit, ani najít v přírodě.

Vraťme se nejprve zpět k významu veličiny H , který byl ukázán v kapitole 8. Příslušný fázový prostor musíme rozdělit na oblasti nebo „políčka“. V rovnovážném stavu každému políčku k přiřadíme pravděpodobnost $P_{rov}(k)$, a nerovnováznému stavu pravděpodobnost $P(k,t)$.

Velichina H je mírou odlišnosti $P(k,t)$ a $P_{rov}(k)$ a ve stavu rovnováhy, kdy tento rozdíl zaniká, vymizí. K srovnání „pekařské transformace“ s Markovovými řetězci musíme políčka vybrat pečlivěji. Předpokládejme, že systém se nachází v čase 2 (viz obrázek 39) a předpokládejme, že tento systém vznikl v čase t_i . Výsledkem naší dynamické teorie je pak skutečnost, že políčka odpovídají všem možným průnikům rozdělení, které nastávají mezi časy t_i a $t = 2$. Uvažujeme-li nyní obrázek 39, vidíme, že pokud čas t_i ustupuje směrem k minulosti, políčka se stále ztenčují a současně musíme zavádět více a více svislých dělení. Tento stav je ukázán na části B obrázku 41, kde, postupujeme-li shora dolů, máme $t_i = 1, 0, -1$ a konečně $t_i = -2$. Zjišťujeme, že počet políček tímto způsobem narůstá od 4 do 32.

Jakmile máme políčka, můžeme pro každé políčko srovnávat nerovnovážné rozdělení s rozdělením rovnovážným. V našem případě je



Obr. 41 Prodlužující se (sled A) a zkracující se (sled C) vlákna procházejí různými počty políček, která rozdělují fázový prostor „pekařské transformace“. V daném sledu se všechny čtverečky týkají stejného času $t = 2$, ale počet políček dělících každý čtveřec závisí na počátečním čase t_i systému.

nerovnovážným rozdělením buď prodlužující se vlákno (posloupnost A), nebo zkracující se vlákno (posloupnost C). Důležité je všimnout si, že pokud čas t_i ustupuje zpět do minulosti, zaplňuje prodlužující se vlákno postupně rostoucí počet políček, pro $t_i = -1$ zaplňuje 4 políčka, pro $t_i = -2$ máme 8 políček a tak dále.

Jako výsledek, použijeme-li vzorec udaný v kapitole 8, dostaneme konečný výsledek, a to i tehdy, vzrůstá-li počet políček do nekonečna pro $t_i \rightarrow -\infty$.

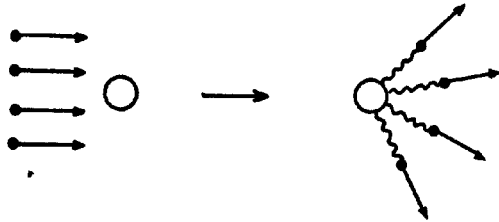
Zkracující se vlákno naopak zůstává bez ohledu na hodnotu t_i umístěno vždy ve 4 políčkách. Následkem toho se veličina H , týká-li se zkracujícího se vlákna, blíží nekonečnu v případě času t_i ustupujícího do minulosti. Lze tedy shrnout, že odlišnost dynamického systému a Markovova řetězce spočívá v tom, že počet políček, která musíme v dynamickém systému uvažovat, je nekonečný. A právě tato skutečnost vede k výběrovému pravidlu. Pouze míry nebo pravděpodobnosti, které při omezení se na nekonečný počet políček dávají „koneč-

nou“ informaci nebo konečnou hodnotu H , lze připravit nebo pozorovat. Tato okolnost vylučuje zkracující se vlákna.¹⁸ Stejně musíme vyloučit rozdělení soustředující se na jediný bod. Počátečním podmínkám odpovídajícím v nestabilních systémech jedinému bodu by opět příslušela „nekonečná“ informace, a proto je nelze ani uskutečnit, ani pozorovat. A opět zjišťujeme, že se druhá věta termodynamiky uplatňuje jako výběrové pravidlo.

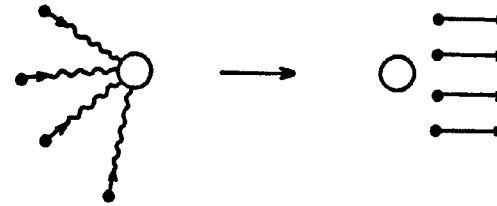
V klasických představách byly počáteční podmínky libovolné. Pro nestabilní systémy to však již neplatí. Každé počáteční podmínce lze přiřadit informační obsah, a ten závisí na dynamice systému (jako jsme při „pekařské transformaci“ k výpočtu informačního obsahu užili postupné dělení buněk). Počáteční podmínky a dynamika již nejsou nezávislé. Druhá věta termodynamiky jako výběrové pravidlo se nám jeví natolik důležitá, že bychom rádi ukázali další názorný příklad založený na dynamice korelací.

Dynamika korelací

V kapitole 8 jsme krátce hovořili o pokusu s inverzí rychlosti. Můžeme přitom uvažovat zředěný plyn a sledovat jeho vývoj v čase. V čase t_0 obrátíme rychlost každé molekuly do opačného směru (provedeme inverzi). Plyn se pak vrátí do svého původního stavu. Již jsme si všimli, že plyn musí mít k tomu, aby se vrátil do své minulosti, „jistou paměť s informacemi“. Tuto „paměť“ lze popsat „korelacemi“ částic.¹⁹



Obr. 42 Rozptýlení částic. Všechny částice mají zpočátku stejné rychlosti. Po srážce jsou již rychlosti různé a rozptýlené částice korelují s částicí, na které se rozptýlily. (Korelace značíme vždy vlnovkou.)

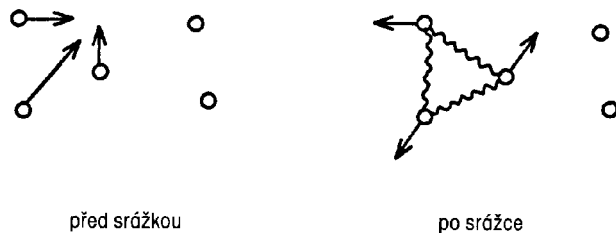


Obr. 43 Výsledek inverze rychlosti po srážce. Po nové „obráceně probíhající“ srážce jsou korelace potlačeny a všechny částice mají stejnou rychlost.

Uvažujme nejprve mračno částic namířených k cíli (tím je těžká, nehybná částice). Tato situace je znázorněna na obrázku 42. Ve velmi vzdálené minulosti vzájemné vztahy, tedy žádné korelace mezi částicemi neexistovaly. Srážky však mají dva důsledky, o nichž jsme se zmínili již v kapitole 8. Částice se rozptylují (rozdělení rychlosti se stává souměrnějším) a navíc se vytváří vzájemné ovlivnění–korelace mezi rozptýlenými částicemi a tím, co rozptyl vyvolalo. Korelace můžeme obrácením rychlosti (tedy zavedením kulového zrcadla) „zviditelnit“, popisuje to obrázek 43 (vlnovky představují korelace). Úloha rozptylu je následující: při přímém ději činí rozdělení rychlosti souměrnějším a vytváří korelace. Při inverzi se rozdělení rychlosti stává nesouměrnějším a korelace mizí. Úvaha o korelacích tak zavádí základní odlišnost přímých a obrácených dějů.

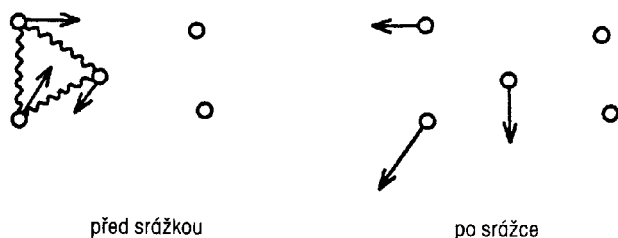
Tyto závěry lze využít též pro systém skládající se z mnoha těles. I zde lze uvažovat o dvou typech dějů. V prvním se objevují nekorelované částice, jsou rozptýleny a vznikají korelované částice (viz obrázek 44). Při opačném ději se objevují korelované částice, korelace jsou srážkami porušeny a výsledkem jsou nekorelované částice (viz obrázek 45).

Oba stavy se liší v časovém sledu srážek a korelací. V prvním případě máme „posrážkové“ korelace. Mějme na mysli tento rozdíl mezi „před-“ a „posrážkovými“ korelacemi a vraťme se k pokusu s inverzí rychlosti. Začneme v čase $t = 0$, počátečním stavem, kdy mezi částicemi nejsou korelace. V době $0 \rightarrow t_0$ nastává „normální“ vývoj. Srážky přibližují tvar rozdělení rychlosti „těsněji“ k Maxwellovu rozdělení. Vytvářejí se též „posrážkové“ korelace částic. V čase t_0 po inverzi rych-



Obr. 44 Vytvoření „posrážkových“ korelací znázorněných vlnovkami. Podrobnosti viz text.

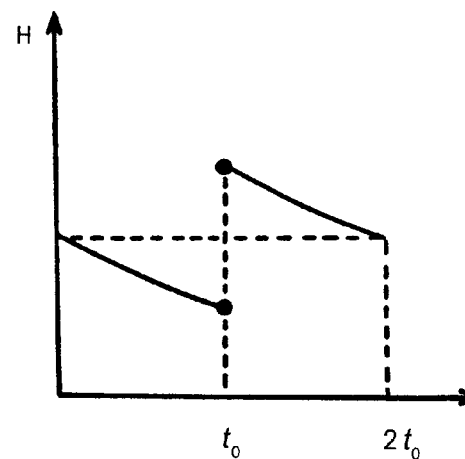
losti nastává zcela nový stav. „Posrážkové“ korelace jsou nyní přeměněny (transformovány) v „předsrážkové“ korelace. V časovém intervalu mezi t_0 a $2t_0$ „předsrážkové“ korelace mizí, rozdělení rychlostí je méně souměrné a v čase $2t_0$ se vracíme do nekorelovaného stavu. Historie systému má tedy dvě části. První srážky vytvářejí korelace, při druhé se korelace obracejí opět v srážky. Oba typy dějů jsou slučitelné se zákony dynamiky. Navíc, jak jsme podotkli v kapitole 8, celková „informace“ popsaná dynamikou zůstává neměnná. Také jsme poznali, že v Boltzmannově popisu vývoj mezi časy 0 a t_0 odpovídá obvyklému poklesu veličiny H , zatímco mezi časy t_0 a $2t_0$ se setkáváme s abnormální situací: veličina H roste a entropie klesá. Byli bychom tedy schopni navrhnout laboratorní či počítačové pokusy, ve kterých by byla druhá věta termodynamiky porušena! Nevratnost během doby $0 \rightarrow t_0$ by byla „vyrovnaná“ „antinevratností“ během období $t_0 \rightarrow 2t_0$.



Obr. 45 Destrukce „předsrážkových“ korelací (vlnovky) srážkami.

To je naprosto nevyhovující. Všechny tyto potíže vymizí, pokud, podobně jako v „pekařské transformaci“, přejdeme k novému „termodynamickému vyjádření“, kdy se dynamika stává náhodným dějem podobajícím se Markovovu řetězci. Musíme též uvážit, že inverze rychlosti není „přirozeným“ dějem. Vyžaduje, aby byly zvenčí molekulám předány „informace“, že mají své rychlosti obrátit. K tomu, abychom inverzi rychlosti provedli, potřebujeme něco na způsob Maxwellova démona a Maxwellův démon něco stojí. Pro náhodný děj znázorníme veličinu H jako funkci času, jak je ukázáno na obrázku 46. V tomto přiblížení, na rozdíl od Boltzmannova, se účinek korelací v nové definici H zachovává. A proto se při inverzi rychlosti v bodě (tj. čase) t_0 , kdy se hodnota H skokem změní, náhle vytvářejí abnormální „předsrážkové“ korelace, které bude nutno později vyrušit. Tento skok odpovídá „ceně“, kterou musíme za entropii nebo informace později „zaplatit“.

Nyní jsme dospěli k věrnému vyjádření druhé věty termodynamiky. Hodnota veličiny H v každém okamžiku klesá (nebo entropie roste).



Obr. 46 Časová změna veličiny H při pokusu s obrácením (inverzí) rychlosti: v čase t_0 jsou rychlosti obráceny a veličina H je nespojitá. V čase $2t_0$ se systém dostává do stejného stavu jako v čase 0 a veličina H nabývá své původní hodnoty. H po celou dobu (kromě času t_0) klesá. Důležité je, že v čase t_0 má veličina H dvě odlišné hodnoty. Bližší viz text.

Jediná výjimka nastává v čase t_0 , kdy hodnota veličiny H roste prudce, skokem, což odpovídá okamžiku, ve kterém je systém tzv. „otevřen“. Rychlosti můžeme obrátit jen působením zvenčí.

Existuje i jiná podstatná skutečnost. V čase t_0 má nová veličina H dvě různé hodnoty, z nichž jedna odpovídá stavu systému před inverzí rychlosti a druhá stavu systému po inverzi rychlosti. Těmto dvěma stavům odpovídají různé hodnoty entropie. Připomíná to stav, který nastává při „pekařské transformaci“, kdy zkracující se a prodlužující se vlákna jsou inverzemi rychlosti každého z nich.

Předpokládejme, že dříve než provedeme inverzi rychlosti, vyčkáme dostatečně dlouhou dobu. Posrážkové korelace by měly libovolný rozsah a „cena“ za inverzi rychlosti vyjádřená entropií by byla příliš vysoká. Inverze rychlosti by vyžadovala příliš vysokou hodnotu entropie a byla by tak vyloučena. Ve fyzice to znamená, že druhá věta termodynamiky vylučuje trvalé předsrážkové korelace dlouhého dosahu.

Podobnost s makroskopickým popisem druhé věty termodynamiky je překvapující. Z hlediska zákona zachování energie (viz kapitoly 4 a 5) mají teplo a práce stejnou úlohu, ale z hlediska druhé věty termodynamiky tak tomu již není. Stručně řečeno, práce je jistou „koherentní formou energie“ a lze ji vždy přeměnit v teplo, ale opačně to již pravda není. Podobná odlišnost existuje na mikroskopické úrovni mezi srážkami a korelacemi. Srážky a korelace mají z hlediska dynamiky rovnocenné role. Srážky způsobují korelace a korelace mohou účinky srážek vyrušit. Ale je v tom podstatný rozdíl. Srážky můžeme ovládat a řídit a vytvářet korelace, ale korelace nelze ovládat tak, aby se účinky, které srážky v systému vyvolaly, vyrušily. Právě tuto zásadní odlišnost, kterou lze zahrnout do termodynamiky, v dynamice postrádáme. Všimněte si, že termodynamika se v žádném ohledu nestřetává s dynamikou. K porozumění fyzikálnímu světu tak přispívá dalším, podstatným prvkem.

Entropie jako výběrové pravidlo

Je úžasné, jak blízce se mikroskopická teorie nevratných dějů podobá tradiční makroskopické teorii. Entropie má v obou případech zpočátku záporný význam. Ve svém makroskopickém pojetí vylučuje některé děje, jako je tok tepla z chladnějšího místa na místo teplejší. Ve svém mikroskopickém pojetí zakazuje jisté třídy počátečních podmínek. Odlišnost toho, co je dovoleno a co je zakázáno, je v čase podporována zákony dynamiky. Se zápornou stránkou věci souvisí kladná: existuje

tence entropie s jejím pravděpodobnostním vysvětlením. Nevratnost se již na určité makroskopické úrovni nevyskytuje jakoby zázrakem. Makroskopická nevratnost ukazuje pouze na polarizovanou, časově orientovanou povahu světa, ve kterém žijeme.

Jak jsme opakovaně zdůrazňovali, v přírodě existují systémy, které se chovají vratně a které lze zcela popsat zákony klasické nebo kvantové mechaniky. Nicméně většina systémů, které nás zajímají, včetně všech chemických, a tedy i všech biologických, je na makroskopické úrovni časově zaměřená. Tato skutečnost, vzdálena tomu, aby byla „přeludem“, vyjadřuje narušení souměrnosti času na mikroskopické úrovni. Nevratnost existuje buď na *všech* úrovních, nebo neexistuje na žádné z nich. Nemůže vzniknout jakoby zázrakem při přechodu z jedné úrovně na druhou.

Všimli jsme si též, že nevratnost je výchozím bodem jiných narušení symetrie. Obecně se například uznává, že odlišnost částic a antičástic by mohla vzniknout jen v nerovnovázném světě. Tuto představu lze rozšířit i na mnoho jiných stavů. Je pravděpodobné, že nevratnost prostřednictvím výběru vhodného rozvětvení (bifurkace) měla roli i při objevení se „chirální symetrie“.* Jedním z neaktivnějších směrů současného výzkumu je hledání způsobu, jak do struktury hmoty „zapsat“ nevratnost.

Čtenář si možná povšiml, že při odvozování mikroskopické nevratnosti jsme se soustředili na klasickou dynamiku. Avšak představ korelací a rozdílů mezi „před-“ a „posrážkovými“ korelacemi lze stejně užít na kvantové systémy. Studium kvantových systémů je poněkud složitější než studium klasických systémů. Má to svou příčinu – rozdílnost klasických a kvantových systémů. I malé klasické systémy, jakými jsou systémy vytvářené několika tuhými koulemi, mohou vykazovat vnitřní nevratnost. K dosažení nevratnosti v kvantových systémech však potřebujeme rozsáhlé systémy, jaké lze nalézt v kapalinách, plynech, či v teorii pole. Studium rozsáhlých systémů je matematicky očividně obtížnější, a proto se této otázce nebudeme dále věnovat. Avšak i v kvantové teorii zůstává stav v podstatě stejný. I zde nevratnost začíná jako výsledek omezení pojetí vlnové funkce vyvolané tvarem kvantové nestability.

Představa srážek a korelací může být navíc užita i v kvantové teorii. Druhá věta termodynamiky tudíž, podobně jako v klasické teorii, vylučuje předsrážkové korelace dlouhého dosahu.

* Chirálnita je projekce vlastního momentu hybnosti částic („točivosti“) do směru pohybu. (pozn. překl.)

Přechod k náhodnému průběhu pochodů zavádí nové celky a v tomto novém vyjádření lze druhou větu termodynamiky chápat jako vývoj od řádu a uspořádání k nepořádku (chaosu). Jde o důležitý závěr. Druhá věta termodynamiky tak vede k novému pojetí hmoty. Toto pojetí bychom teď rádi popsali.

Aktivní hmota

Jakmile jednou spojíme entropii s dynamickým systémem, vracíme se k Boltzmannovu pojetí: pravděpodobnost bude nejvyšší při rovnováze. Jednotky, které k popisu rozvoje termodynamického systému používáme, se tedy budou při rovnováze chovat chaoticky. Naopak za podmínek „blízkých rovnováze“ se objevují korelace a koherence.

Přicházíme k jednomu z hlavních závěrů: na všech úrovních, ať jde o makroskopickou fyziku, fluktuace nebo mikroskopickou úroveň, je nerovnováha zdrojem uspořádanosti, řádu. Nerovnováha vytváří „řád z chaosu“. Ale jak jsme se již zmínili, pojetí řádu (nebo nepořádku-chaosu) je složitější, než se myslelo. Jen v některých mezních stavech, například v souvislosti se zředěnými plyny, nabývá tato představa jasný smysl v souladu s Boltzmannovým průkopnickým dílem.

Porovnejme ještě jednou dynamický popis fyzikálního světa vyjádřený silami a poli s termodynamickým popisem. Jak jsme se zmínili, lze vymyslet počítačové pokusy, ve kterých původně náhodně rozdělené, vzájemně působící částice vytvářejí mříž. Dynamickým vysvětlením by byl vznik řádu působením sil mezi částicemi. Naopak v termodynamickém popisu jde o vývoj k nepořádku (když je systém izolován), ale k nepořádku vyjádřenému zcela odlišnými jednotkami. V tomto případě jsou jimi módy souboru obsahujícího velké počty částic. K definici nových „základních“ jednotek, v jejichž smyslu se systém v rovnováze stane nekoherentním, se zdá užitečné znovu zavést novotvar použitý v kapitole 6. Nazýváme je „hyponony“, náměsíčníky, neboť se při rovnováze navzájem ignorují. Každý z nich může být libovolně složitý (uvažte molekuly o složitosti enzymu), ale v rovnováze je jejich složitost obrácena „dovnitř, do sebe“. A opět, uvnitř molekuly je silné elektrické pole, ale ve zředěném plynu je toto pole, pokud jde o ostatní molekuly, zanedbatelné.

Jedním z hlavních námětů výzkumu v současné fyzice jsou elementární částice. Víme, že elementární částice mají k „elementár-

nímu“ daleko. Při vyšších a vyšších energiích jsou odkrývány nové strukturální vrstvy. Ale čím po tom všem elementární částice je? Je planeta Země elementární částicí? Jistěže ne, protože část energie je obsažena v jejím vzájemném působení se Sluncem, Měsícem a dalšími planetami. Představa elementárních částic vyžaduje „autonomii“, která je obvyklými pojmy jen velice obtížně popsatelná. Vezměme si kupříkladu elektrony a fotony. Jsme na rozpacích: buď neexistují žádné přesně určené částice (protože energie je částečně rozdělena mezi elektrony a fotony), nebo, pokud můžeme odstranit vzájemné působení, existují vzájemně se neovlivňující částice. I kdybychom věděli, jak to provést, zdá se tento postup příliš radikální. Elektrony fotony absorbují, nebo je emitují. Východiskem může být přechod k fyzice dějů. Základní složky, elementární částice, by pak byly definovány jako hyponony, jako celky, které se za rovnováhy vyvíjejí nezávisle. Doufáme, že výsledky pokusů k ověření těchto předpokladů budou brzy k dispozici. Bylo by docela zajímavé, pokud by atomy, vzájemně se ovlivňující s fotony (nebo s nestabilními elementárními částicemi), již nesly šipku času vyjadřující celkový vývoj přírody.

Dnes často probíranou problematikou je vývoj vesmíru. Jak mohl být svět v časové blízkosti „velkého třesku“ tak „uspořádaný“? Takové uspořádání je nutné, chceme-li chápat vývoj vesmíru jako postupný pohyb od řádu k nepořádku (chaosu).

K tomu, abychom dali uspokojivou odpověď, je nutné znát, jaké „hyponony“ by byly přiměřené extrémním teplotám a velkým změnám hustoty, které raný vesmír charakterizovaly. Sama termodynamika tyto problémy samozřejmě nevyřeší. Neučiní tak ani dynamika, a to ani při seberafinovanější teorii pole. A to je důvod, proč sjednocení dynamiky a termodynamiky otevírá nové výhledy.

Je každopádně úžasné, jak se situace od zformulování druhé věty termodynamiky před sto padesáti lety změnila. Nejprve se zdálo, že atomistický pohled odporuje představě entropie. Boltzmann se pokoušel zachránit mechanistický světový názor za cenu omezení druhé věty termodynamiky v tvrzení o pravděpodobnosti s velkým praktickým dosahem, ale bez zásadního významu. Dosud nevíme, jaké bude konečné řešení, ale dnešní stav je zcela odlišný. Hmota není dána. Podle současných názorů musí být obecnější představa vytvořena pomocí kvantových polí.

Na konstrukci hmoty se musí podílet termodynamické představy (nevratnost, entropie).

Shrňme, čeho zde bylo dosaženo. Ústřední úloha druhé věty termodynamiky (a souvztažné představy o nevratnosti) na úrovni makroskopických systémů již byla zdůrazněna v první a druhé části knihy.

V třetí části se snažíme ukázat, že se lze dostat mimo makroskopickou úroveň a objevit mikroskopický rozměr nevratnosti.

To však vyžaduje zásadní změny představ o základních fyzikálních zákonech. Pouze tehdy, je-li „klasický přístup“ - jako v případě velmi nestabilních systémů - ztracen, lze uvažovat o „vnitřní náhodnosti“ a „vnitřní nevratnosti“.

V takových systémech je možno zavést nový rozšířený popis času vyjádřený operátorem času T . Jak jsme ukázali v případě „pekařské transformace“ (kapitola 9, „Od náhodnosti k nevratnosti“), má tento operátor jako vlastní funkce rozdělení fázového prostoru (viz obrázek 39).

Dospíváme tedy ke stavu, který v mnohém připomíná stavy kvantové mechaniky. Lze uvažovat o dvou možných popisech. Buď zadáme bod ve fázovém prostoru, a pak nevíme, ke kterému rozdělení přísluší, a neznáme ani jeho vnitřní stáří, nebo jeho vnitřní stáří známe, a pak je nám známo jen rozdělení, ale nikoliv přesné umístění bodu.

Jakmile jsme jednou zavedli vnitřní čas T , lze entropii užít jako výběrové pravidlo pro přechod od počátečního popisu rozdělovací funkcí ρ k popisu novou rozdělovací funkcí $\hat{\rho}$, přičemž $\hat{\rho}$ má vnitřní šipku času, která vyhovuje druhé větě termodynamiky. Základní rozdíl mezi ρ a $\hat{\rho}$ se objevuje v případě, kdy jsou tyto funkce rozvíjeny vlastními funkcemi operátoru času T (viz kapitola 7, „Nástup kvantové mechaniky“). V rozdělovací funkci ρ se všechna „vnitřní stáří“, ať již z minulosti či z budoucnosti, objevují symetricky. Naopak v rozdělovací funkci $\hat{\rho}$ mají minulost a budoucnost rozdílné role. Minulost je zahrnuta, ale budoucnost zůstává nejistá. To je význam šipky času. Je úžasné, že se nyní objevuje vztah mezi počátečními podmínkami a zákony změny. Stav s šipkou času se vyvíjí ze zákona, který má také šipku času a který stav přetváří (transformuje), avšak šipku času zachovává.

Soustředili jsme se především na klasický stav.²⁰ Naš rozbor se však rovněž týká kvantové mechaniky, kde je situace mnohem složitější. Existence Planckovy konstanty narušuje představu trajektorií a vede tak k jistému druhu neurčitosti v nalezení polohy („delokalizace“) ve fázovém prostoru. V kvantové mechanice proto musíme skládat kvantové „delokalizace“ s „delokalizací“ vyvolanou nevratností.

Jak je zdůrazněno v kapitole 7, dvě velké revoluce, které ve fyzice nastaly v našem století, odpovídají zahrnutí „nemožností“ klasické mechanice cizích do základní struktury fyziky: nemožnost signálů šířících se rychlostí vyšší, než je rychlost světla, a nemožnosti současného určování souřadnic a hybnosti.

Nepřekvapuje tedy, že druhá věta termodynamiky, která rovněž omezuje naši schopnost zacházení s hmotou, vede i k hlubokým změnám struktury základních fyzikálních zákonů.

Zakončeme tuto část naší monografie výstrahou. Fenomenologická teorie nevratných dějů je v současné době dobře zavedena. Naopak základní mikroskopická teorie nevratných dějů je zcela nová. V době korektury anglického vydání této knihy se připravují pokusy k ověření těchto myšlenek. Dokud nebudou provedeny, je spekulativní prvek nevyhnutelný.

Závěr

OD ZEMĚ K NEBI – ZNOVUOKOUZLENÍ PŘÍRODOU

Při každém pokusu o přemostění oblastí zkušeností
patřících k duchovním a fyzickým stránkám naší přírody
má čas klíčové postavení.

A. S. EDDINGTON¹

Otevřená věda

Věda určitě zahrnuje ovládání přírody, ale je i pokusem k jejímu pochopení, ponořením se hlouběji do otázek, které byly kladeny generací po generaci. Jedna z těchto otázek prostupuje jako ústřední námět, téměř jako posedlost celou touto knihou, stejně jako prostupuje dějiny vědy a filosofie. Je to otázka po vztahu mezi bytím a vznikáním, mezi stálostí a změnou.

Zmínili jsme se o před Sokratovských úvahách. Je změna, kterou se věci rodí a umírají, vnucena nějakému druhu inertní hmoty zvenčí? Nebo je výsledkem skutečné a nezávislé činnosti hmoty? Je ke vzniku nezbytná vnější hnací síla, nebo tkví tato síla v hmotě? Věda sedmnáctého století vznikla jako protiklad biologického modelu samovolného a nezávislého uspořádání přírodních bytostí. Současně však čelila dalším důležitým otázkám. Je příroda vnitřně náhodná? Je uspořádané chování pouze přechodným výsledkem srážek atomů a jejich nestálých spojení?

Jedním z hlavních zdrojů okouzlení moderní vědou byl právě pocit, že v jádru přeměn přírody odkryla věčné zákony a vymýtila a zahnila čas a změnu. Toto odhalení řádu v přírodě vyvolalo pocit intelektuální jistoty, který popsali francouzský sociolog Lévy-Bruhl:

„Pocit duševní jistoty je v nás tak hluboce zakotven, že si nedovedeme představit, jak by mohl být otřesen. I když předpokládáme, že bychom mohli pozorovat nějaký zdánlivě velmi záhadný jev, stále bychom byli přesvědčeni, že naše neznalost je jen dočasná a že tento jev musí vyho-

tovat obecným zákonům příčinnosti a že důvody a příčiny, proč se objeví, budou dříve či později určeny. Příroda kolem nás má právě tak jako lidská mysl rád a logiku. Naše každodenní činnost zahrnuje naprostou důvěru v obecnost přírodních zákonů.“²

Tento pocit důvěry v „rozum“ přírody byl, částečně v důsledku prudkého růstu vědy, v současnosti otřesen. Jak jsme konstatovali v Předmluvě, naše zření přírody prochází zásadní změnou směrem k rozmanitosti, časovosti a složitosti. Některé z těchto změn jsme se pokusili popsat.

Hledali jsme obecná, všestranně platná schémata, která by mohla být vyjádřena v pojmech věčných zákonů, a našli jsme čas, události a vyvíjející se částice. Hledali jsme souměrnost, a i zde jsme byli překvapeni, když jsme na všech úrovních, od elementárních částic po biologii a ekologii, našli děje tuto souměrnost narušující. Snažili jsme se popsat střet mezi dynamikou s její časovou souměrností a druhou větou termodynamiky s jejím směrem času.

Objevuje se nová shoda: nevratnost je na všech úrovních zdrojem řádu a pořádku. Nevratnost je mechanismus, který z chaosu vytváří řád. Jak se mohl tak radikálně změnit náš pohled na přírodu za relativně krátké časové období několika posledních desetiletí? Domníváme se, že se ukazuje, jak významnou úlohu v našem pojetí skutečnosti má úvaha. Výtečně to vyjádřil Bohr, když při návštěvě Kronbergu Werneru Heisenbergovi řekl:

„Není podivné, jak se tento zámek změní, jakmile si představíme, že zde žil Hamlet? Jako vědci jsme přesvědčeni, že se tento zámek skládá pouze z kamenů, a obdivujeme způsob, jakým je architekt složil dohromady. Zámek tvoří kameny, zelená patina střechy a dřevěné řezby v kostele. Nic z toho by se nemělo změnit tím, že zde žil Hamlet, a přesto se vše rázem změní. Najednou stěny a hradby hovoří odlišnou řečí... A přitom vše, co o Hamletovi doopravdy víme, je, že se jeho jméno objevuje v kronice z třináctého století... Každý zná otázky, které kladl Shakespeare jeho prostřednictvím, hlubiny lidské duše, kam musel nahlédnout, a tak i on má mít své místo na zemi, právě zde na Kronbergu.“³

Otázka po smyslu reality byla ústředním námětem zaujatého rozhovoru Alberta Einsteina s Rabindranáthem Thákurem.⁴ Einstein zdůrazňoval, že věda musí být na jakémkoliv pozorovateli nezávislá. To ho vedlo k popření reality času, jak nevratnosti, tak vývoje. Naproti

tomu Thákur zastával názor, že i kdyby existovala absolutní pravda, byla by lidské mysli nedosažitelná. Kupodivu současný vývoj vědy se ubírá směrem, který uváděl velký indický básník. Všechno, co nazýváme skutečností, se nám vyjevuje pouze aktivní tvorbou, na niž se podílíme. Jak stručně vyjádřil D. S. Kothari: „Je prostým faktem, že žádné měření, žádný pokus nebo pozorování není možné bez odpovídajícího teoretického rámce.“⁵

Čas a časy

Tvrzení, že čas je v podstatě geometrická veličina umožňující sledovat rozvíjení posloupnosti dynamických stavů, bylo ve fyzice prosazováno déle než tři sta let. Emile Meyerson⁶ se pokoušel popsat dějiny moderní vědy jako postupný důsledek něčeho, co považoval za základní kategorii lidského rozumu: odlišné a měnící se bylo zredukováno na totožné a trvalé. Čas byl vyloučen.

Bližší k současnosti zastupoval snahy formulovat fyziku, kde by se ani na základní úrovni neuplatnila nevratnost, Einstein.

Historická scéna se udála 6. dubna 1922 v Sociétés de Philosophie v Paříži,⁷ kdy se Henri Bergson pokoušel před Einsteinem obhajovat rozmanitost současně existujících „prožívaných“ časů. Einsteinova odpověď byla důrazná: kategoricky odmítl „čas filosofů“. Prožití zkušenosti nemohou uchovat to, co bylo vědou popřeno.

Einsteinova odezva byla vcelku oprávněná. Bergson očividně neporozuměl Einsteinově teorii relativity. Avšak jistá zaujatost byla i na Einsteinově straně: *durée (trvání)*, Bergsonův „prožívaný čas“, se týká základních rozměrů vznikání, nevratnosti, kterou chtěl Einstein připustit jen na fenomenologické úrovni. Již jsme se zmínili o Einsteinově rozhovoru s Carnapem (viz kapitola 7). Rozdíl mezi minulostí, současností a budoucností spočívaly podle něj mimo oblast fyziky.

Je vzrušující sledovat Einsteinovu korespondenci s jeho nejbližším přítelem z mládí v Curychu Michele Bessou.⁸ Přestože byl Besso technik a vědec, ke konci svého života se začal stále více zabývat filosofií, literaturou a problémy, které se týkají lidské existence. Neúnavně kladl stejné otázky. Co je nevratnost? Jaký je její vztah k fyzikálním zákonům? A Einstein odpovídal s trpělivostí, jakou projevoval jen vůči svému příteli. Nevratnost je pouze iluzí vytvořenou „nepravděpodobnými“ počátečními podmínkami. Tento rozhovor vedli oba přátelé mnoho let, než Besso, který byl o osm let starší než Einstein, zemřel;

předešel Einsteina jen o několik měsíců. V posledním dopise Bessově sestře a Bessovu synovi Einstein napsal: „Michele opustil tento podivný svět přede mnou. Není to důležité. Pro nás, přesvědčené fyziky, je rozdíl mezi minulostí, současností a budoucností pouhou iluzí, i když trvalou.“ V Einsteinově snaze o pochopení základních fyzikálních zákonů bylo srozumitelné ztotožnění s neměnným.

Proč Einstein tak silně bránil zavedení nevratnosti do fyziky se můžeme jen dohadovat. Einstein byl celkem osamělý člověk. Měl málo přátel, málo spolupracovníků, málo studentů. Žil v skličujícím období, v němž proběhly dvě světové války a stoupal antisemitismus. Ne-překvapuje, že věda byla pro Einsteina cestou vedoucí vřavou času k vítězství. Ale v jakém protikladu to bylo s jeho vědeckou prací. Jeho svět byl plný pozorovatelů, vědců umístěných v různých souřadných systémech, které se navzájem pohybovaly, nebo umístěných na hvězdy s různým gravitačním polem. Všichni tito pozorovatelé si signály vyměňovali informace po celém vesmíru. Co chtěl Einstein zachovat především, byl objektivní smysl tohoto dorozumívání. Snad lze tvrdit, že se Einstein zastavil těsně před uznáním skutečnosti, že dorozumívání a nevratnost jsou navzájem úzce svázány. Dorozumívání je základem snad nejnevratnějšího děje, který je dostupný lidskému myšlení, postupného nárůstu poznání.

Překážka entropie

V kapitole 9 jsme druhou větu termodynamiky popsali jako výběrové pravidlo: každé počáteční podmínice odpovídá „informace“. Všechny počáteční podmínky, pro které je tato informace konečná, jsou povoleny. Avšak k obrácení času bychom potřebovali „nekonečnou“ informaci. Nemůžeme vytvářet stavy, které by se vyvíjely směrem do naší minulosti. A to je překážka vytvářená entropií, kterou jsme zavedli.

V této souvislosti je zajímavá podobnost s představou rychlosti světla jako nejvyšší rychlosti přenosu signálů. Jak jsme viděli v kapitole 7, jde o jeden ze základních předpokladů Einsteinovy teorie relativity. Rychlost světla jako překážka je nezbytná, aby příčinnost měla smysl. Předpokládejme, že bychom mohli v kosmické lodi z fantastického románu opustit Zemi rychlostí vyšší, než je rychlost světla. Mohli bychom předhonorit časové signály a předejhnout tak naši vlastní minulost. Podobně je překážka tvořená entropií nezbytná k tomu, aby dala smysl dorozumívání. Již jsme se zmínili, že nevratnost a dorozumívání jsou úzce svázány.

Norbert Wiener tvrdil, že existence dvou směrů času by měla katastrofální důsledky. Stojí za to uvést citát z jeho známé knihy *Kybernetika*:

„Rozhodně velmi zajímavým myšlenkovým pokusem je vymyslet si inteligentní bytost, jejíž čas by měl plynout opačně než náš. Pro takovou bytost by jakékoliv dorozumívání s námi bylo nemožné. Každý signál, který by nám mohla poslat, by k nám dospěl včetně dle jejího názoru logických důsledků, ty jsou však předchůdci „našich“ důsledků. Tito „předchůdci“ by již byli obsaženi v naší zkušenosti a sloužili by nám jako přirozené vysvětlení jejího signálu, a to aniž bychom předem předpokládali, že ho poslala inteligentní bytost. Pokud by nakreslila čtverec, museli bychom vidět zbytky jeho tvaru jako jeho předchůdce a čtverec by vypadal jako zvláštní „vyhranění“ (vždy naprosto vysvětlitelné), jako dotvoření těchto zbytků. Jeho význam by se zdál tak nahodilý jako tváře, které spatřujeme v tvarech hor či skal. Nákres čtverce by se nám jevil jako katastrofa – sice neočekávaná, ale vysvětlitelná přírodními zákony, podle kterých by tento čtverec neměl existovat. Náš protějšek by měl naprosto shodné nápady týkající se nás. *Uvnitř jakéhokoli světa, s nímž se můžeme dorozumívat, je směr času stále stejný.*“⁹

Právě nekonečná překážka vytvořená entropií zaručuje jedinečnost směru času, nemožnost přepínání z jednoho směru času do druhého.

V této knize jsme zdůrazňovali význam projevu této nemožnosti. Einstein byl první, kdo tento význam pochopil, když svou představu relativní současnosti založil na nemožnosti přenosu informací rychlostí vyšší, než je rychlost světla. Celá teorie relativity je vybudována na vyloučení „nepozorovatelných“ současností. Einstein tento krok považoval za podobný postupu užitému v termodynamice při vylučování perpetua mobile. Ale někteří z jeho současníků, například Heisenberg, poukazovali na významný rozdíl mezi těmito dvěma nemožnostmi. V případě termodynamiky je definován určitý *stav* jako v přírodě chybějící. V případě relativity, je definováno jako nemožné *pozorování* – totiž způsob rozhovoru, dorozumívání přírody s osobou, která ji popisuje. Přes Einsteinovu skepsi spatřoval Heisenberg sebe sama jako toho, kdo následuje Einsteinova příkladu, když kvantovou mechaniku založil na vyloučení toho, co princip neurčitosti v kvantové mechanice definuje jako nejistitelné.

Dokud se předpokládalo, že druhá věta termodynamiky vyjadřuje jen prakticky nepravděpodobné věci, teoretici o ni nejevili zájem. Stále byla naděje, že ji lze dostatečnou technickou zručností přemoci. Viděli jsme však, že tomu tak není. V jejich kořenech je výběr možných

počátečních stavů. A jen tehdy, jsou-li tyto stavy vybrány, se pravděpodobnostní výklad stává možným. Jak poprvé konstatoval Boltzmann, růst entropie vyjadřuje nárůst pravděpodobnosti k chaosu. Jeho výklad však vyplývá ze závěru, že entropie je výběrovým principem porušujícím souměrnost času. A teprve po narušení této souměrnosti se stává pravděpodobnostní výklad možným.

Přes to, že jsme mnohé z Boltzmannova pojetí entropie nahradili, je základ našeho pojetí jeho druhé věty termodynamiky zásadně odlišný, protože naši poslušností je:

druhá věta termodynamiky
jako souměrnost porušující výběrový zákon
↓
pravděpodobnostní výklad
↓
nevratnost jako nárůst nepořádku (chaosu).

Je to právě sjednocení dynamiky a termodynamiky zavedením nového výběrového pravidla, které druhé větě termodynamiky propůjčuje její zásadní význam jako vývojovému paradigmatu věd. Tento bod má takový význam, že se jím musíme zabývat obsírněji.

Vývojové paradigma

Svět dynamiky, ať klasické či kvantové, je vratným světem. Jak jsme zdůrazňovali v kapitole 8, nelze tomuto světu připisovat žádný vývoj. „Informace“ vyjádřená v pojmech dynamických jednotek zůstává neměnná. Proto je velmi důležité, že nyní můžeme vývojové paradigma ve fyzice zavést, a to nejen na úrovni makroskopického popisu, ale i na ostatních úrovních. Samozřejmě, že podmínky existují: nezbytná minimální složitost. A obrovský význam nevratných dějů ukazuje, že tento požadavek je pro většinu systémů, které nás zajímají, splněn. Je pozoruhodné, že vnímání orientovaného času vzrůstá současně se zvyšováním úrovně biologického uspořádání a svého maxima dosahuje pravděpodobně v lidském vědomí.

Jak obecné je toto vývojové paradigma? Zahrnuje izolované systémy, které se vyvíjejí k chaosu, a otevřené systémy, které se vyvíjejí směrem k vyšší a vyšší složitosti. Nepřekvapuje, že metafora entropie vábila řadu spisovatelů zabývajících se společenskými nebo ekonomickými problémy. Přirozeně že musíme být opatrní. Lidské bytosti nejsou dy-

namickými objekty a přechod k termodynamice nelze formulovat jako výběrové pravidlo prosazované dynamikou. Na lidské úrovni je nevratnost zásadnějším pojmem, který je pro nás neoddelitelný od smyslu naší existence. Avšak stále je podstatné, že z tohoto hlediska již necháme vnitřní pocit nevratnosti jako subjektivní dojem, který nás odciňuje vnějšmu světu, ale jako dojem označující naši účast ve světě ovládnutém vývojovým paradigmatem.

Kosmologické problémy jsou proslulé svou obtížností. Stále nevíme, jaká byla úloha gravitace v raném vesmíru. Je možno gravitaci v nějaké formě zahrnout do druhé věty termodynamiky, nebo existuje mezi termodynamikou a gravitací druh dialektické rovnováhy? Samozřejmě že nevratnost se ve světě s vratným časem nemohla objevit najednou. Původ nevratnosti je kosmologický problém a vyžadoval by rozbor počátečních stadií vesmíru. Naše cíle jsou skromnější. Co dnes nevratnost znamená? Jak se vztahuje k našemu postavení ve světě, který popisujeme?

Herci a diváci

Odmítavý postoj fyziky k pojmu „vznikání“ vyhloubil mezi filosofií a jí odcizenými obory hlubokou propast. Co bylo původně smělou sázkou s dominující aristotelovskou tradicí, se postupně stalo dogmatickým tvrzením směřujícím proti všem (chemikům, biologům, fyzikům), pro něž v přírodě panovala kvalitativní rozmanitost. Na konci devatenáctého století se tento střet přesunul z nitra vědy do vztahu mezi „vědou“ a zbytkem kultury, především filosofie. V kapitole 3 jsme popsali tuto stránku dějin západního myšlení s jeho neustálým zápasem o dosažení nové jednoty poznání. „Prožívaný čas“ fenomenologů, *Lebenswelt*, který byl v protikladu k objektivnímu světu vědy, lze vztahovat k potřebě opevňovat se proti náporům vědy.

Domníváme se, že doba jistot a absolutních protikladů minula. Fyzikové nemají žádné výsady, ať se týkají jakékoliv výjimečnosti. Jako vědci náležejí ke své kultuře, k níž svým způsobem podstatně přispěli. Dospěli jsme ke stavu blízkému tomu, který byl dávno rozpoznán v sociologii. Merleau-Ponty již zdůraznil potřebu mít na mysli to, co nazval „pravdou uvnitř stavu“.

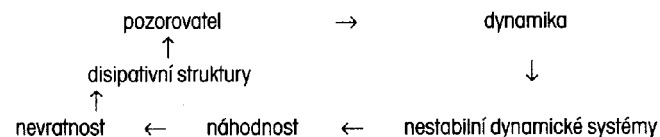
„Dokud si uchovávám ideál absolutního pozorovatele, poznání nezatiženého žádným stanoviskem, mohu na svůj stav nahlížet jen jako na zdroj chyb. Jakmile jsem však jednou dopustil, že jsem jím poháněn ke

všem činnostem a všem znalostem, které pro mne mají smysl, a že je postupně plněn vším, co by mohlo *být* pro mne, pak se mé spojení se společností v omezenosti mého stavu objevuje jako výchozí bod všech pravd, včetně pravdy vědy. Máme jistou představu pravdy, jsme uvnitř pravdy a dostat se mimo ni nemůžeme. Vše, co mohu učinit, je vymezit pravdu uvnitř stavu.“¹⁰

Právě tomuto pojetí poznání, jak objektivního, tak spojeného s účastí všech, jsme věnovali pozornost v naší knize.

Merleau-Ponty ve svých *Thèmes*¹¹ rovněž prohlašoval, že „filosofické“ objevy vědy, její základní koncepční a pojmové přeměny, jsou často výsledkem *záporných objevů*, které poskytují příležitost a výchozí bod pro změnu stanoviska. Důkazy nemožnosti, ať v teorii relativity, kvantové mechanice či termodynamice, svědčí o tom, že přírodu nelze popsat „zvenčí“, z pozice pozorovatele. Popis přírody je dialog, dorozumívání, které je podřízeno tomu, že jsme makroskopické bytosti zakotvené ve fyzikálním světě.

Stav, který dnes vnímáme, lze shrnout a znázornit následujícím schématem:



Vycházíme od pozorovatele, který určuje souřadnice a hybnosti a zjišťuje jejich časové změny. Tak se postupně dostává k objevu nestabilních dynamických systémů a jejich vnitřní náhodnosti a nevratnosti, o kterých jsme pojednávali v kapitole 9. Jakmile jednou dospějeme k vnitřní nevratnosti a entropii, přecházíme od „silně nerovnovážných“ systémů k disipativním strukturám a můžeme pochopit časově zaměřenou činnost pozorovatele.

Neexistuje vědecká činnost, která není časově zaměřená. Příprava experimentu vyžaduje rozlišování mezi „před“ a „potom“. Jenom díky tomu, že jsme si nevratnosti vědomi, můžeme rozeznat vratný pohyb. Naše schéma ukazuje, že jsme se vrátili do výchozího bodu a chápeme se jako neoddelitelná část světa, který popisujeme.

Uvedené schéma není apriorní schéma odvoditelné z nějaké logické struktury. Žádná logická nezbytnost pro existenci disipativních struktur v přírodě neexistuje; „kosmologické“ skutečnosti o vesmíru

„nacházejícím se daleko mimo rovnováhu“ je zapotřebí k tomu, aby se makroskopický svět stal světem obývaným „pozorovateli“, aby se stal živým světem. Naše schéma tudíž neodpovídá logické nebo gnozeologické pravdě, ale vztahuje se k našemu postavení makroskopické bytosti ve světě nacházejícím se daleko od rovnováhy. Hlavním rysem našeho schématu navíc je, že nepředpokládá žádný zásadní způsob popisu. Každá úroveň popisu je zahrnuta v jiné úrovni a současně předznamenává další úroveň. Potřebujeme rozmanitost úrovní, které jsou navzájem provázány, přičemž žádnou z nich nelze zvýhodňovat na úkor ostatních.

Již jsme konstatovali, že nevratnost není obecným jevem. Můžeme provádět pokusy odpovídající termodynamické rovnováze v omezené části prostoru. Navíc se mění důležitost časových měřítek. Kámen se vyvíjí podle časových měřítek odpovídajících geologickému vývoji; lidské společnosti, zvláště v naší době, mají očividně mnohem kratší časové měřítko. Již jsme se zmínili, že nevratnost začíná v daném systému minimální složitostí. Je zajímavé, že s růstem složitosti, kamenem počínaje a lidskou společností konče, význam šipky času a rytmů vývoje vzrůstá. Molekulární biologie ukazuje, že v buňce není všechno stejně „živé“. Některé děje dosahují rovnováhy, jiné jsou řízeny regulačními enzymy za silné nerovnováhy. Podobně má šipka času zcela rozdílný význam ve světě kolem nás. Z tohoto hlediska se ve smyslu časově orientované činnosti jeví lidské podmínky jako jedinečné. Zdá se nám, jak jsme řekli v kapitole 9, že je naprosto důležité, aby nevratnost, šipka času, znamenala náhodnost. „Čas je stavbou.“ Tento závěr, kterého zcela samostatně dosáhl Valéry¹², obsahuje poselství, které směřuje mimo vlastní oblast vědy.

Vichřice v turbulentní přírodě

V naší společnosti s jejím širokým souborem poznávacích postupů zaujímá věda nezvyklé postavení; je básnickým dotazováním se přírody, kdy je básník v etymologickém smyslu „tvůrcem“ – aktivním, manipulujícím, zkoumajícím. Věda je nyní navíc schopna vážit si přírody, kterou zkoumá. Z rozhovoru s přírodou, který zahájila klasická věda, zkoumající přírodu jako nějaký automat, se vyvinul úplně jiný přístup, v němž je obsaženo dotazování se přírody jako součást její vnitřní aktivity.

Jak jsme napsali na počátku této kapitoly, byl náš pocit racionální, rozumově podložené jistoty otřesen. Nyní oceňujeme nepolemicky

vztah vědy a filosofie. O střetu Einsteina s Bergsonem jsme se již zmínili. Bergson jistě v některých technických podrobnostech „neměl pravdu“, ale jeho úkolem jako filosofa bylo pokusit se ve fyzice o zřetelné vymezení času, skutečnosti, o které soudil, že ji věda zanedbává.

Zkoumání souvislosti a ucelenosti těchto základních představ, projevujících se jak vědecky, tak filosoficky, může být riskantní, ale pro dialog vědy a filosofie zároveň velmi plodné. Objasníme to několika krátkými odkazy na Leibnize, Peirce, Whiteheada a Lucretia.

Leibniz zavedl neobvyklý pojem monád, nedorozumívajících se fyzikálních celků, které „nemají žádný otvor, jímž něco může projít ven či dovnitř“. Jeho názory byly často odmítány jako nesmyslné, přitom, jak jsme ukázali v kapitole 2, podstatnou vlastností všech integrovatelných systémů je existence transformace, kterou lze popsat vzájemně na sebe nepůsobícími celky. Tyto celky vyjadřují svůj vlastní počáteční stav svým pohybem, ale současně, podobně jako monády, všechny v „předem vytvořené vzájemné“ harmonii. V tomto pojetí stav každého celku, přestože je dokonale sebeurčen, odráží až po nejmenší podrobnost stav celého systému.

Na všechny integrovatelné systémy lze tak pohlížet jako na „monadické“ systémy. Naopak leibnizovskou monadologii lze převést do jazyka dynamiky: vesmír je integrovatelný systém.¹³ Monadologie se tak stává nejdůslednějším pojetím vesmíru, z kterého jsou vyloučeny všechny změny. Uvážíme-li Leibnizovu snahu pochopit aktivitu hmoty, můžeme posoudit propast, která odděluje sedmnácté století od současnosti. Nástroje ještě nebyly připraveny. Nebylo možné, aby na základě čistě mechanického pojetí vesmíru Leibniz vysvětlil činnost hmoty. Přesto některé z jeho myšlenek, jejichž podstatou je aktivita a vesmír jako celek s vnitřní složitostí, přetrvávají a nabývají dnes nové podoby.

Litujeme, že více místa nelze věnovat práci Charlese S. Peirce. Ocituje alespoň jeden pozoruhodný úryvek:

„Všichni jste slyšeli o rozptylu energie. Je zjištěno, že při všech přeměnách energie se část energie přemění v teplo a teplo vždy směřuje k vyrovnání teploty. Podobně energie vesmíru působí ve smyslu těchto nevyhnutelných zákonů směrem k smrti vesmíru, v němž již nebudou síly, ale teplo a všude stejná teplota...

Ačkoli žádná síla nemůže působit proti tomuto směřování, nevypočitatelná událost může a bude mít opačný vliv. Síla se z dlouhodobého pohledu „vyčerpává“; naopak nevypočitatelné události se z dlouhodobého

pohledu ‚posilují‘. Maření energie podle obvyklých zákonů přírody je ve smyslu těchto nezměnitelných zákonů prováděno vznikem stále příznivějších podmínek pro její opětovné soustředování. Musí nastat stav, kdy se tyto dvě snahy vyrovnávají, a to je bezpochyby skutečná podmínka pro celý současný vesmír.“¹⁴

Peirceova metafyzika byla považována za jeden z dalších příkladů filosofie odcizené reality. Ve skutečnosti však je dnes Peirceova práce pokládána za průkopnický krok pro pochopení pluralitního smyslu fyzikálních zákonů.

Whiteheadova filosofie nás vede k opačnému konci spektra. Bytí pro něj bylo neoddělitelné od „vznikání“. Whitehead napsal: „Objasnění smyslu věty ‚všechno teče‘ je jedním z hlavních úkolů metafyziky.“¹⁵ Fyzika a metafyzika jsou dnes zajedno v představě světa, v němž je proces vznikání brán za základní složku fyzikální existence a kde, na rozdíl od Leibnizových monád, jsou vzájemně působící celky, a proto mohou vznikat i zanikat.

Uspořádaný svět klasické fyziky nebo teorie monád o souběžných změnách se podobají stejně souběžnému, uspořádanému a věčnému pádu Lucretiových atomů nekonečným vesmírem. Již jsme se zmínili o clinamenu a nestabilitě laminárního proudu. Ale můžeme zajít dále. Jak Serres¹⁶ zdůraznil, nekonečný pád skýtá *model*, který zakládá naši představu o přirozeném vzniku poruch, které vedou ke zrodu věcí. Kdyby svislý pád nebyl „bez příčiny“ rušen clinamenem, který vede k srážkám a spojování rovnoměrně padajících atomů, nebyla by stvořena příroda. Vše, co by se obnovovalo a opakovalo, by bylo opakovaným spojením rovnocenných příčin a následků řízených zákony osudu (*foedera fati*).

„Konečně, jsou-li veškeré pohyby spjaty, vzniká-li v určité řadě z jednoho druhý a nedávají-li úchylky tělísek podnět k pohybu, který by osnovu osudu strhal, přetna odvěký řetěz souvislých příčin: kde se v pozemské živoucí bytosti vzala a odkud ta osudu urvaná svobodná možnost, že každý kráčíme, kam nás pobídne vůle, a scházíme s cesty na místě neurčitelném a v nejistý okamžik, jak nás ponoukne mysl?“^{17*}

* T. Lucretius Carus: O podstatě světa, přel. Julie Nováková, nakladatel Jan Pohořelý, Praha 1945

O Lucretiovi by se dalo říci, že *vybájl* clinamen stejně, jako „se objevují“ archeologické nálezy. Někdo přijde s domněnkou o jejich existenci dříve, než se začne kopat. Pokud by existovaly jen rovnoměrné vratné trajektorie, odkud by pocházely nevrátané děje, které vytváříme a které chápeme? Bod, ve kterém trajektorie přestávají být určeny, bod, ve kterém se *foedera fati* řídící uspořádaný a monotónní svět deterministických změn zhroutí, vyznačuje začátek přírody. Označuje i počátek nové vědy, která popisuje vznik, vzrůst a zánik přírodních objektů. „Fyzika pádů, opakování, přísneho a důsledného řetězení a slučování je nahrazována tvořivou vědou změny a okolností.“¹⁸ *Foedera fati (zákony osudu)* jsou nahrazeny *foedera naturae (zákony přírody)*, které, jak zdůrazňuje Serres, označují jak „zákony“ přírody – místní, zvláštní, historické závislosti – tak „alianci“, určitou formu smlouvy s přírodou.

V lucretiovské fyzice tak znovu nacházíme spojení, které jsme odkryli v moderním vědění mezi volbou podléhající fyzikálnímu popisu a filosofickým, etickým nebo náboženským pojetím, které se vztahuje k postavení člověka v přírodě. Fyzika všeobecných souvislostí je stavěna proti jiné vědě, která ve jménu zákona a nadvlády nebojuje s poruchami nebo náhodností. Klasická věda od Archimeda po Rudolfa Clausia se stavěla proti vědě o turbulencích a bifurkacích.

„Řecká moudrost zde dosahuje svého vrcholu. Člověk zde patří do světa, je v hmotě, z hmoty, není cizincem, ale přítelem, členem rodiny a je roven ostatním. Uzavřel smlouvu s věcmi. Naopak mnoho jiných systémů a mnoho jiných věd je založeno na porušení této smlouvy. Člověk je ve světě cizincem, je mu cizí svítání, nebe i věci. Nenávidí je a válčí s nimi. Okolní prostředí je mu nebezpečným protivníkem, s nímž musí bojovat a které si musí podrobit... Epikuros a Lucretius žijí ve smířlivém vesmíru. Tam, kde věda o věcech a věda o člověku splývají. Jsem poruchou, vichřicí v turbulentní přírodě.“¹⁹

Mimo tautologii

Svět klasické vědy byl světem, v němž jedinými událostmi, které mohly nastat, byly ty, které se daly odvodit z okamžitého stavu systému. Toto pojetí, které jsme vysledovali až ke Galileovi a Newtonovi, nicméně nebylo nové. Lze ho ztotožnit s Aristotelovou představou božského a neměnného nebe. Podle Aristotela to byl jen božský svět, u kterého

jsme mohli doufat, že ho přesně matematicky popíšeme. V Úvodu jsme si postěžovali, že věda „zbavila svět iluzi“. Toto vystřízlivění je ale paradoxně způsobeno velebením světského, pozemského světa, napříště hodného racionálního jednání, které Aristoteles vyhrazoval nebesům. Klasická věda odmítala vznikání a přirozenou rozmanitost, obojí Aristotelem považované za znaky sublunárního, méněcenného světa. V tomto smyslu snesla klasická věda nebesa na zem. Záměrem otců moderní vědy to však určitě nebylo. V Aristotelově odvážném tvrzení, že matematika končí tam, kde začíná příroda, se nesnažili objevit nezměnitelné skrývající se za měnicím se, ale spíše posunout měnicí se a zkáze podléhající přírodu k hranicím vesmíru. Ve svých *Rozhovorech o dvou velkých světových soustavách* je Galileo okouzlen představou, že svět by byl ušlechtlejším místem, když by po velké potopě zůstalo jen moře ledu, nebo pokud by země měla neporušitelnou tvrdost jaspisu. Nechtě jsou ti, kteří si myslí, že Země by byla mnohem krásnější po přeměně v křišťálovou kouli, Medusiným pohledem přeměnění v diamantové sochy!

Objekty vybrané prvními fyziky k prozkoumání platnosti kvantitativního popisu – ideální kyvadlo se svým věčným pohybem, jednoduché stroje, oběžné dráhy planet atd. – však byly vybírány, aby odpovídaly *jedinečnému* matematickému popisu, který znovuvytvářel božskou ideálnost Aristotelových nebeských těles.

Objekty klasické dynamiky se podobně jako Aristotelovi bohové zabývají jen samy sebou. Zvnějšku se nemohou ničemu naučit. V každém okamžiku zná každý bod systému vše, co bude kdykoliv potřebovat vědět, tj. rozmístění hmot v prostoru a jejich rychlosti. Každý stav obsahuje úplnou pravdu týkající se všech ostatních možných stavů, a každého lze užít k předpovědi ostatních – bez ohledu na jejich vzájemné polohy na časové ose. V jistém smyslu vede tento popis k tautologii, neboť jak budoucnost, tak minulost jsou obsaženy v přítomnosti.

Na pronikavou změnu názorů moderní vědy, na posun k časovosti a rozmanitosti, lze pohlížet jako na vratný pohyb, který Aristotelova nebesa snesl k zemi. Nyní přibližujeme zemi k nebesům. Objevujeme nadřazenost času a změny, a to od elementárních částic až po kosmologické modely.

Jak na makroskopické, tak i na mikroskopické úrovni opustily přírodní vědy pojetí objektivní skutečnosti, což zahrnovalo předpoklad, že novost a rozmanitost musí být ve jménu neměnných univerzálních zákonů odmítnuty. Zbavily se okouzlení racionality, jež se zdála uzavřená, a poznáním, jež se jevílo jako dosažené. Nyní však jsou přírod-

ni vědy otevřeny neočekávanému, které již nadále nevymezují jako výsledek nedokonalých znalostí či nedostatečného řízení.

Toto otevření se vědy definoval Sergej Moscovici jako „keplerovskou revoluci“ a odlišil od „kopernikovské revoluce“, v níž přetrvávala myšlenka absolutního hlediska. V mnoha úryvcích citovaných v Úvodu této knihy byla věda přirovnávána k „rozčarování, vystřízlivění“ světa. Zmíňme se o změnách v současném světě, které popsal Moscovici:

„Věda se stala účastníkem dobrodružství, našeho dobrodružství, aby obnovila vše, čeho se dotýká, a rozehrála vše, čím proniká – Zemi, na které žijeme, a pravdu, která nám umožňuje žít. Při každém kroku neslyšíme ozvěnu zániku, umíráček vyzvánějící tomu, co pomíjí, ale slyšíme vždy nanovo hlas opětovného zrodu a počátku, hlas lidstva a hmotnosti, na okamžik znehybnělých ve svém pomíjivém trvání. A to je příčinou, proč se velké objevy neukazují na smrtelném loži jako ten Koperník, ale jsou jako Keplerovy nabízeny na cestě snů a vášni.“²⁰

Tvůrčí tok času

Často se říká, že bez Bacha bychom neměli „Matoušovy pašije“, zatímco teorie relativity by byla objevena i bez Einsteina. O vědě se předpokládá, že na rozdíl od nepředvídatelnosti zahrnuté v dějinách umění se ubírá deterministickým směrem. Ohlédneme-li se však zpět za podivnými dějinami vědy, z nichž tři poslední staletí jsme se snažili načrtnout, lze o platnosti takových tvrzení pochybovat. Existují překvapivé příklady skutečností, které byly opomíjeny jen proto, že kulturní prostředí nebylo připraveno je zahrnout do svého rámce. Objev chemických hodin spadá pravděpodobně do devatenáctého století, ale jejich výsledek se zdál v rozporu s myšlenkou pozvolného útlumu k rovnováze. Z vídeňského muzea byly vyhozeny meteority, protože pro ně v popisu sluneční soustavy nebylo místo. Naše kulturní prostředí má jistě čínorodý vliv na otázky, které klademe, nicméně za jejich společenským ohlasem můžeme rozeznat řadu otázek, k nimž se vrací každá generace.

Otázka času bezesporu k těmto otázkám patří. Zde nesouhlasíme s rozбором Thomase Kuhna o vytváření „normální“ vědy.²¹ Vědecká činnost nejlépe odpovídá Kuhnovu pohledu, jestliže o ní uvažujeme v souvislosti s moderní univerzitou, která spojuje výzkum a výchovu budoucích výzkumníků. Pokud je Kuhnův rozbor brán za obecný popis vědy, vede k závěru, že poznání musí být omezeno na nový psycho-

sociální způsob pozitivistického pojetí vývoje vědy, zvláště na sklon k rostoucí specializaci a „rozškatulkování“. Ztotožnění „normálního“ vědeckého chování s chováním „skutečného“, „tichého“ výzkumníka, který neplýtvá časem na „obecné“ otázky po všeobecném významu svého výzkumu, ale zabývá se specializovanými problémy; absolutní nezávislost vědeckého vývoje a kulturních, ekonomických a společenských problémů.

Akademická struktura, ve které vznikla „normální“ věda popsaná Kuhnem, vykristalizovala v devatenáctém století. Kuhn zdůrazňoval, že je to opakováním způsobů řešení úkolů týkajících se paradigmatických problémů předchozích generací, že se studenti učí představám, na kterých je založen výzkum. A tímto postupem jsou dána měřítká, která problémy popisují jako zajímavé a řešení jako přijatelná. Přeměna studenta ve výzkumníka probíhá postupně. Vědec pokračuje v řešení problémů podobnými metodami.

I v naší době, pro kterou má Kuhnův popis největší závažnost, se tento popis zmiňuje jen o jedné zvláštní a výrazné stránce vědecké činnosti. Význam tohoto hlediska se mění podle jednotlivých badatelů a ústavů.

Přeměna paradigmatu se v Kuhnově pojetí jeví jako krize: místo aby zůstalo tichým, skoro nezpozorovatelným pravidlem, místo aby zůstalo nevyřčeno, je paradigma vlastně dotazováno. Členové vědecké obce, místo aby svorně pracovali, začínají klást „základní“ otázky a napadat správnost a platnost svých metod. Skupina, která byla v průběhu vzdělávání jednotná, se nyní dělí. Jsou vyjadřována rozdílná hlediska, filosofická přesvědčení a kulturní zkušenosti, které mají při hledání nového paradigmatu často rozhodující úlohu. Objevení nového paradigmatu úpornost a zápal diskuse dále jen zvyšuje. Soupeřící paradigmata jsou přezkušována, než akademický svět určí vítěze. Klid a shoda tak s příchodem nové vědecké generace berou zaspě. Píší se nové učebnice a vše se bere jako samozřejmost.

Z tohoto pohledu je hnací silou vědeckého pokroku silně konzervativní chování skupin vědců, kteří při svém badání tvrdohlavě uplatňují stejné postupy a stejné způsoby. Střetnutí vždy skončí stejně tvrdohlavým odporem přírody. Není-li příroda nakonec v rámci výzkumu ochotná vyjádřit se přijatelně, krize vybuchne s prudkostí odpovídající ztrátě důvěry. Všechny intelektuální zdroje se na této úrovni soustřeďují na hledání nového jazyka. Vědci se tedy musí vypořádat s krizemi, které jsou jim vnuceny proti jejich vůli.

Zadané otázky nás zavedly ke zdůrazňování hledisek, která se výraz-

ně odlišují od Kuhnových popisů. Zdržovali jsme se u souvislosti, a to nikoliv u „očividných“, ale u skrytých souvislostí, které zahrnují obtížné otázky, mnohými odmítané jako bezpředmětné nebo falešné a chybné, k nimž se však generace za generací vrací – otázky, jakými jsou dynamika složitých systémů, vztah nevratného světa chemie a biologie s vratným popisem poskytovaným klasickou fyzikou. Zájem o tyto otázky ve skutečnosti nepřekvapuje. Pro nás je spíše obtížné pochopit, jak mohly být při existenci prací Diderotových, Stahlových, Venelových a dalších stále zanedbávány.

Posledních sto let se vyznačovalo několika krizemi, které Kuhnovu popisu věrně odpovídají, o žádnou z nich však vědci neusilovali. Příkladem je objev nestálosti elementárních částic nebo rozpínající se vesmír. Avšak současné dějiny vědy rovněž charakterizuje řada problémů, které jsou důsledky logických a snad lehce srozumitelných otázek kladených vědci, kteří vědí, že problémy mají jak vědeckou, tak filosofickou stránku. Vědci tedy nejsou *odsouzeni* k tomu, aby se chovali jako „hypnony“!

Je důležité poukázat na to, že na nový vědecký vývoj, který jsme popsali, na začlenění nevratnosti do fyziky, nelze pohlížet jako na nějaký druh „zjevení“, jež by toho, kdo je „ovládne“, vydělilo z kulturního světa, ve kterém žije. Naopak tento vývoj jasně odráží jak vnitřní logiku vědy, tak kulturní a společenské souvislosti naší doby.

Lze považovat za náhodnou skutečnost, že k znovuoobjevení času ve fyzice dochází v době mimořádného urychlení lidských dějin? Kulturní souvislosti nemohou být úplnou odpovědí, nelze je ale ani popřít. Je nutné propojit a sjednotit „vnitřní“ a „vnější“ postupy při vytváření nových vědeckých představ.

V předmluvě k této knize jsme zdůraznili, že její francouzský název (*La nouvelle alliance – Nová aliance*) vyjadřuje sblížení „dvou kultur“. Splývání a setkávání není snad nikde tak zřetelné jako v problému mikroskopických základů nevratnosti (knihy 3).

Jak jsme se opakovaně zmiňovali, klasická i kvantová mechanika je založena na libovolných počátečních podmínkách a deterministických zákonech (trajektorií nebo vlnových funkcí). Zákony v jiném smyslu činí jednoznačným to, co již bylo obsaženo v počátečních podmínkách. Není to již případ, kdy by byla v úvahu brána nevratnost. Při tomto pohledu vyplývají počáteční podmínky z předcházejícího vývoje a jsou následným vývojem přeměněny do stavů stejného druhu.

Dostali jsme se tedy až k ústřednímu problému západní ontologie, vztahu mezi bytím a nastáváním. Stručný nástin problému jsme poda-

li v kapitole 3. Je pozoruhodné, že dvě z nejdůležitějších prací století byly věnovány právě tomuto problému. Máme na mysli Whiteheadův *Process and Reality (Proces a realita)* a Heideggerovo *Sein und Zeit (Bytí a čas)*. V obou případech je cílem dostat se při sledování *Voie Royale* západní filosofie od Platona a Aristotela k identifikaci bytí s nezávislostí na čase.²²

Zredukovat bytí v čas však očividně nemůžeme a s bytím postrádajícím pojem času se nemůžeme zabývat. Směr, který má mikroskopická teorie nevrtnosti, dává Whiteheadovým a Heideggerovým úvahám nový obsah.

Přesahovalo by rámec naší knihy, kdybychom tento problém probírali podrobněji. Doufáme, že tak budeme moci učinit někde jinde. Všimněme si, že počáteční podmínky, stručně vyjádřené ve stavu systému, jsou spojeny s bytím; naproti tomu zákony obsahující časové změny jsou svázány s nastáváním.

V našich představách si bytí a nastávání navzájem nemusí odporovat: vyjadřují dva spolu související rysy skutečnosti.

Stav s narušenou časovou souměrností plyne ze zákona, jehož částí je narušená časová souměrnost, která ho šíří do stavu patřícího do stejné kategorie.

V nedávno vydané monografii (*From Being to Becoming*) jeden z autorů učinil tento závěr: „Pro většinu zakladatelů klasické vědy včetně Einsteina byla věda pokusem dostat se mimo svět jevů a dosáhnout bezčasového světa vrcholné racionality, světa Spinozova. Snad existuje jemnější forma skutečnosti, která zahrnuje jak zákony, tak i hry, čas a věčnost.“

Přesně tímto směrem se ubírá mikroskopická teorie nevrtných dějů.

Lidský úděl

Plně souhlasíme s Hermanem Weylem:

„Vědci by chybovali, kdyby si nevěšali skutečnosti, že teoretická konstrukce není jediným přístupem k fenoménu života. Je nám otevřen jiný přístup, pochopení zevnitř. Já sám, vlastními dojmy a vnímáním, myšlením, vůlí, pocity a činy, mám přímé, od teoretických znalostí naprosto odlišné poznatky, které v symbolech zosobňují souběžné děje probíhající v mozku. Toto vnitřní vědomí sebe sama je základem pro pochopení mých bližních, s nimiž se setkávám a které беру na vědomí jako bytosti svého druhu, s nimiž jsem někdy v tak úzkém styku, že s nimi sdílím radost a zármutek.“²³

Donedávna v tom byl příkrý rozdíl. Věčný vesmír se jevil jako automat, který se řídí deterministickými příčinnými zákony na rozdíl od spontánní aktivity a nevrtnosti, které zakoušíme. Oba světy se nyní sblíží. Není to ztráta pro přírodní vědy?

Klasická věda usilovala o „průhledný“ pohled na fyzikální vesmír. V každém případě bychom byli schopni rozpoznat příčinu a následek. To však neplatí, je-li nezbytný náhodný popis. Nadále nelze hovořit o příčinných souvislostech v každém jednotlivém pokusu, můžeme mluvit jen o statistické příčinnosti. Tato skutečnost byla argumentem již od nástupu kvantové mechaniky, ale nedávnými objevy, ve kterých náhodnost a pravděpodobnost měly zásadní úlohu, bylo toto tvrzení ještě výrazně posíleno, a to i v klasické dynamice a chemii. Moderní směry ve srovnání s průhledností klasických myšlenek vykazují jistou „neprůhlednost“.

Jde o porážku lidského ducha? Je to obtížná otázka. Jako vědci nemáme volbu. Svět vám nemůžeme popsat tak, jak byste si ho přáli vidět, ale pouze jak ho vidíme my prostřednictvím experimentálních výsledků a nových teoretických představ. Věříme, že tento nový stav odráží situaci, se kterou se, jak se nám zdá, shledáváme v naší vlastní duševní činnosti. Klasická psychologie se zaměřovala na vědomou, „průhlednou“ činnost. Moderní psychologie přikládá mnohem větší váhu neprůhlednému působení nevědomí. Snad je to podoba základních rysů lidského bytí. Připomeňme si Oidipa a jasnost jeho myslí ve srovnání se sfingou a její temnou záhadností. Snad je sblížení našich pohledů do světa kolem nás a do světa uvnitř nás přesvědčivou charakteristikou současného vývoje vědy, o jehož popis jsme se snažili.

Je těžké zabránit dojmu, že v rozlišení mezi tím, co existuje v čase, co je nevrtné, a mezi tím, co je nadčasové, co je věčné, jsou počátky lidské obrazotvornosti. Je tomu tak především v umělecké činnosti. Skutečně, jedna stránka přeměny přírodního objektu, kamene, v umělecké dílo je úzce spojena s naším působením na hmotu. Umělecká činnost narušuje časovou souměrnost objektu. Zanechává stopu, která mění naši časovou nesouměrnost v časovou souměrnost objektu. Mimo vratnou, téměř cyklickou hlukovou úroveň, ve které žijeme, vzniká hudba, která je jak náhodná, tak i časově zaměřená.

Obnovení přírody

Je nanejvýš pozoruhodné, že se nacházíme v okamžiku, kdy dochází jak k hluboké změně vědeckého pojetí přírody, tak i struktury lidské společnosti jako důsledku populační exploze. Objevuje se potřeba nových vztahů člověka s přírodou a člověka s člověkem. Nadále již nelze přijímat minulé apriorní rozlišování vědeckých a morálních hodnot. Toto rozlišování bylo možné v době, kdy vnější a náš vnitřní svět stály ostře proti sobě. Dnes víme, že čas je výtvar, a proto s sebou nese i morální zodpovědnost.

Myšlenky, jimž jsme v této knize věnovali hodně místa, myšlenky nevrtnosti a fluktuací, pronikají do společenských věd. Nyní víme, že společnosti jsou nesmírně složitými systémy obsahujícími dosud neprojevený ohromný počet bifurkací, jejichž příkladem je rozmanitost kultur, které se vyvinuly v relativně krátkém časovém období lidské historie. Víme, že takové systémy jsou na fluktuace vysoce citlivé. To vyvolává jak naději, tak hrozbu. Naději, která souvisí s tím, že i malé fluktuace mohou růst a změnit celou strukturu. V důsledku toho není jednotlivá činnost odsouzena k bezvýznamnosti. Na druhé straně je to i hrozba, neboť se zdá, že jistota stabilních, trvalých zákonů v našem světě navždy pominula. Žijeme v nebezpečném a nejistém světě, který nevzbuzuje žádnou slepou důvěru, ale snad jen stejný pocit oprávněné naděje, kterou některé talmudické texty připisovaly Bohu z Genesis:

„Dvacet šest pokusů předcházelo stvoření a všechny byly odsouzeny ke zkáze. Svět člověka povstal ze změtených útroh dřívější hlušiny. I on je vystaven nebezpečí selhání a obrácení vniče. „Doufám, že se postaví,“ (Halvaj Šejamod), zvolal Bůh, když tvořil svět, a tato naděje, která doprovázela celé následující dějiny světa a lidstva, zdůrazňovala již od počátku, že tyto dějiny jsou poznamenány stopami obrovské nejistoty.“²⁴

Poznámky

Úvod

1. I. BERLIN: *Against the current*, vybrané spisy, ed. H. Hardy (New York, The Viking Press 1980), s. XXVI.
2. Viz TITUS LUCRETIUS CARUS: *De Natura Rerum*, kniha I, v. 267–70, ed. a kom. C. Bailey (Oxford, Oxford University Press 1947, 3 sv.).
3. R. LENOBLE: *Histoire de l'idée de nature* (Paříž, Albin Michel 1969).
4. B. PASCAL: „Pensées“, frag. 792, v *Oeuvres Complètes* (Paříž, Brunshwig-Boutroux-Gazier 1904–1914).
5. J. MONOD: *Chance and Necessity* (New York, Vintage Book 1972), s. 172–173.
6. G. VICO: *The New Science*, překlad T. G. Bergin a M. H. Fisch (New York 1968), odstavec 331.
7. J. P. VERNANT et al.: *Divination et rationalité*, především J. BOTTERO: „Symptômes, signes, écritures“ (Paříž, Seuil 1974).
8. A. KOYRÉ: *Galileo Studies*, (Hassocks, angl. The Harvester Press 1978).
9. K. POPPER: *Objective Knowledge*, (Oxford, Clarendon Press 1972).
10. P. FORMAN: „Weimar Culture, Causality and Quantum Theory, 1918–1927; Adaptation by German Physicists and Mathematicians to an Hostile Intellectual Environment“, *Historical Studies in Physical Sciences*, 3(1971), s. 1–115.
11. J. NEEDHAM, C. A. RONAN: *A Shorter Science and Civilisation in China*, 1. díl, (Cambridge, Cambridge University Press 1978), s. 170.
12. A. EDDINGTON: *The Nature of the Physical World* (Ann Arbor, University of Michigan Press 1958) s. 68–80.
13. tamtéž, s. 103.
14. viz BERLIN /1/, s. 109
15. K. POPPER: *Unended Quest* (La Salle, Illinois, Open Court Publishing Company 1976) s. 161–162.
16. G. BRUNO: 5. rozhovor, „De la causa“, *Opere Italiane*, I (Bari 1907); srv. I. LECLERC: *The Nature of Physical Existence* (Londýn, George Allen & Unwin 1972)
17. P. VALÉRY: *Cahiers*, (2 svazky), ed. Mme Robinson-Valéry, (Paříž, Gallimard 1973–74).

18. E. SCHRÖDINGER: „Are there Quantum Jumps?“, *The British Journal for the Philosophy of Science*, III (1952), s. 109–110. Tento článek byl s rozhořčením citován P. W. Bridgmannem v jeho příspěvku *Determinism and Freedom in the Age of Modern Science*, ed. S. Hook (New York, New York University Press 1958).
19. A. EINSTEIN: „Prinzipien der Forschung, Rede zur 60. Geburtstag von Max Planck“ (1918) in: *Mein Weltbild*, Ullstein Verlag 1977, s. 107–10. V originále je též odkaz na anglický překlad *Ideas and Opinions* (New York, Crown 1954) s. 224–227.
20. F. DÜRRENMATT: *The Physicists*. (New York, Grove 1964).
21. S. MOSKOVICI: *Essai sur l'histoire humaine de la nature*, Collection Champs (Paříž, Flammarion 1977).
22. RONAN, viz cit. dílo, s. 87.
23. MONOD, viz cit. dílo, s. 180.

Kapitola 1

1. J. T. DESAGULIERS: „The Newtonian System of the World, The Best Model of Government: an Allegorical Poem“, 1728, zmíněno in H. N. FAIRCHILD: *Religious Trends in English Poetry*, sv. 1. (New York, Columbia University Press 1939), s. 357.
2. tamtéž, s. 358.
3. Mnohoznačnost kulturního účinku newtonovského modelu zdůrazňoval a objasňoval Gerd Buchdahl, a to jak ve smyslu empirického (*Opticks*) a systematického (*Principia*) in: *The Image of Newton and Locke in the Age of Reason*, Newman History and Philosophy of Science Series (London, Sheed & Ward 1961).
4. *La Science et la diversité des cultures*, (Paříž, UNESCO, PUF 1974), s. 15–16.
5. C. C. GILLISPIE: *The Edge of Objectivity* (Princeton, stát New York, Princeton University Press 1970), s. 199–200.
6. M. HEIDEGGER: *The Question Concerning Technology* (New York, Harper & Row 1977), s. 20.
7. tamtéž, s. 21.
8. tamtéž, s. 16.
9. „The Coming of the Golden Age“, *Paradoxes of Progress* (San Francisco, Freeman & Company 1978).
10. viz např. P. DAVIES: *Other Worlds* (Toronto, J. M. Dent & Sons 1980).
11. A. KOESTLER: *The Roots of Coincidence* (London, Hutchinson 1972), s. 138–139.

12. A. KOYRÉ: *Newtonian Studies* (Chicago, University of Chicago Press 1968), s. 23–24.
13. V „Race and History“ (*Structural Anthropology II*, New York, Basic Books 1976) popisuje Claude Lévi-Strauss podmínky, které vedou k neolitické a průmyslové revoluci. Jím zavedený model obsahuje řetězové reakce a katalýzu (děj, jehož kinetika se vyznačuje mezi a zesílením) a potvrzuje blízkost problémů stability a fluktuací, které rozebíráme v kapitole 6, stejně jako určité náměty související se „strukturním“ přístupem v antropologii.
14. „Mytický řád každé společnosti vylučuje dialog: o mýtech skupin se domníváme, že se opakují.“ C. LÉVY-STRAUSS: *L'Homme Nu* (Paříž, Plon 1971), s. 585. Mytický diskurz musí být především v důsledku praktických podmínek odlišován od kritického dialogu (vědeckého a filosofického) kvůli vnitřní neschopnosti toho či onoho původce racionálně uvažovat. Zkušenost kritického rozhovoru propůjčila kosmologickému diskurzu čínicimu si nárok na pravdivost pozoruhodné urychlení.
15. Jde o jeden z hlavních námětů Alexandra Koyré.
16. Definice takového „nesmyslu“ odporuje odvěké představě, že dostatečně „lživým“ plánem by bylo možno napálit přírodu. Srovnej s úsilím techniků o konstrukci strojů využívajících „věčného“ pohybu, které trvalo až do 20. století, viz A. Ord Hume: *Perpetual Motion: History of an Obsession* (New York, St. Martin's Press 1977).
17. Popper považoval vzrušení vznikající z nebezpečí a rizik obsažených v experimentálních hrách za normální. V *Logic of Scientific Discovery* tvrdí, že věda musí vyhledávat ty nejvíce „nepravděpodobné“, tj. ty nejdůležitější hypotézy – a pak se je jako příslušné teorie snaží vyvracet.
18. R. FEYNMAN: *The Character of Physical Law* (Cambridge, Massachusetts, M. I. T. Press 1967)
19. J. NEEDHAM: „Science and Society in East and West“ *The Grand Titration* (Londýn, Allen & Unwin 1969)
20. A. N. WHITEHEAD: *Science and the Modern World* (New York, The Free Press 1967), s. 12.
21. NEEDHAM, viz cit. dílo, s. 308.
22. NEEDHAM, viz cit. dílo, s. 330.
23. R. HOOYKAAS, toto „odbožštění“ světa křesťanskou metaforou stroje světa zdůraznil in: *Religion and the Rise of Modern Science* (Edinburgh a Londýn, Scottish Academic Press 1972), zvl. s. 14–16.
24. WHITEHEAD, viz cit. dílo, s. 54.
25. Známý text o přírodě zapsaný do matematických symbolů lze najít v *Il Saggiatore*. Viz též *The Dialogue Concerning the Two Chief World Systems*, 2. rev. vydání (Berkeley, University of California Press 1967).

26. Prinejmenším triumfovala v akademiích založených absolutními vládci ve Francii, Prusku a Rusku. Ben Davis in: *The Scientist's Role in Society* (Englewood Cliffs, N. Y.: Foundation of Modern Sociology Series, Prentice Hall 1971) zdůrazňuje odlišnost mezi fyziky oddanými fyzice jako okouzující a čistě teoretické vědě, kteří byli z těchto států, a anglickými fyziky zahloubanými do spousty empirických a technických problémů. Ben Davis navrhl spojit okouzlení teoretickou vědou a vypuzení společenské vrstvy podporující „vědecké hnutí“ daleko od politické moci.
27. Thomas Hankins v d'Alembertově životopise – *Jean d'Alembert, Science and Enlightenment* (Oxford, Clarendon Press 1970) zdůrazňuje, jak bylo první opravdové vědecké společenství, společenství fyziků a matematiků 18. století, z dnešního pohledu malé a uzavřené, a jak důvěrně byly jejich vztahy s absolutními vládci.
28. EINSTEIN, viz cit. dílo, s. 225–226.
29. E. Mach: „The Economical Nature of Physical Inquiry“, *Popular Scientific Lectures* (Chicago, Open Court Publishing Company 1895), s. 197–198.
30. J. DONNE: *An Anatomy of the World*; v díle je znázorněna pomíjivost, křehkost a úpadek celého světa (Londýn, katalog British Museum 1611).

Kapitola 2

1. Na tomto místě viz T. HANKINS: „Reception of Newton's Second Law of Motion in the Eighteenth Century“, *Archives Internationales d'Histoire des Sciences*, XX (1967), s. 42–65 a I. B. COHEN: „Newton's Second Law and the Concept of Force in the Principia“, *The Annus Mirabilis of Sir Isaac Newton, Tricentennial Celebration, The Texas Quarterly*, sv. X, č. 3 (1967), s. 25–157. Čtyři následující odstavce jsou co se atomistických teorií a teorií spojených s pojmem zachování odůvodněny in: W. SCOTT: *Conflict Between Atomism and Conservation Theory* (Londýn, MacDonald 1970).
2. A. KOYRÉ: *Galileo Studies* (Hassocks–Anglie, The Harvester Press 1978), s. 89–94.
3. Ernst Mach ve svých dějinách mechaniky – *The Science of Mechanics: A Critical and Historical Account of Its Development* (La Salle–Illinois, Open Court Publishing Company 1960) klade důraz na spojitost moderní dynamiky jak s naukou o trajektoriích, tak s technickými výpočty.
4. Jde minimálně o závěr dnešních historiků, kteří začali zkoumat působivé množství Newtonových „Alchemical Papers“, které byly doposud po-

míjeny nebo přezírány jako „nevědecké“. Viz B. J. DOBBS: *The Foundation of Newton's Alchemy* (Cambridge, Cambridge University Press 1975); R. WESTFALL: „Newton and the Hermetic Tradition“ in: *Science, Medicine and Society*, ed. A. G. DEBUS (Londýn, Heinemann 1972) a R. WESTFALL: „The Role of Alchemy in Newton's Career“, *Reason, Experiment and Mysticism*, ed. M. L. RIGHINI BONELLI a W. R. SHEA (Londýn, Macmillan 1975). Jako lord Keynes, který měl rozhodující úlohu při shromažďování těchto pojednání, shrnul (viz DOBBS, cit. dílo, s. 13): „Newton nebyl první z věku rozumu. Byl posledním z Babyloňanů a Sumeřanů, byl posledním velkým duchem, který na viditelný a duševní svět pohlížel stejně jako ti, kteří před 10 000 lety začali vytvářet naše duševní dědictví.“

5. DOBBS, viz cit. dílo, také zkoumal úlohu „prostředníka“, který dvě látky učiní „společenskými“. Lze si připomenout význam prostředníka v Goethově románu *Die Wahlverwandtschaften* (angl. překlad pod názvem *Elective Affinities*, Greenwood 1976). Co se chemie týče, nebyl Goethe daleko od Newtona.
6. Příběh Newtonova „omylu“ je popsán in: HANKINS *Jean d'Alembert*, s. 29–35.
7. G. L. BUFFON: „Réflexions sur la loi d'attraction“, dodatek k *Introduction à l'histoire de minéraux* (1774), *Oeuvres Complètes*, sv. IX (Paříž, Garnier Frères), s. 75, 77.
8. G. L. BUFFON: *Histoire naturelle. De la Nature, Seconde Vue* (1765), cit. in: H. METZGER: *Newton, Stahl, Boerhaave et la doctrine chimique* (Paříž, Blanchard 1974), s. 57–58.
9. A. THACKRAY popisuje způsob, jak se francouzská chemie stala buffonovskou, in: *Atom and Power: An Essay on Newtonian Matter Theory and the Development of Chemistry* (Cambridge, Massachusetts, Harvard University Press 1970), s. 199–233. Bertholletova *Statique chimique* dovršila Buffonův program a také ho ukončila, neboť jeho žáci vzdali snahy o pochopení chemických reakcí v pojmech slučitelných s Newtonovými představami.
10. Nechceme se zde pokoušet vysvětlit Newtonovo vítězství ve Francii, ani jeho pád, ale zdůraznit přinejmenším časové souvislosti těchto událostí a procesu profesionalizace vědy. Viz M. CROSLAND: *The Society of Arcueil: A View of French Science at the Time of Napoléon* (Londýn, Heinemann 1960), nebo též jeho *Gay Lussac* (Cambridge, Cambridge University Press 1978).
11. Úlohu vědeckých institucí vysvětlil Thomas Kuhn převzetím přípravy budoucích vědců, tj. zajištěním jejich rostoucího počtu, což je hlavní cha-

- rakteristika vědecké činnosti, jak ji známe dnes. Tímto problémem se též zabývali M. Crosland, R. Hahn a W. Farrar in: *The Emergence of Science in Western Europe*, ed. M. CROSLAND (Londýn, Macmillan 1975).
12. Role „světského“ zájmu, kterým tak pohrdali filosofové jako Francouz Gaston Bachelard, by měla být posuzována jako příznak otevřenosti vědy osmnáctého století. Do jisté míry lze hovořit o úpadku ve století devatenáctém, alespoň co se vědecké kultury týče. Dnes bychom si měli vzít poučení z velkého počtu místních akademií a společností, ve kterých jsou vědecké záležitosti projednávány neprofesionálně.
 13. Cit. in: J. SCHLANGER: *Les métaphores de l'organisme* (Paříž, Vrin 1971), s. 108.
 14. J. C. MAXWELL: *Science and Free Will*, in: CAMPBELL & GARNETT, viz cit. dílo, s. 443. L. CAMPBELL & W. GARNETT: *The Life of James Clerk Maxwell* (Londýn, Maxmillan 1882).
 15. Tento problém je jedním z hlavních námětů francouzského filosofa Michela Serrese. Viz např. „Conditions“ v jeho *La naissance de la physique dans le texte de Lucrèce* (Paříž, Minuit 1977). V originále je též odkaz na anglický překlad M. SERRES: *Hermes: Literature, Science, Philosophy* (Baltimore, The John Hopkins University Press 1982).
 16. O osudu Laplaceova démona viz E. CASSIRER: *Determinism and Indeterminism in Modern Physics* (New Haven, Connecticut, Yale University Press, 1956), s. 3–25.

Kapitola 3

1. R. NISBET: *History of the Idea of Progress* (New York, Basic Books 1980), s. 4.
2. D. DIDEROT: *d'Alembert's Dream* (Harmondsworth–Anglie, Penguin Books 1976), s. 166–167.
3. D. DIDEROT: „*Conversation Between d'Alembert and Diderot*“, *d'Alembert's Dream*, s. 158–159.
4. D. DIDEROT: *Pensées sur l'Interprétation de la Nature* (1754), *Oeuvres Complètes*, sv. II (Paříž, Garnier Frères 1875), s. 11.
5. Diderot popisuje tento názor lékaři Bordeuovi ve spise *D'Alembertův sen*.
6. Viz např. A. LOVELOY: *The Great Chain of Beings* (Cambridge, Massachusetts, Harvard University Press 1973).
7. Dějepisec Gillispie navrhl spojení protestu proti matematické fyzice, který popularizoval Diderot v *Encyclopedii*, a nepřátelství revolucionářů k této oficiální vědě, které se projevilo při skončení debaty v Akademii a Lavoisierově smrti. (Viz C. C. GILLISPIE: „The Encyclopedia and the

- Jacobin Philosophy of Science: A Study in Ideas and Consequences“, *Critical Problems in the History of Science*, ed. M. CLAGETT (Madison, Wisconsin, University of Wisconsin Press 1959), s. 255–289.
8. G. E. STAHL: „Véritable Distinction à établir entre le mixte et le vivant du corps humain“, *Oeuvres médicophilosophiques et pratiques*, sv. II (Montpellier, Pitrat et Fils 1861), především s. 279–282.
 9. K popisu přetváření významu „organizace“ u Stahla a romantiků viz J. SCHLANGER: *Les métaphores de l'organisme*.
 10. *Philosophy of Nature*, §261.
 11. To je Knightův závěr, in: „The German Science in the Romantic Period“, *The Emergence of Science in Western Europe*.
 12. H. BERGSON: *La pensée et le mouvant*, *Oeuvres* (Paříž, Editions du Centenaire, PUF 1970) s. 1285. V originále je též odkaz na anglický překlad *The Creative Mind* (Totowa, New Jersey-USA, Littefield, Adams 1975), s. 45.
 13. Viz tamtéž s. 1287 (anglický překlad s. 44).
 14. Viz tamtéž s. 1286 (anglický překlad s. 44).
 15. H. BERGSON: *L'évolution créative*, *Oeuvres*, s. 784. V originále je též odkaz na anglický překlad *Creative Evolution* (Londýn, Macmillan 1911), s. 361.
 16. Tamtéž, s. 538, angl. překlad s. 54.
 17. Tamtéž, s. 784, angl. překlad s. 361.
 18. BERGSON: *La pensée et le mouvant*, s. 1273, angl. překlad s. 32.
 19. Tamtéž, s. 1274, angl. překlad s. 33.
 20. A. N. WHITEHEAD: *Science and the Modern World*, s. 55.
 21. A. N. WHITEHEAD: *Process and Reality: An Essay in Cosmology* (New York, The Free Press 1969), s. 20.
 22. Tamtéž, s. 26.
 23. Jak Joseph Needham, tak C. H. Waddington uznávali význam Whiteheadova vlivu na jejich snahu o pozitivistický popis organismu jako celku.
 24. H. HELMHOLTZ: *Über die Erhaltung der Kraft* (1847). V originále je též odkaz na angl. překlad in: S. BRUSH: *Kinetic Theory*, 1. díl, *The Nature of Gases and Heat* (Oxford, Pergamond Press 1965), s. 92. Viz též Y. ELKANA: *Discovery of the Conservation of Energy* (Londýn, Hutchinson Educational 1974) a P. M. HEIMANN: „Helmholz and Kant: The Metaphysical Foundation of „Über die Erhaltung der Kraft““ *Studies in the History and Philosophy of Science*, 5 (1974), s. 205–238.
 25. H. REICHENBACH: *The Direction of Time* (Berkeley, University of California Press 1956), s. 16–17.

Kapitola 4

1. W. SCOTT. O novosti těchto problémů viz *The Conflict Between Atomism and Conservation Theory*, kniha II, a o souvislostech s průmyslem, kde tyto představy vznikly, viz D. CARDWELL: *From Watt to Clausius* (Londýn, Heinemann 1971). V této souvislosti je zvláště zajímavé sblížení potřeb vyvolaných průmyslovými problémy na jedné straně a pozitivistickým zjednodušováním definic funkcí na straně druhé.
2. J. HERIVEL: *Joseph Fourier: The Man and the Physicist* (Oxford, Clarendon Press 1975). V tomto životopise nalezneme zvláštní informaci – Fourier si měl po návratu ze své cesty s Napoleonem do Egypta přivést nemoc vyvolávající trvalé přehřátí organismu.
3. Viz zejména úvod ke Comteově *Philosophie Première* (Paříž, Herman 1975), „Auguste Comte auto-traduit dans l'encyclopédie“, in: *La Traduction* (Paříž, Minuit 1974) a „Nuage“ *La Distribution* (Paříž, Minuit 1977).
4. C. Smith: „Natural Philosophy and Thermodynamics: William Thompson and the Dynamical Theory of Heat“, *The British Journal for the Philosophy of Science* 9 (1976), s. 293–319 a M. CROSLAND a C. SMITH: „The Transmission of Physics from France to Britain, 1800–1840“, *Historical Studies in the Physical Sciences* 9 (1978), s. 1–61.
5. Co následuje, viz Y. ELKANA: *The Discovery of the Conservation of Energy Principle* a známý článek Thomase Kuhna, původně otištěný in: *Critical Problems in the History of Science* a nedávno in: T. KUHN: *The Essential Tension* (Chicago, University of Chicago Press 1977).
6. ELKANA sledoval pomalé utváření pojetí energie. Viz jeho knihu a „Helmholtz's Kraft: An Illustration of Concepts in Flux“, *Historical Studies in the Physical Sciences* 2(1970), s. 263–298.
7. J. JOULE: „Matter, Living Force and Heat“ *The Scientific Papers of James Prescott Joule*, sv. 1 (Londýn, Taylor & Francis 1884), s. 265–298 (cit. s. 273).
8. Anglické překlady dvou Mayerových nejvýznamnějších prací „On the Forces of Inorganic Nature“ a „The Motions of Organisms and Their Relation to Metabolism“ jsou in: *Energy: Historical Development of a Concept*, ed. R. B. LINDSAY (Stroudsburg, Pennsylvania, Benchmark Papers on Energy 1, Dowden, Hutchinson & Ross 1975).
9. E. BENTON: „Vitalism in the Nineteenth Century Scientific Thought: A Typology and Reassessment“, *Studies in History and Philosophy of Science*, 5 (1974), s. 17–48.
10. H. HELMHOLTZ: dříve citované „Über die Erhaltung der Kraft“, s. 90–91.
11. G. DELEUZE: *Nietzsche et la philosophie* (Paříž, PUF 1073), s. 48–55.
12. V této studii Zolova „Docteur Pascal“, *Feux et signaux de brume* (Paříž, Grasset 1975), s. 109, Michel Serres napsal: „Století, které v okamžiku, kdy se objevil román, bylo prakticky ve svém závěru, se znovu otevřelo s majestátní stabilitou sluneční soustavy a bylo nyní při neutuchajícím ponížení ohně naplněno hrůzou. Proto horečné, nesporné rozpaky – dokonalý cyklus beze zbytků, věčný a kladně hodnocený, tj. kosmologie Slunce. Nebo též chybějící cyklus, postrádající svou rozdílnost, nevratný, dějinný a opovrhovaný – kosmologie, „termogonie“ ohně, který musí být bezpodmínečně uhašen nebo zničen. Jeden z Laplaceových snů, zatímco Carnot a jiní niku, kde by se dalo v klidu spát, navždy zničili. Nepochybně sen. Pak se jinými dveřmi vrátily kulturní archaismy a při dalším otevření stejných dveří dokonale procitají: nesmrtelný oheň, očistující plameny nebo zlovolný oheň?“
13. Spojitost mezi Carnotem otcem a synem je zdůrazňována Cardwellem (*From Watt to Clausius*) a Scottem (*The Conflict Between Atomism and Conservation Theory*).
14. P. Davies: *The Runaway Universe* (New York, Penguin Books 1980), s. 197.
15. F. DYSON: „Energy in Universe“, *Scientific American*, sv. 225 (1971), s. 50–59.
16. Zvláště důležité bylo pochopit, že na rozdíl od toho, k čemu dochází v mechanice, v termodynamice neexistují poměry, za kterých by bylo možno termodynamický systém popisovat jako „stav“; právě naopak. Viz E. DAUB: „Entropy and Dissipation“, *Historical Studies in the Physical Sciences* 2 (1970), s. 321–354.
17. Max Planck ve svém vlastním životopise *Scientific Autobiography* (Londýn, Williams & Norgate 1950) připomínal, jak byl osamocený, když poprvé zdůraznil zvláštnost tepla a ukázal, že je to přeměna tepla v jiný druh energie, co vyvolává problém nevratnosti. Takoví přívrženci energetismu jako Ostwald chtěli, aby všem formám energie bylo dáno stejné postavení. K pádu tělesa mezi dvěma rozdílnými výškovými úrovněmi dochází kvůli „tvořivému rozdílu“ stejného druhu, jako je průchod tepla mezi dvěma tělesy o rozdílných teplotách. Ostwaldovo srovnání tak odstranilo zásadní odlišnost ideálně vratného děje, jako je mechanický pohyb, a skutečného nevratného děje, jakým je šíření tepla. Ve skutečnosti tím, že tak učinil, zaujal podobný postoj, jaký přisuzoval Lagrangeovi. Tam, kde Lagrange uvažoval zachování energie jako vlastnost příslušející jen ideálním případům, ale i jako jedinou, s níž lze důsledně zacházet, považoval Ostwald zachování energie za vlastnost příslušející libovolné přirozené přeměně, avšak za abstraktní ideál, jediný předmět racionální

- vědy, určoval *rozdíly* zachování energie (vyžadované při všech přeměnách, neboť jen rozdíl může vyvolat další rozdíl).
18. Rozštěpení změn entropie na dva odlišné členy bylo zavedeno I. Prigoginem: *Etude thermodynamiques des Phénomènes irréversibles*, Thèse d'agrégation présentée à la faculté des sciences de l'Université Libre de Bruxelles 1945 (Paříž, Dunod 1947).
 19. R. CLAUSIUS: *Ann. Phys.*, sv. 125 (1865), s. 353.
 20. M. PLANCK: „The Unity of the Physical Universe“, *A Survey of Physics, Collection of Lectures and Essays* (New York, E. P. Dutton 1925), s. 16.
 21. R. CAILLOIS: „La dissymétrie“, *Cohérences aventureuses*, Collection Idées (Paříž, Gallimard 1973), s. 198.

Kapitola 5

1. Co se obsahu této a následující kapitoly týče, viz P. GLANSDORF a I. PRIGOGINE: *Thermodynamic Theory of Structure, Stability and Fluctuations* (New York, John Wiley & Sons 1971) a G. NICOLIS a I. PRIGOGINE: *Self-Organization in Non-Equilibrium Systems* (New York, John Wiley & Sons 1977), kde lze nalézt i další odkazy.
2. F. NIETZSCHE: *Der Wille zur Macht, Sämtliche Werke* (Stuttgart, Kromer 1964), aforismus 630.
3. Jaký přesný obsah lze dát obecnému zákonu o růstu entropie? Teoretickým fyzikům, jako je De Donder, se chemické působení zdálo nejasné a nedosažitelné racionálnímu přístupu mechaniky a bylo dostatečně záhadné, aby se stalo synonymem nevratného děje. Tak se chemie, jejíž otázky fyzikové nikdy správně nezodpověděli, a nová záhada nevratnosti setkaly; byla to výzva, již si nebylo možné nevšímát. Viz Th. De Donder: *L’Affinité* (Paříž, Gauthier-Villars 1962) a L. Onsager *Phys. Rev.* 37, 405 (1931).
4. M. SERRES. Viz dříve cit. *La naissance de la physique dans le texte de Lucrèce*.
5. Pro další podrobnosti týkající se chemických kmitů viz A. WINFREE: „Rotating Chemical Reactions“, *Scientific American*, sv. 230 (1974) s. 82–95.
6. A. GOLDBETER a G. NICOLIS: „An Allosteric Model with Positive Feedback Applied to Glycolytic Oscillations“, *Progress in Theoretical Biology*, 4 (1976), s. 65–160; A. GOLDBETER a S. R. CAPLAN: „Oscillatory Enzymes“, *Annual Review of Biophysics and Bioengineering*, 5 (1976), s. 449–473.
7. B. HESS, A. BOITEUX a J. KRÜGER: „Cooperation of Glycolytic Enzymes“, *Advances in Enzyme Regulation*, 7 (1969), s. 149–167; viz též B. HESS, A. GOLDBETER a R. LEFEVER: „Temporal, Spatial and Functional Order in Regulated Biochemical Cellular Systems“, *Advances in Chemical Physics*, XXXVIII (1978), s. 363–413.
8. B. HESS: *Ciba Foundation Symposium* 31 (1975), s. 369.
- 9A. G. GERESCH: „Cell Aggregation and Differentiation in *Dictyostelium Discoideum*“, *Developmental Biology*, 3 (1968), s. 157–197.
- 9B. A. GOLDBETER a L. A. SEGEL: „Unified Mechanism for Relay and Oscillation of Cyclic AMP in *Dictyostelium Discoideum*“, *Proceedings of the National Academy of Science*, 74 (1977), s. 1543–1547.
10. Viz M. GARDNER: *Ambidextrous Universe* (New York, Charles Scribner’s Sons 1979).
11. D. K. KONDEPUDI a I. PRIGOGINE: *Physica* 107A (1981), s. 1–24; D. K. KONDEPUDI: *Physica* 115A (1982), s. 552–566. Mohlo by rovněž být, že chemie v makroskopickém měřítku přinesla narušení parity slabých sil; D. K. KONDEPUDI a G. W. NELSON: *Physical Review Letters*, sv. 50, č. 14 (1983), s. 1023–1026.
12. R. LEFEVER a W. HORSTHEMKE: „Multiple Transitions Induced by Light Intensity Fluctuations in Illuminated Chemical Systems“, *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 76 (1979), s. 2490–2494. Viz též W. HORSTHEMKE a M. MALEK MANSOUR: „Influence of External Noise on Nonequilibrium Phase Transitions“, *Zeitschrift für Physik B*, 24 (1976), s. 307–313; L. ARNOLD, W. HORSTHEMKE a R. LEFEVER: „White and Coloured External Noise and Transition Phenomena in Nonlinear Systems“, *Zeitschrift für Physik B*, 29 (1978), s. 367–373; W. HORSTHEMKE: „Nonequilibrium Transitions Induced by External White and Coloured Noise“, *Dynamics of Synergetic Systems*, ed. H. HAKEN (Berlín, Springer Verlag 1980); užití při biologickém problému R. LEFEVER a W. HORSTHEMKE: „Bistability in Fluctuating Environments: Implication in Tumor Immunology“, *Bulletin of Mathematic Biology*, 41 (1979).
13. H. L. SWINNEY a J. P. GOLLUB: „The Transition to Turbulence“, *Physics Today*, sv. 31, č. 8 (1978), s. 41–49.
14. M. J. FEIGENBAUM: „Universal Behavior in Nonlinear Systems“, *Los Alamos Science*, č. 1 (léto 1980), s. 4–27.
15. Představa chreodu je součástí kvalitativního popisu vývoje embrya, který navrhl Waddington před více než dvěma sty lety. Jde skutečně o vývoj s bifurkacemi: pokrokové badání, podle kterého embryo roste v „epigenetické krajině“, v níž současně existují stabilní části a části, ve kterých je možný výběr několika vývojových linií. Viz C. H. WADDINGTON: *The Strategy of Genes* (Londýn, Allen & Unwin 1957). Chreody C. H. Wad-

dingtona jsou též hlavním odkazem v biologických úvahách René Thoma. Mohly by se tak stát spojnicí dvou přístupů. Ten, který ukazujeme my, vychází z místních mechanismů a zkoumá spektrum kolektivního chování, jež mohou vyvolat. Přístup Thomův vychází z globálních matematických celků a spojuje kvalitativně odlišné formy a vyplývající přeměny s fenomenologickým popisem morfogeneze.

16. S. A. KAUFFMAN, R. M. SHYMKO a K. TRABERT: „Control of Sequential Compartment Formation in *Drosophila*“, *Science*, 199 (1978), s. 259–269.
17. H. BERGSON: *Creative Evolution*, s. 94–95.
18. Viz C. H. WADDINGTON: *The Evolution of an Evolutionist* (Edinburgh, Edinburgh University Press 1975) a P. WEISS: „The Living System: Determinism Stratified“, *Beyond Reductionism*, ed. A. KOESTLER a J. R. SMYTHIES (Londýn, Hutchinson 1969).
19. D. E. Koshland: „A Model Regulatory System: Bacterial Chemotaxis“, *Physiological Review*, sv. 59, č. 4, s. 811–862.

Kapitola 6

1. G. NICOLIS a I. PRIGOGINE: *Self-Organization in Nonequilibrium Systems* (New York, John Wiley & Sons 1977).
2. F. BARAS, G. NICOLIS a M. MALEK MANSOUR: „Stochastic Theory of Adiabatic Expansion“, *Journal of Statistical Physics*, sv. 32, č. 1 (1983), s. 1.
3. Viz například M. MALEK MANSOUR, C. VAN DEN BROEK, G. NICOLIS a J. W. TURNER: *Annals of Physics*, ročník 131, č. 2 (1981), s. 283.
4. J. L. DENEUBOURG: „Application de l'ordre par fluctuation à la description de certaines étapes de la construction du nid chez les termites“ *Insectes Sociaux, Journal International pour l'étude des Arthropodes sociaux*, sv. 24, č. 2 (1977), s. 117–130. Tento první model je nyní rozšiřován v souvislosti s novými experimentálními studiemi; O. H. BRUINSMA: „An Analysis of Building Behaviour of the Termite *macrotermes subhyalinus*“, *Proceedings of the VIII Congress IUSSI* (Waegeningen 1977).
5. R. P. GARAY a R. LEFEVER: „A Kinetic Approach to the Immunology of Cancer: Stationary States of Effector–Target Cell Reactions“, *Journal of Theoretical Biology*, 73 (1978), s. 417–38 a soukromé sdělení.
6. P. M. ALLEN: „Darwinian Evolution and a Predator–Prey Ecology“,

Bulletin of Mathematical Biology, 37 (1975), s. 389–405; „Evolution, Population and Stability“, *Proceedings of the National Academy of Sciences*, sv. 73, č. 3 (1976), s. 665–668. Viz též R. Czaplewski: „A Methodology for Evaluation of Parent–Mutant Competition“, *Journal for Theoretical Biology*, 40 (1973), s. 429–439.

7. Pro současný stav této práce viz M. EIGEN a P. SCHUSTER: *The Hypercycle* (Berlin, Springer Verlag 1979).
8. R. MAY in: *Science*, 186 (1974), s. 645–647. Viz též R. MAY: „Simple Mathematical Models with very Complicated Dynamics“, *Nature*, 261 (1976), s. 459–467.
9. M. P. HASSELL: *The Dynamics in Arthropod Predator–Prey Systems* (Princeton, New York, Princeton University Press 1978).
10. B. HEINRICH: „Artful Dinners“, *Natural History*, sv. 89, č. 6 (1980), s. 42–51, zvláště citát s. 42.
11. M. LOVE: „The Alien Strategy“, *Natural History*, sv. 89, č. 5 (1980), s. 30–32.
12. J. L. DENEUBOURG a P. M. ALLEN: „Modèles théorétiques de la division du travail des sociétés d'insectes“, *Académie Royale de Belgique, Bulletin de la Classe des Sciences*, LXII (1976), s. 416–429; dříve citovaný P. M. ALLEN: „Evolution in an Ecosystem with Limited Resources“, s. 408–415.
13. E. W. MONTROLL: „Social Dynamics and the Quantifying of Social Forces“, *Proceedings of the National Academy of Sciences*, sv. 75, č. 10 (1978), s. 4633–4637.
14. P. M. ALLEN a M. SANGLIER: „Dynamic Model of Urban Growth“, *Journal for Social and Biological Structures*, 1 (1978), s. 265–280; „Urban Evolution, Self-Organization and Decision-making“, *Environment and Planning A*, 13 (1981), s. 167–183.
15. C. H. WADDINGTON: *Tools for Thought*, (St. Albans, Anglie, Paladin 1976), s. 228.
16. S. J. GOULD: *Ontogeny and Phylogeny*, citované dílo, Belknap Press Harvard University Press 1977.
17. C. LÉVY-STRAUSS: „Methodes et enseignement“, *Anthropologie structurale*, (Paříž, Plon), s. 311–317.
18. Viz například C. E. RUSSET: *The Concept of Equilibrium in Americal Social Thought* (New Haven, Connecticut, Yale University Press 1966).
19. S. J. GOULD: „The Belt of an Asteroid“, *Natural History*, sv. 89, č. 1 (1980), s. 26–33.

Kapitola 7

1. A. N. WHITEHEAD: *Science and the Modern World*, s. 186.
2. *The Philosophy of Rudolf Carnap*, ed. P. A. SCHILPP (Cambridge, Cambridge University Press 1963).
3. J. FRASER: „The Principle of Temporal Levels: A Framework for the Dialogue?“, zpráva na konferenci *Scientific Concepts of Time in Humanistic and Social Perspectives* (Bellagio, červenec 1981).
4. V této věci viz S. BRUSH: *Statistical Physics and Irreversible Processes*, zvl. s. 616–625.
5. Feuer poměrně přesvědčivě ukázal, jak kulturní vazby Bohrova mládí mohly napomoci jeho rozhodnutí hledat nemechanický model atomu; *Einstein and the Generation of Science* (New York, Basic Books 1974). Viz též W. HEISENBERG: *Physics and Beyond* (New York, Harper & Row 1971) a D. SERWER: „Unmechanischer Zwang: Pauli, Heisenberg and the Rejection of Mechanical Atom 1923–1925“, *Historical Studies in the Physical Sciences*, 8 (1977), s. 189–256.
6. Thomas Kuhn in: *Black-Body Theory and the Quantum Discontinuity, 1894–1912* (Oxford, Oxford University Press a New York, Clarendon Press 1978) skvěle ukázal, jak úzce se Planck ve své vlastní práci řídil Boltzmannovým zpracováním nevrtnosti.
7. J. MEHRA a H. REICHENBERG: *The Historical Development of Quantum Theory*, svazky 1–4 (New York, Springer Verlag 1982).
8. O koncepčním rámci experimentálních testů vymyšlených nedávno pro skryté proměnné v kvantové mechanice viz B. D'ESPAGNAT: *Conceptual Foundations of Quantum Mechanics*, 2. rozšířené vydání (Reading, Massachusetts, Benjamin 1976). Viz též B. D'ESPAGNAT: „The Quantum Theory and Reality“, *Scientific American*, 241 (1979), s. 128–140.
9. K principu komplementarity viz dříve citovaný B. D'ESPAGNAT; M. JAMMER: *The Philosophy of Quantum Mechanics* (New York, John Wiley & Sons 1974) a A. PETERSEN: *Quantum Mechanics and the Philosophical Tradition* (Cambridge, Massachusetts, MIT Press 1968); C. GEORGE a I. PRIGOGINE: „Coherence and Randomness in Quantum Theory“, *Physica* 99A (1979), s. 369–382.
10. L. ROSENFELD: „The Measuring Process in Quantum Mechanics“, *Supplement of the Progress of Theoretical Physics* (1965), s. 222.
11. O paradoxech kvantové mechaniky, které lze skutečně považovat za noční můry klasického myšlení, neboť všechny (Schrödingerova kočka, Wignerův přítel, vícenásobný vesmír) znovu uvádějí v život bájnou myšlenku

- uzavřené objektivní teorie (tentokrát v podobě Schrödingerovy rovnice), viz kniha d'Espagnata a Jammera.
12. B. MISRA, I. PRIGOGINE a M. COURBAGE: „Lyapounov Variable; Entropy and Measurement in Quantum Mechanics“, *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 76 (1979), s. 4768–4772. I. PRIGOGINE a C. GEORGE: „The Second Law as a Selection Principle: The Microscopic Theory of Dissipative Processes in Quantum Systems“, *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 80 (1983), s. 4590–4594.
 13. H. Minkowski: „Space and Time“, *The Principles of Relativity* (New York, Dover Publications 1923).
 14. A. D. SACHAROV: *Pisma žurn. Eksp. Teor. Fiz.*, sv. 5, č. 23 (1967).

Kapitola 8

1. G. N. LEWIS: „The Symmetry of Time in Physics“, *Science*, 71 (1930), s. 570.
2. A. S. EDDINGTON: *The Nature of the Physical World* (New York, Macmillan 1948), s. 74.
3. M. GARDNER: *The Ambidextrous Universe: Mirror Asymmetry and Time-Reversed Worlds* (New York, Charles Scribner's Sons 1979), s. 243.
4. M. PLANCK. *Treatise on Thermodynamics* (New York, Dover Publications 1945), s. 106.
5. Zmíněn in: K. DENBIGH: „How Subjective is Entropy?“ *Chemistry in Britain*, 17 (1981), s. 168–185.
6. Viz např. M. KAC: *Probability and related Topics in Physical Sciences* (Londýn, Interscience Publications 1959).
7. J. W. GIBBS: *Elementary Principles in Statistical Mechanics* (New York, Dover Publications 1960), kapitola XII.
8. S. Watanabe například zavádí přísné rozlišování světa, o kterém „má být rozjímáno“, a světa, ve kterém my, jako aktivní činitelé, pracujeme. Konstatuje, že není-li souvislost s našimi činnostmi ve světě, neexistuje důsledný způsob, jak hovořit o entropii. Avšak veškerá naše fyzika je ve skutečnosti o světě, podle kterého působí, a Watanabeho rozlišování tak ve vyjasnění vztahu mezi „mikroskopickou deterministickou souměrností“ a „makroskopickou pravděpodobnostní nesouměrností“ nepomáhá. Otázka je ponechána bez odpovědi. Jak můžeme smysluplně říci, že Slunce nevrátí se? Viz S. WATANABE: „Time and the Probabilistic View of the World“, *The Voices of Time*, ed. J. FRASER (New York, Braziller 1966).
9. Maxwellův démon se objevuje in: J. C. MAXWELL: *Theory of Heat* (Londýn, Longmans 1871), kapitola XXII; viz též E. DAUB: „Max-

- well's Demon" a P. HEIMANN: „Molecular Forces, Statistical Representation and Maxwell's Demon“, oboji in: *Studies in History and Philosophy of Science*, sv. 1 (1970). Tento svazek je celý věnován Maxwellovi.
10. L. BOLTZMANN: *Populäre Schriften*, nové vydání (Braunschweig-Wiesbaden, Vieweg 1979). Jak Elkana zdůrazňuje in: „Boltzmann's Scientific Research Program and its Alternatives“, *Interactions Between Science and Philosophy* (Atlantic, Highlands, New Jersey, Humanities Press 1974), je darwinovská myšlenka vývoje výslovně vyjádřena většinou v Boltzmannově názoru na vědecké poznání, tj. v jeho obraně mechanistických modelů vůči energetistům. Viz například jeho přednášku z roku 1886 „The Second Law of Thermodynamics“, *Theoretical Physics and Philosophical Problems*, ed. B. McGUINNESS (Dordrecht, Nizozemí, D. Reidel 1974).
 11. Současné vysvětlení viz I. PRIGOGINE: *From Being to Becoming - Time and Complexity in the Physical Sciences* (San Francisco, W. H. Freeman & Company 1980).
 12. Planck ve své *Scientific Autobiography* popisuje svůj měnící se vztah k Boltzmannovi (který Planckem zavedené fenomenologické rozdíly vratných a nevratných dějů zpočátku odmítal). Viz též dříve citované dílo Y. ELKANA a též S. BRUSH: *Statistical Physics and Irreversible Processes*, s. 640–651; co se Einsteina týče, viz jeho dříve citované dílo, s. 672–674; co se Schrödingera týče, viz E. SCHRÖDINGER: *Science, Theory and Man*. (New York, Dover Publications 1957).
 13. H. POINCARÉ: „La mécanique et l'expérience“, *Revue de Métaphysique et de Morale*, 1 (1893), s. 534–537. H. POINCARÉ: *Leçons de Thermodynamique*, ed. J. Blondin (1892; Paříž, Hermann 1923).
 14. Ke sporům o Boltzmannově entropii viz již dříve cit. S. BRUSH: *The Kind of Motion We Call Heat* a poznámku v Planckově životopise (Loschmidt byl Planckovým studentem).
 15. I. PRIGOGINE, C. GEORGE, F. HENIN a L. ROSENFELD: „A Unified Formulation of Dynamics and Thermodynamics“, *Chemica Scripta*, 4 (1973), s. 5–32.
 16. D. PARK: *The Image of Eternity: Roots of Time in the Physical World* (Amherst, Massachusetts, University of Massachusetts Press 1980).
 17. Viz též S. BRUSH: *The Kind of Motion We Call Heat* – kniha I., *Physics and the Atomists*; kniha II., *Statistical Physics and Irreversible Processes* (Amsterdam, North Holland Publishing Company 1976), stejně jako jeho komentovanou antologii *Kinetic Theory*: sv. I., *The Nature of Gases and Heat*, sv. II., *Irreversible Processes* (Oxford, Pergamon Press 1965 a 1966).
 18. J. W. GIBBS: *Elementary Principles in Statistical Mechanics* (New York, Dover Publications 1960), kapitola 12. Co se historického příspěvku

týče, viz J. MEHRA: „Einstein and the Foundation of Statistical Mechanics“, *Physica*, 79A (1974), č. 5, s. 17.

19. Mnoho marxistických filosofů zabývajících se přírodou se pravděpodobně inspirovalo Engelsem, když ve svém díle *Anti-Dühring* (Moskva, Language Publishing House, 1954, s. 167) napsal: „Pohyb je rozpor: i jednoduchá mechanická změna polohy může nastat prostřednictvím tělesa, které je v jednom a též okamžiku na jednom i na druhém místě, ale také zde není. A stále a současně probíhající řešení tohoto rozporu je přesně to, čím je pohyb.“
20. L. BOLTZMANN: *Lectures on Gas Theory* (Berkeley, University of California Press 1964), s. 446 ad f, citováno in: K. POPPER: *Unended Quest* (La Salle, Illinois, Open Court Publishing Company 1976), s. 160.
21. Viz Popper, s. 160.

Kapitola 9

1. VOLTAIRE: *Dictionnaire Philosophique*, (Paříž, Garnier 1954).
2. Viz poznámku 2, kapitola 7.
3. K. POPPER: „The Arrow of Time“, *Nature*, 177 (1956), s. 538.
4. Viz M. GARDNER: *The Ambidextrous Universe*, s. 271–272.
5. A. EINSTEIN a W. RITZ: *Phys. Zsch.*, 10 (1909), s. 323.
6. H. POINCARÉ: *Les méthodes nouvelles de la mécanique céleste* (New York, Dover Publications 1957); E. T. WHITTAKER: *A Treatise on the Analytical Dynamics of Particles and Rigid Bodies* (Cambridge, Cambridge University Press 1965).
7. J. MOSER: *Stable and Random Motions in Dynamical Systems* (Princeton, New York, Princeton University Press 1974).
8. Obecný přehled viz J. LEBOWITZ a O. PENROSE: „Modern Ergodic Theory“, *Physics Today*, únor 1973, s. 23–29.
9. Podrobněji viz R. BALESCU: *Equilibrium and Non-Equilibrium Statistical Mechanics* (New York, John Wiley & Sons 1975).
10. V. ARNOLD a A. AVEZ: *Ergodic Problems of Classical Mechanics* (New York, Benjamin 1968).
11. H. POINCARÉ: „Le Hasard“, *Science et Méthode*, (Paříž, Flammarion 1914), s. 65.
12. B. MISRA, I. PRIGOGINE a M. COURBAGE: „From Deterministic Dynamics to Probabilistic Description“, *Physica*, 98A (1979), s. 1–26.
13. D. N. PARKS a N. J. THRIFT: *Times, Spaces and Places: A Chronogeographic Perspective* (New York, John Wiley & Sons 1980).
14. M. COURBAGE a I. PRIGOGINE: „Intrinsic Randomness and Intrinsic

- sic Irreversibility in Classical Dynamical Systems“, *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 80 (duben 1983).
15. I. PRIGOGINE a C. GEORGE: „The Second Law as a Selection Principle: The Microscopic Theory of Dissipative Processes in Quantum Systems“, *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 80 (1983), s. 4590–4594.
 16. V. NABOKOV: *Look at the Harlequins!* (McGraw-Hill 1974).
 17. J. NEEDHAM: „Science and Society in East and West“, *The Grand Titration* (Londýn, Allen & Unwin 1969).
 18. Další podrobnosti viz B. MISRA a M. COURBAGE: „From deterministic Dynamics to probabilistic Description“, *Physica* 98A (1979), s. 1–26; B. MISRA a I. PRIGOGINE: „Time, Probability and Dynamics“ in: *Long-time Prediction in Dynamics*, ed. C. W. Horton, L. E. Reichl a A. G. Szebehely (New York, Wiley 1983).
 19. I. PRIGOGINE, C. GEORGE, F. HENIN a L. ROSENFELD: „A Unified Formulation of Dynamics and Thermodynamics“, *Chemica Scripta*, 4 (1973), s. 5–32.
 20. M. COURBAGE: „Intrinsic irreversibility of Kolmogorov dynamical systems“, *Physica* 1983; B. Misra a I. Prigogine: *Lettres in Mathematical Physics*, září 1983.

Závěr

1. A. S. EDDINGTON: *The Nature of the Physical World* (New York, Macmillan 1848).
2. L. LÉVY-BRUHL: *La Mentalité Primitif* (Paříž, PUF 1922).
3. G. MILLS: *Hamlet's Castle* (Austin, University of Texas Press 1976).
4. R. THÁKUR: „The Nature of Reality“, (Kalkata, *Modern Review* XLIX, 1931), s. 42–43.
5. D. S. KOTHARI: *Some Thoughts on Truth* (New Delhi: Anniversary Address, Indian National Science Academy, Bahadur Shah Zafar Marg 1975), s. 5.
6. E. MEYERSON: *Identity and Reality*, (New York, Dover Publications 1962).
7. Popsáno in: H. BERGSON: *Mélanges*, (Paříž, PUF 1972), s. 1340–1346.
8. *Correspondence, Albert Einstein-Michele Besso, 1903–1955* (Paříž, Herman 1972).
9. N. WIENER: *Cybernetics* (Cambridge, Massachussets, M. I. T. Press a New York, John Wiley & Sons 1961).
10. M. MERLEAU-PONTY: „Le philosophe et la sociologie“, *Éloge de la Philosophie*, Collection Idées (Paříž, Gallimard 1960), s. 136–137.

11. M. MERLEAU-PONTY: *Résumés de Cours 1952–1960* (Paříž, Gallimard 1968), s. 119.
12. P. VALÉRY: *Cahiers*, La Pleiade (Paříž, Gallimard 1973), s. 1303.
13. Co následuje viz též I. PRIGOGINE, I. STENGERS a S. PAHAUT: „La dynamique de Leibniz à Lucrece“, *Critique „Spécial Serres“*, 35 (leden 1979), s. 34–55. V originále je též odkaz na anglický překlad *Dynamics from Leibniz to Lucretius*, doslov k M. SERRES: *Hermes: Literature, Science, Philosophy* (Baltimore, Johns Hopkins Univ. Press 1982), s. 137–155.
14. C. S. PEIRCE: *The Monist*, 2 (1892), s. 321–337.
15. A. N. WHITEHEAD: *Process and Reality*, s. 240–241. O tomto námětu viz I. LECLERC: *Whitehead's Metaphysics*, (Bloomington, Indiana University Press 1975).
16. La naissance de la physique dans le texte de Lucrece, s. 139.
17. LUCRETIVS: *De Natura Rerum*, kniha II.: „Denique si semper motus conectitur omnis, et uetere exoritur [semper] novus ordine certo, nec declinando faciunt primordia motus, principium quoddam quod fati foedera rumpat, ex infinito ne causam causa sequatur, libera per terras unde haec animantibus exstat ...?“
18. Viz dříve citovaný M. SERRES, s. 136.
19. Viz dříve citovaný M. SERRES, s. 162; viz též s. 85–86 a „Romain et Faulkner traduisent l'Écriture“ (Paříž, Minuit 1974).
20. S. MOSCOVICI: *Hommes domestiques et hommes sauvages*, s. 297–298.
21. T. KUHN: *The Structure of Scientific Revolution*, 2. rozšířené vydání (Chicago, Chicago University Press 1970).
22. Viz dříve citovaný A. N. WHITEHEAD: *Process and Reality* a M. HEIDEGGER: *Sein und Zeit* (Tübingen, Niemeyer 1977).
23. H. WEYL: *Philosophy of Mathematics and Natural Science* (Princeton, New York, Princeton University Press 1949).
24. A. NEHER: „Vision du temps et de l'histoire dans la culture juive“, *Les cultures et le temps* (Paříž, Payot 1975), s. 179.

Poznámka k českému vydání:

Obrázky na přebalu jsou ukázkami řešení „kvantového problému tří těles“. Každý odpovídá jinému okamžiku v průběhu srážky. Graf na přední straně byl získán kvantovou teorií rozptylu, k výpočtu grafu na zadní straně byla teorie rozšířena o Prigoginovy úvahy. Podrobnosti viz: T. Petrosky, G. Ordóñez and T. Miyasaka: „Extension of scattering theory for finite times: three-body scattering“, *Physical Review A*, 53 (1996), s. 4075 nebo na <http://www.ph.utexas.edu/~gonzalo/3bgraphs.html>

Rejstřík

- Afinita 47, 132
Agassiz, Louis 185
Alembert, Jean Le Rond d' 65;
Diderot a - 88-90;
opozice newtonovské vědě 73, 74, 75, 77
Alchymie 75;
afinita a - 132;
čínská - 256
Ampère, André Marie 77, 85
Anaxagoras 243
Antihmota 214
Antiredukcionisté 166
Archimedes 55, 56, 279
Aristoteles 55, 56, 81, 91, 166, 279, 280;
svět a - 164;
a teologie 63;
a změna 73
Aristotelovská fyzika 55-56
Atomisté 27, 53;
a představa o změně 73-74;
a turbulence 136
Atraktor 120, 129, 135, 145
- Bach J. S. 281
Bachelard, Gaston 292
Bakteriální chemotaxe 167
Bélousovova-Zabotinského reakce 146-147,
161
Bénardova nestabilita 137-139;
přechod k chaosu v - 160-161, 168
Bergson, Henri 34, 87, 95-100, 127,
166-167, 277;
a čas 200, 270;
a dynamika 72
Bergsonova představa trvání 97, 270
Berlin Isaiah 26, 34-35, 88
Bernoulli, Daniel 90
Berry B. 39
Bertholet, Claude Louis, Comte 291
Besso, Michele 270
Bifurkace 11, 154-155, 168, 254;
- fluktuace a -169, 171;
kaskády -160-162;
při vývoji 164-165;
statistický model - 195;
teorie - 37;
úloha náhody při - 21, 163, 168;
v difúzně-reakčních systémech 239;
v společenských vědách 286
Biologie 27, 33;
a přeměna 109;
čas v - 116;
evoluční rovnice v - 183-186;
chemické reakce v - 128-129;
katalyzátory v - 130-131;
„sdílení“ charakteristických veličin v - 36;
spor redukcionistů a antiredukcionistů v -
166;
technické analogie v - 166-167;
užití fyzikálních představ v - 196;
vývoj a - 35, 126;
Whitehead a - 100
Birkhoff, George David 245
Blake, William 48
Boerhave, Hermann 107
Bohr, Niels 27, 83, 205, 209, 212-213, 269
Boltzmann, Ludwig 12, 37, 38, 121-125, 204,
211, 217-218, 238, 239, 253, 264-265,
273, 300, 302;
a ergodické systémy 245;
a šipka času 234-236;
a teorie souborů 230-231;
a vývoj směrem k rovnováze 222-224;
námitky proti jeho teorii 225-228
Boltzmannova konstanta 122
Boltzmannův princip řádu 121-125, 137, 138,
145, 157, 178
Bordeu 292
Born, Max 205, 217
Braudel 13-14
Bridgmann P. W. 288
Brillouin 202
- Broglie, Louis de 205
Bruno, Giordano 38
Bruns 82, 243
Bruselátor 141, 143, 145, 146, 154
„Bruselská“ škola 10
Buffon, Georges Louis Leclerc de 76-77,
291
Buchdahl, Gerd 288
Buňky:
Bénardova - 138;
chemické reakce v - 128
Butts Thomas 48
- Cailliois, Roger 126
Cardwell D. 294
Carnap, Rudolf 199, 270
Carnot, Lazare 112
Carnot, Sadi 112-115, 119, 126, 135, 295
Carnotův oběh 113-115, 119, 126, 135
Clairaut, Alexis Claude 74, 75, 76
Clausius, Rudolf Julius 113, 114, 115, 216,
222, 279;
popis entropie 117-119
Clinamen 136, 279
Comte, Auguste 106-107
Condillac, Etienne Bonnot de 77
Condorcet, Marie Jean Antoine Nicolas
Caritat, markýz 77
- Čas
a Einstein 200, 232, 270-271;
a turbulence 137;
Bergson a - 97;
časové závislé kmity 142;
derivate podle - 70;
Hegel a - 96;
individuální 13;
jako měřítko změny 73;
nesouměrnost v - 123;
pozitivistický přístup 102;
rozdílná důležitost časových měřítek - 276;
společenské souvislosti znovuoobjevení -
41;
tvůrčí tok 281-284;
vnitřní - 251-252, 266;
význam ve fyzice 97;
znovuoobjevování 196;
v disipativních strukturách 139;
v dynamice 72, 78;
v Hamiltonově funkci 80;
v každodenním životě 39;
v kvantové mechanice 214-215;
v termodynamice 35, 127;
(viz též *Nevratnost, Šipka času*)
Časovost (viz též *Čas*) 31
Čína 66; alchymie v - 255;
postavení vědců v - 60, 62
Čuang'c 43
- „Daleko od rovnováhy“ 20, 36-37, 135-140,
275;
a disipativní struktury 180;
a prebiologický vývoj 182;
a samospořádávání 168;
chemické nestability 141-147;
v chemii 169;
v molekulární biologii 147-151
Darwin, Charles 9, 15, 126, 135, 201, 222,
233
Darwinovský výběr 181, 182, 184, 185
David, Ben 290
Děj (proces) 107, 108;
Whiteheadovo pojetí 237, 278
Děje probíhající jedním směrem 238-239
Dějiny:
geologie 197;
myšlenky pokroku 87;
otevřený charakter - 196;
vědy 281;
vývoje vesmíru 201;
znovuzavedení do přírodních
a společenských věd 197
Demokritos 27
Deneubourgh, J. L. 172
Desaguliers, J.T. 45
Descartes, René 73, 74, 89
Determinismus 17, 18, 31, 71, 84, 163, 168,
169, 201, 211, 215, 247-250, 279
Dialektika přírody (Engels) 233
Dictionnaire philosophique (Voltaire) 237
Diderot, Denis 87-92, 97, 132, 283, 292
Diferenciální počet 69, 207
Difúze 144, 169
Dirac, Paul 51, 205, 214
Disipativní struktury 11, 20, 35-36, 138, 180,
275;
dorozumívání - 142;
kulturní - 20
Dictyostelium discoideum 149, 150
Dobbs, B. J. 291
Donder, Théophile de 132, 296
Donne, John 68

- Dorozumívání:
a fluktuace 178–179;
a nevrtnost 272;
a překážka entropie 271–272;
jako „sdílení“ charakteristických veličin 36;
na úrovni molekul 19, 172;
popis jako - 275;
stabilizující vliv 180;
v disipativních strukturách 142
- Driesch, Hans 164
- Du Bois-Reymond, Emil 85, 101
- Duhem, Pierre Maurice Marie 101
- Dürrenmatt, Friedrich 42
- Dýchání: fyziologie - 110
- Dynamika 34, 37–39, 70–73, 108;
a Laplaceův démon 84–86;
a věda o složitosti 197;
korelaci 258–262;
narušení symetrie 239–240;
neslučitelnost termodynamiky a - 202, 216–217, 233;
objekty v - 280;
obrození ve 20. století 243–250;
operátory v - 206;
pekařská transformace v - 253–254;
pravděpodobnost v - 252–253;
představa řádu v - 264;
řeč - 78–85;
slučitelnost termodynamiky a - 121;
souladnost v - 225;
statický popis v - 23;
teorie nevratných dějů 232;
teorie souborů 228–232;
vrtnost v - 119;
změny v - 73–78
- Dyson, Freeman 116
- Eddington, Artur Stanley 15, 31–32, 63, 118, 216, 268
- Edge of Objectivity* (Gillespie) 48
- Ehrenfestův model 218–220, 228
- Eigen, M. 181–182
- Einstein, Albert 9, 83, 224, 249, 272, 281, 284;
a askéze vědců 42;
a čas 200–201, 232;
a kvantová mechanika 204–205, 207;
a nevrtnost 38, 239, 270–271;
a současnost 203;
a výklad gravitace 51;
a základní mýtus vědy 65;
Bůh 67;
jednotná teorie pole 27;
Machův vliv na - 66;
myšlenkové pokusy 58;
odmítnutí pravděpodobnosti - 211;
rozhovor s Thákurem 269;
speciální teorie relativity 39;
teorie souborů 230–232, 240;
ukázka nemožnosti 272
- Ekologie:
evoluční rovnice 182–183, 185, 193
- Elektrony 265;
stacionární stavy 83
- Eliade, Mircea 55
- Elkana, Y. 294, 302
- Embryo 89;
vnitřní skrytý záměr 164–165;
vytváření gradientu systému při morfogenezi - 145;
vývoj - 89
- Encyklopedie* (Diderot) 90
- Energetika 216
- Energie 108;
a elementární částice 265;
a entropie 117–118;
jako invariant 244;
nestabilních částic 84;
rozptyl 277–278;
v kvantové mechanice 205–206;
vesmíru 116;
vyčerpání 112, 114;
živých buněk 149;
(viz též *Zachování energie*)
- Engels, Bedřich 233–234, 303
- Entelechie 164
- Entropie 15, 37–39, 117–120, 211;
a atomismus 265;
a šipka času 20, 234–235, 237–239;
jako výběrové pravidlo 262–264;
mechanické pojetí 222;
myšlenkový pokus a 225;
nárůst - 24;
obecný výklad 222;
při vývoji 128;
pravděpodobnost a - 122, 123, 137, 217, 218, 222–223, 253;
překážka - 255–258, 271–273;
souvislost s řádem v systému 15;
subjektivní výklad - 123, 217;
tok, síla a - 131, 133;
v lineární termodynamice 134;
změny (produkce) 117, 128, 132, 133–134, 136
- Enzymy 130;
podoba s Maxwellovým démonem 167–168;
při glykolýze 149;
zpětnovazební účinek 148
- Epikuros 27, 279
- Ergodické systémy 245
- Espagnat, B. d' 301
- Espirit de système* (Duch systému) 90
- Euklides 164
- Euler, Leonard 65, 75, 90
- Everett 213
- Evoluční rovnice 182–186, 193
- Existencialismus 17
- Experiment a Whitehead 99;
(viz též *Myšlenkový experiment*)
- Experimentování 29, 57–59;
a „souhrnná pravda“ 59;
a univerzální jazyk 51;
Kant a - 94; (viz též *Myšlenkový experiment*)
- Faraday, Michael 109
- Faust* (Goethe) 126
- Fázové změny 178
- Fázový prostor:
„delokalizace“ 228–230, 243, 245;
nestabilní systémy v - 245–250
- Feigenbaumova posloupnost 162
- Feuer 300
- Feynman, Richard 59
- Filosofie:
obnovujícího se vznikání 100;
vztahů 100
- Fluktuace (kolísání) 11, 19, 22, 123, 135–136, 138;
a chemie 169–170;
a korelace 170–172;
v mikroskopickém měřítku 215;
zesílení 136, 138, 172–180
- Fotony 214, 265
- Fourier, Baron Jean-Joseph 35, 106, 107, 108, 115–116
- Fraser, J. T. 200
- Freud, Sigmund 39
- Fridrich II., pruský král 65
- Friedmann, Alexander 200
- Funkce rozdělení rychlosti 230
- Fyzika
a představy o změně 74;
a teologie 63;
Bergson a - 97;
čas ve - 116;
dějů 224;
Diderot a - 88–90;
diskurs v dějinách - 85;
doby Lucretiovy 136;
doplňující se vývoj biologie a - 148;
objektivita ve - 67;
polybové zákony 69;
použití představ o vývoji 196–197;
pozitivistický přístup 101;
rozdíl chemie a - 132;
vitalismus a - 90;
vývojové paradigma ve - 273–274;
Whitehead a - 99–100;
zavedení pravděpodobnosti ve - 121;
změněná perspektiva 32–33
- Fyzika elementárních částic 23, 26, 27, 32, 33, 214, 265;
a kvantová mechanika 214;
a vlnové vlastnosti 170;
filosofie - 100;
narušení T-symetrie 238;
Fyzikové (Dürrenmatt) 42
- Galileo 56, 57, 58, 59, 64, 283;
a globální pravda 59;
a mechanistický světový názor 69;
jeho myšlenkový experiment 58;
příčina a následek 70
- Galvani, Luigi 109
- Gardner, Martin 217, 238
- Gassendi, Pierre 73
- Geologie a čas 116, 197
- Gibbs, J. W. 37, 221, 228–232, 240
- Gillispie, C. C. 48, 292
- Glykolýza 149
- Goethe, Johann Wolfgang von 126
- Gould, Stephen J. 194
- Gravitace a Comte 106;
a vymezení pohybu 71;
Einsteinův výklad 51;
v raném vesmíru 274;
všeobecný zákon - 26, 79;
za podmínek „daleko od rovnováhy“ 177
- Grossé 172, 178
- Guldberg-Waageův zákon (zákon o působení aktivní hmoty) 129, 214, 132

- Hamilton, William Rowan 78, 101
Hamiltonián
 a narušení T-symetrie 238;
 funkce 78, 80, 108, 206
 Hamiltonovy rovnice 83, 230
 Hamiltonův operátor 206, 210–211
 Hankins, Thomas 290
 Hao Bai-lin 146
 Hausheer, Roger 29
 Hawking 116
 Hegel, G. W. F. 87, 95–96, 98, 166
 Heidegger, Martin 49–50, 57, 87, 284
 Heisenberg, Werner 17, 205, 269, 272
 Heisenbergovy vztahy neurčitosti 170, 207–210
 Helmholtz, Hermann Ludwig Ferdinand von 101, 110–111
 Herivel, J. 294
 Hess, Beno 149
 Hirsch, J. 146
 Hlenky 149–151
Hmota
 a nerovnováha 172;
 a Stahl 91;
 aktivní 33, 264–267, 277;
 Diderot a - 90;
 dualita 205;
 nový pohled na - 33;
 přechod k životu od - 90;
 působení záření a - 204;
 tepelné působení na - 107;
 v „silně nerovnovážených stavech“ 36;
 vnímání odlišnosti 157, 158
 Hmýz: samoshlukování 172–178
Hodiny
 jako symbol přírody 112;
 vynález - 60 (viz též *Chemické hodiny*)
 Holbach, Paul Henrich Dietrich d' 90
 Hooykaas, R. 289
 Hopf 245
 Housenky: taktika k odpuzování dravců 185
 Hubble, Edwin Powell 200
 Hus, Jan 17
 Hustota ρ 229–231, 243;
 a šipka času 255, 266;
 nebo rozdělovací funkce 266;
 ve fázovém prostoru 244–250, 256–257
 Huyghens, Christiaan 72
 Hydrodynamika 159;
 silně nerovnovážné děje v- 136
 Hypnony 172, 264
 Hystereze 159
- Chemické hodiny 12, 36, 142, 144, 170, 281;
 a glykolýza 149;
 a hlenky 153;
 dorozumívání v - 172
 Chemické reakce 125;
 difúze při - 144;
 fluktuace a korelace při - 170–172;
 kinetický popis 128–129;
 samouspořádávání při - 139;
 termodynamický popis 129–133;
 v biologii 128–129;
 Chemie 7, 35;
 a Buffon 76–77;
 a přeměna 109;
 a „věda o ohni“ 105;
 anorganická 146–147;
 Bergson a - 97;
 časovost a - 35;
 Diderot a - 90;
 fluktuace a - 169–179;
 nevratnost a - 197;
 „newtonismus“ a - 46;
 pojmové rozdíly fyziky a - 132;
 souvislost řádu a chaosu v - 160
 Chirální symetrie 263
 Chování podobné vlnám (viz též *Chemické hodiny*) 170
 „Chreod“ 164
 Christaller: model 187
 Chronogeografie 251
- Idealizace 55–57, 79, 113–115, 119, 201, 229, 232, 279–281
 Informace 40, 232, 258, 261, 271, 273
 Integrovatelné soustavy 81–82, 83, 243–244, 277
 Intuice 87, 96, 97
 Izolované systémy 124
 Izomerizační reakce 158
- Jammer, M. 300
 Jednoduchost světa a klasická věda 31, 43, 64
 „Jednotná teorie pole“ 27
 Jordan 205
 Joule, James Prescott 109
- Kalvin J. 17
 Kanonické proměnné 80, 81, 108, 207;
 rovnice 80, 210
 Kant, Immanuel 87, 93–95, 98, 199
 Katalýza 130–131, 140, 147
- Kateřina Veliká 65
 Kauffman, S. A. 165
 Kepler, Johannes 63, 69, 77, 281
 Keynes, lord 291
 Kinetická energie 79–80, 96, 108, 241
 Kinetika: chemická 129
 Kirchoff, Gustave-Robert 101
 Kirkegaard, Soren 87
 Kmity při glykolýze 149
 Knight 293
 Koestler, Arthur 49, 51
 Kolektivní chování 19;
 hlenek 149–151;
 hmýzu 172–178;
 v lidské společnosti 187;
 v sociologii a antropologii 194
 Kolísání chemických reakcí 41, 142–144
 Kolmogoroff 245
 Kombinatorika 122
 Konvekce 125, 129;
 v Bénardově nestabilitě 137
 Kopernik 281
 Korelace:
 dynamika - 258–262;
 fluktuace a - 170–172
 Kosmologie 22, 26, 33;
 a termodynamika 115–116;
 čas a - 200, 238; entropie a - 119;
 mystika a - 51;
 Whiteheadova - 99
 Kothari, D. A. 270
 Koukej na harlekýny (Nabokov) 255
 Koyré, Alexandre 29, 49, 52–53, 74, 289
 Kritika čistého rozumu (Kant) 92
 Křesťanství 61, 62, 63, 85
 Kuhn, Thomas 281–283
 Kvantová mechanika 32, 34, 37, 51, 204–207;
 a pravděpodobnost 170;
 a vratnost 72;
 časový vývoj systémů 210–213, 221;
 delokalizace 266;
 hamiltonián v - 80;
 Heisenbergovy vztahy neurčitosti 207–210;
 korelace v - 263;
 kulturní pozadí 30;
 myšlenkový pokus 58;
 příčinnost v - 285;
 úzkáky nemožnosti v - 202, 272–273
 Kvantování 205
 Kybernetika (Wiener) 272
- Kyselina desoxyribonukleová (DNA) 148;
 nesusouměrnost - 156
 Kvyadlo 38, 82, 201, 241–242
- Lagrange, Joseph Louis de 65, 101, 106, 295
 Laminární proudění 136–137, 278
 Laplace, Pierre Simon de, markýz 9, 46, 65, 67, 76–77, 115, 295;
 kritika Fouriera 106
 Laplaceův démon 84–86, 94, 249
 Lavoisier, Antoine Laurent 46, 110
 Layzer, David 19
Lebenswelt 274
 Leibniz, Gottfried von 63, 67, 277, 278;
 a vzorce pro rychlost a zrychlení 70, 83;
 monády 83
 Lékařství
 a Bergson 97;
 a Diderot 90, 97
 Lemaître, Georges 200–201
 Lenoble, R. 28
 Lévi-Strauss, Claude 194, 289
 Levy-Bruhl 268
 Lewis, G. N. 216
 Liebig, Justus von 110
 Lineární termodynamika 133–135
 Liouvilleova rovnice 230, 231, 246
 Ljapunov 145
 Lorentz, Hendrik Antoon 248
 Loschmidt 225, 227
 Love, Milton 185
 Lucretius 27, 136, 277–278, 287, 305
 Ludvík XIV., francouzský král 65
 Luther, Martin 17
- Mach, Ernst 63, 66–67, 101, 290
 Makroskopické systémy 107
 Markovovy řetězce 219, 220, 221, 224, 252–254;
 a dynamika korelací 261;
 a překážka entropie 256
 Marx, Karl 233
 Matematický popis
 a Leibniz 63;
 pohybu 70–71
 Matematizace 60;
 a Hamiltonova funkce 80;
 a Hegelova kritika 96
 Materialistický naturalismus 90
 Maxwell, James Clerk 67, 82, 121, 154, 221, 222, 245

- Maxwellův démon 168, 221
Mayer, Julius Robert von 110, 112
Mechanika
a Hegel 96;
a pravděpodobnost 123;
(viz též *Dynamika, Kvantová mechanika*)
Merleau-Ponty, M. 274
Měrná tepelná kapacita 107
Měření a nevrtnost 212
Měřitko a turbulence 136–137
Metternich, Clemens Wenzel Nepomuk
Lothar, kníže 9
Meyerson, Emile 270
Mezni cyklus 142
Mikrokanonický soubor 244
Minkowski, H. 214
„Model krabiček“ 218–220, 228, 252
Molekulární biologie 28, 32;
za „silné“ nerovnovážných podmínek
148–153
Molekulární chaos: předpoklad 227
Monády 83, 277–278
Monod, Jacques 28, 43, 52, 87, 91
Morfogeneze 164, 180
Morin, Edgar 17–18
Moscovici, Serge 44, 281
Motor (viz též *stroje*) 108, 112
Mýšlenkový pokus 58;
a Boltzmannova entropie 225;
v dynamice 72
Nabokov, Vladimír 255–256
Naboženství
ovlivňování vědy a - 61–64;
v starověkém Řecku 54
Náhoda, (viz též *Náhodnost*) 18, 160, 168,
187
Náhodnost 33, 214–215, 218–219;
od - k nevrtnosti 250–255
Napoleon 77
Narušení symetrie 154–160;
nevrtnost a - 239–240;
při vývoji embrya 164–165;
Narušení T-symetrie 238
Nature of the Physical World,
The (Eddington) 31
Needham, Joseph 30–31, 60, 62–63, 293
Nelinearita (viz též *Katalýza*) 13, 147,
148–149
Nelineární termodynamika 135–136
Nemožnosti 39, 202, 272, 275
„Neolitická revoluce“ 29–30, 53
Nepořádek (chaos) 23, 40, 122, 124, 137,
227–228, 232
Nerovnováha:
fluktuace za - 170;
jako zdroj řádu 264;
kosmologický rozměr 214
Nesouměrnost (viz též *Narušení symetrie*)
122, 156; v čase 123
Nestabilita 82, 246–250, 254;
chemická 141–147;
mez 142, 154;
v dynamickém systému 275;
v termodynamice 236–237
Nestabilní částice 83–84, 214, 265
Neumann, John von 245
Nevrtnost 15, 16, 22, 23, 24, 31–33, 74;
a biologie 126, 168;
a dynamika korelaci 258–262;
a reciproční vztahy 133;
děj narušující symetrii 239–240;
diskuse o - 37–38;
Einstein a - 9, 270–271;
jako zdroj řádu 37, 269;
měření a - 212;
meze klasických pojetí 240–243;
od náhodnosti k - 250–257;
pravděpodobnost a - 38, 122, 123, 216–222;
při evoluci 126;
problematika - 107, 108, 117–120;
souvlnosti začlenění do fyziky 283;
subjektivní vyklad 233;
v chemii 128, 133, 169;
v oblasti mikrosvěta 224, 237–238,
262–264, 266–267, 284;
v termodynamice 35;
ve fyzice 197;
vzájemné působení záření a hmoty 204;
(viz též *Šipka času, Entropie*)
New Science, *The* (Vico) 28
Newton, Isaac 23, 45–47, 85, 101, 106, 119,
122, 217, 279, 290;
a mechanistický světový názor 69;
a změna 73, 74;
alchymie a - 75;
objektivní popis 203;
opozice v osmnáctém století 75–76;
pohybové zákony 79;
Zákon síly 70;
zkoumané útvary 101;
(viz též *Newtonovská věda*)
Newtonovská syntéza 53–56, 197
Newtonovská věda 8, 10, 14, 20, 199;
Kantova kritika 93–95;
meze 47;
neexistence univerzální konstanty 203;
nestabilita 242–243;
pozitivismus a - 101;
prorocká moc 46–47;
představa změny 73–78;
šíření 46;
Voltaire a - 237;
zákony pohybu 69–69
Nietzsche, Friedrich 111, 132
Nisbet, R. 87
Noyes 146
„Nulový růst“ společnosti 116
Oetomilka (*Drosophila*) 165
Oersted, Hans Christian 109
Omezení vlnové funkce 211–212
Onsager, Lars 133, 134
Operátory 206–207, 210, 266;
komutující 208
Optika (Newton) 46
Optimalizace 187, 196
Osídlení, model 186–192
Ostwald, Wilhelm 295
Osud 30, 237, 264
Osvícenství 77, 87, 88, 92
Ovlivňování vědy a společnosti 8–9
Padající tělesa, Galileovy zákony 69, 74
Pascal, Blaise 28, 52, 87
Pasteur, Louis 156
Pearson, Karl 63
Peirce, Charles 39, 277–278
Pekařská transformace 247, 250–251,
256–257, 261, 266
Planck, Max 120, 203, 224, 295, 300,
302;
a druhá věta termodynamiky 217
Planckova konstanta 203, 204, 205, 207
Platon 31, 55, 77
Podmínky:
hraniční 124, 134, 145;
mezni 120, 142;
okrajové 107;
počáteční (nebo stav) 16, 72, 78, 84, 120,
124, 126, 135, 138, 229, 240–246, 256,
258, 271, 283
Pohyb a změna 73–78
Pohyb planet:
Keplerovy zákony 69;
v newtonovské dynamice 71, 75
Pohyb:
mechanické a tepelné stroje 112;
představy pozitivistů 101;
složitost - 84;
vytváření motorem 108;
zákony 69–73; (viz též *Dynamika*)
Poincaré, Jules Henri 78, 82, 101, 145, 219,
225, 234, 243, 249
Poissonovo rozdělení 179
Pokus s inverzí rychlosti 258–262
Pope, Alexander 45, 77
Popper, Karl 29, 37, 235–236, 238, 254, 287
Populäre Schriften (Boltzmann) 222
Potenciál:
termodynamický - 124, 134;
v dynamice 79–80
Potenciální energie 79–80, 83, 108
Pozitivismus 88, 101–102;
Comte a - 106;
německá filosofie a - 110
Pravděpodobnost 121–122;
a fluktuace 171;
a nevrtnost 216–222;
entropie a - 138, 255, 273;
přechodu 252;
subjektivní a objektivní hledisko 252;
v kvantové mechanice 211;
v nestabilních systémech 249–250;
za rovnováhy 264;
za „silné nerovnovážných“ podmínek 138;
Prebiologická evoluce 181–182
Princip doplňování se 209, 210
Principia (Newton) 26, 46
Problém tří těles 82, 244
Process and Reality (Whitehead) 98, 100, 284
Prostor a čas 39; (viz též *Fázový prostor*)
Prostor:
euklidovský a aristotelovský 164;
nerovnovážný 213–215;
profánní a sakrální 55
Prostorové narušení symetrie 239
Protiintuitivní 193
Proudění tekutiny 136
Proust, Marcel 39
Předsokratovci 54
Přeměna energie 35, 109, 113
Přirodní zákony:
Newton a - 46;

nezávislost na čase 26, 31;
 prvotní a druhotné - 32;
 soudy se zvířaty 62;
 struktura a názory společnosti 28;
 vira v obecnost 26-27

Quetelet, Adolphe 121, 223

Rakovinové nádory 179

Redukcionismus 166

Reichenbach, H. 101

Reynoldsovo číslo 139

Ritz, W. 239

Rosenfeld, Leon 243, 300

Rovnováha 11
 a vzájemné působení hmoty a záření 204;
 a entropie 119-120, 128;
 a pekařská transformace 252;
 a teorie souborů 244;
 a tepelný chaos 161;
 chemická - 129;
 chemické reakce při - 171-172;
 maximum pravděpodobnosti při - 264;
 rozdělení rychlosti při - 223;
 tepelná 107;
 teplotní 115;
 tok a síla při - 131-132;
 v budoucnosti 254, 255;
 vývoj směrem k - 223

Rovnovážná termodynamika 35, 125-127, 134

Rozdělovací funkce (viz *Hustota p*)

Rozhovory o dvou velkých světových soustavách (Galileo) 280

Rozkol vědy a humanitních oborů 34, 35

Rozpinající se vesmír 27, 41, 201, 238

Rychlost 69-70;
 inverze 72, 225-227, 262;
 rozdělení - 223-224;
 světla 39, 67, 202, 256, 271, 272

Řád (pořádek) 124, 128, 138, 164-168, 228, 231-232, 264

Řád z fluktuací 153, 170;
 modely založené na představě - 195

Sacharov, A. D. 214

Samouspořádávání 11;
 a bifurkace 154-160;
 a turbulence 136-137;
 jako funkce kolísání vnějších podmínek 157-160;

v Bénárdově nestabilitě 137;
 v chemických hodinách 144;
 v chemických systémech 139-140;
 v seskupeních hlenek 150;

Sartre, Jean-Paul 17

Science and Civilization in China (Needham) 255

Scott, W. 294

Sein und Zeit (Heidegger) 284

Serres, Michel 106, 136, 278, 279, 292, 295

Shakespeare, William 269

Schlanger, J. 292

Schrödinger, Erwin 40, 205, 300

Schrödingerova rovnice 210-213

Signály: šíření 202-203

Síly
 v recipročních vztazích 133;
 zobecněné 131-133

Sinai 245

Singulární body a Maxwell 83

Složitost:
 a věda o - 197;
 meze - 180;
 modelování - 193-195

Smith, Adam 105, 196

Smyčka kladné zpětné vazby 12

Současnost: definice 203

Soudržnost 35

Spinoza, Baruch 200, 284

Společenské vědy 286;
 čas ve - 116

Společenský čas 13

Společenský vývoj:
 evoluční rovnice při - 182-184, 186;
 modely 193-195;
 uplatnění fyzikálních představ 196;
 vývojová zpětná vazba 186-192

Srážky 74, 79, 129, 222-224, 248-250, 258-260

Stabilita struktury 180-182

Stacionární stav:
 nestabilita - 135-137;
 vývoj směrem k - 134-135

Stahl, Georg Ernst 91-92, 166, 168, 283

Starý zákon 17

Straj časů (Wells) 255

Stroje 35, 105, 112, 113;
 Archimédův popis 56;
 ideální 74, 79;
 matematizace a - 60;
 využívající spalování 105; (viz též *Motor*)

Stupeň uspořádanosti systému 122, 125, 145;
 v Bénárdově nestabilitě 138-138

Světlo:
 rychlost 39, 67, 203-204, 256, 271, 272;
 vlnově-částicový dualismus 205

Svobodná vůle 17

Systém kládek 56-57

Système du Monde (Laplace) 76

Šipka času 15, 22, 32, 39;
 a elementární částice 265;
 a entropie 118, 237-239;
 a Layzer 19;
 a pravděpodobnost 221;
 a tepelné motory 112-115;
 Boltzmann a - 234;
 úloha - 276; význam - 266

Technika
 a Heidegger 50;
 analogie v biologii 167

Teilhard du Chardin, Pierre 39

Teorem o minimu růstu (produkce) entropie 134-136

Teorie relativity 32, 51, 202, 281;
 a astrofyzika 116;
 a částice 214;
 a rychlost světla 271;
 a univerzální konstanty 203;
 Bergsonovo neporozumění - 270;
 Einsteinova speciální - 39;
 myšlenkový pokus v - 58;
 statický rozměr času v - 213;
 teplotní vývoj vesmíru 215;
 ukázky nemožnosti v - 203, 272;

Teorie souborů (Einsteinova a Gibbsova) 230-232, 240

Teorie souborů a rovnováha 244

Tepelný chaos 16

Teplo 35, 87, 105;
 a tepelné stroje 35, 107;
 odpudivá síla - 77;
 přeměna hmoty 105;
 šíření 106, 107;
 tepelné motory a šipka času 112-115;
 tepelný motor 105, 107, 108;
 tok - 131;
 vedení - 106;
 výroba elektrické energie 109

Termity a statistický model 194-195;
 fluktuační při stavbě hnízda 172-178

Termodynamika (viz též *Teplo, Entropie*) 9,
 15-16, 35, 103, 105-108, 199;
 a astrofyzika 116;
 a dynamika korelací 261-262;
 a kosmologie 115-116;
 a pekařská transformace 255;
 a Planck 217;
 bifurkace v - 154-160;
 daleko od rovnováhy 135-140;
 lineární 133-135;
 nelineární 133, 135;
 odkryvání nemožnosti v - 202, 273;
 princip řádu 121-125, 264;
 rovnováha 123-125, 134;
 tok a síla 128-133, 233;
 zachování energie v - 108-111;
 živých systémů 149

Thackray, A. 291

Thákur, Rabindranáth 269

The Ambidextrous Universe (Gardner) 217

Thèmes (Merleau-Ponty) 275

Thom, René 17, 18, 298

Thomson, William 115

Tisíc a jedna noc 255

Toffler, Alvin 7-21, 25

Toky 131-133;
 a náhodný šum 160;
 a vztahy reciprocity 133

Trajektorie 70-71, 78, 120, 169;
 a pravděpodobnost 121;
 meze pojetí 240-243;
 v nestabilních systémech 248-250;
 ve fázovém prostoru 228-230, 232;
 vnitřně neurčená - 82

Turbulence 136

Turbulentní chaos 160-161

Turing, Alan M. 145

Univerzální konstanty 203

Uzavřené systémy 10

Valéry, Paul 39, 276

Velký třesk 22, 265;
 a šipka času 20, 238

Vesmír
 a Pierce 277;
 dějiny - 200;
 entropie 119;
 pluralistické rysy 32;

rozpad 116;
rozpínající se - 27, 41, 200, 238;
stárnutí 15;
v newtonovské dynamice 71
„Vědecká revoluce“ 29, 30
Vico, G. 28
Videňská škola 101
Vitalismus 88, 90-92
Vlastní funkce 206, 207;
Hamiltonova operátoru 211;
operátoru času T 266;
superpozice (skládání) 211-212
Vlastní hodnoty 206, 207;
Hamiltonova operátoru 210
Vlnová funkce 210-212
Vlnově-částicový dualismus 205
Vnitřně náhodné systémy 252, 254-255,
266
Vnitřně nevrtné systémy 266, 254
Vnitřní čas 251-254, 266
Volné částice 80-82
Volta, Alessandro Giuseppe 109
Voltaire 237
Vratnost
trajektorii 71-73;
v kanonických rovnicích 80;
v termodynamice 35, 113-114, 119-120
Výběr průběhu 157, 158
Vyrovnávání 108;
statistické - 123, 129, 223;
v Carnotově oběhu 113
Vytváření jader 178, 179
Vývoj 15, 35, 126;
a šipka času 20;
bifurkace při - 164-165;
biologický - 148;
Boltzmann a - 223;
Darwinova teorie - 126;
entropie při - 118, 128;
kvantových systémů 210-213;
směrem k rovnováze 223;
směrem k stacionárnímu stavu 134-135;
stabilita struktury při - 180-182;
uspořádání systému 182-186;
užití fyzikálních představ - 196-197;
v chemii 169;
ve vesmíru 200, 265
Vývojová zpětná vazba 182, 186-192
Vývojové paradigma 273-274
Vztahy
mezi obecnými zákony 234;
reciprocity 133

Waddington, Conrad H. 164, 167, 293
Watanabe, S. 301
Watt, James 105
Wealth of Nations (Smith) 105
Weiss Paul 167
Wells, H. G. 255
Weyl, Herman 284
Whitehead, Alfred North 34, 39, 61, 64, 87,
98-100, 199, 201, 237, 277, 278, 284, 293
Wiener, Norbert 272

Zachování energie 108-111;
a Carnotův oběh 114, 115;
a entropie 117-118;
princip - 79
Zachování: život a zásada - 91
Zákon o působení aktivní hmoty 129, 132, 214
(viz též *Guldbergův-Waageův zákon*)
Zákon velkých čísel 37, 170, 171

Zařeni:
černého tělesa 197;
působení hmoty a zařeni 204;
reliktní 197, 201;
Zeměpis 186;
vnitřní čas 252
Zeměpisný čas 13
Zermelo 37, 225, 234
Změna
podstata - 268;
pohyb a - 73-78;
stavu 108;
v termodynamickém systému 119-120;
Whitehead a - 100
Zobecněné síly 131-133
Zola, Emile 295
Zpětná vazba 147;
v biologických systémech 148
Zrychlení 69-71
Ztráty (nebo disipace) 74, 112-113, 115, 117,
119, 126, 278

Život
a Bergson 97;
a narušení přirozené souměrnosti 156;
a princip řádu 125;
a romantické hnutí 92;
časový rozměr - 197;
jako vyjádření samouspořádávajících se
dějů 168;
podle Stahla 91;
problém vzniku 37; (viz též *Molekulární
biologie*)

Obsah

Předmluva: **Věda a změna** (Alvin Toffler) /7

Předmluva: **Nový dialog člověka s přírodou** /22

Úvod: **Výzva vědě** /26

Kniha 1: ROZČAROVÁNÍ Z UNIVERZALITY

Kapitola 1: **Triumf rozumu** /45

Nový Mojžíš /45

Odlidštěný svět /48

Newtonovská syntéza /53

Experimentální dialog /56

Mýtus zrození vědy /59

Hranice klasické vědy /64

Kapitola 2: **Stanovení skutečnosti** /69

Newtonovy zákony /69

Pohyb a změna /73

Řeč dynamiky /78

Laplaceův démon /84

Kapitola 3: **Dvě kultury** /87

Diderot a rozmluva o životě /87

Kantovo kritické potvrzení /93

Filosofie přírody? Hegel a Bergson /95

Proces a realita: Whitehead /98

„Ignoramus, Ignorabimus

– nevíme, nebudeme znát“: úsilí pozitivistů /101

Nový počátek /102

Ilya Prigogine
a Isabelle Stengersová

Řád z chaosu

Nový dialog
člověka s přírodou

Předmluvu „Věda a změna napsal Alvin Toffler
Z anglického originálu Order out of Chaos;
Man's New Dialogue with Nature
vydaného nakladatelstvím Bantam Books
v New Yorku 1984 přeložil RNDr. Jan Píchal, CSc.
Typografie a technická redakce Jana Vysoká
Odpovědná redaktorka Božena Pravdová
Vydala Mladá fronta jako svou 5997. publikaci
Edice Kolumbus, svazek 158
Vytiskl S-TISK Vimperk, s. r. o.,
Žitkova 448, 385 01 Vimperk.
320 stran. Vydání první. Praha 2001

Knihy Mladé fronty
si můžete objednat na adrese:
Mladá fronta, obchodní oddělení,
Radlická 61, 15000 Praha 5
e-mail: prodej@mf.cz
www.mf.cz

Kniha 2: VĚDA O SLOŽITOSTI

Kapitola 4: **Energie a průmyslový věk** /105

Teplo, soupeř gravitace /105
Zákon zachování energie /108
Tepelné motory a šipka času /112
Od techniky ke kosmologii /115
Zrod entropie /117
Boltzmannův princip řádu /121
Carnot a Darwin /125

Kapitola 5: **Tři stupně termodynamiky** /128

Tok a síla /128
Lineární termodynamika /133
Daleko od rovnováhy /135
Za prahem chemické nestability /141
Střet s molekulární biologii /147
Bifurkace a narušení symetrie /154
Kaskády bifurkací a přechod k chaosu /160
Od Euklida k Aristotelovi /164

Kapitola 6: **Fluktuacemi k řádu** /169

Fluktuace a chemie /169
Fluktuace a korelace /170
Zesílení fluktuací /172
Stabilita struktury /180
Vývoj uspořádání systému /182
Vývojová zpětná vazba /186
Modelování složitosti /193
Otevřený svět /196

Kniha 3: OD BYTÍ K NASTÁVÁNÍ

Kapitola 7: **Znovuobjevení času** /199

Změna důrazů /199
Konec univerzality /202
Nástup kvantové mechaniky /204
Heisenbergovy vztahy neurčitosti /207
Časový vývoj kvantových systémů /210
Nerovnovážený prostor /213

Kapitola 8: **Střet doktrín** /216

Pravděpodobnost a nevratnost /216
Boltzmannův průlom /222
Zkoumání Boltzmannova výkladu /225
Dynamika a termodynamika – dva oddělené světy /228
Boltzmann a šipka času /234

Kapitola 9.: **Nevratnost, entropie jako překážka** /237

Entropie a šipka času /237
Nevratnost – děj narušující symetrii /239
Meze klasických pojetí /240
Obrození dynamiky /243
Od náhodnosti k nevratnosti /250
Překážka entropie /255
Dynamika korelací /258
Entropie jako výběrové pravidlo /262
Aktivní hmota /264

Závěr: OD ZEMĚ K NEBI – ZNOVUOKOUZLENÍ PŘÍRODOU

Otevřená věda /268
Čas a časy /270
Překážka entropie /271
Vývojové paradigma /273
Herci a diváci /274
Vichřice v turbulentní přírodě /276
Mimo tautologii /279
Tvůrčí tok času /281
Lidský úděl /284
Obnovení přírody /286

Poznámky /287

Rejstřík /306