

Úvod

Výzva vědě

1

Není nadsázka, řekneme-li, že jedním z nejméně významných 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. Nejméně významnější 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“: „Abys však neztratil víru v má slova snad proto, že prvotní tělíska všem je nemožno vidět: poslyš, co svět má tělísk, 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 původně 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 cikán 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 neselhávající světlo pravdy za všemi otázkami: že svět občanské společnosti byl určitě vytvořen lidmi a že jeho základy lze proto nalézt v přizpůsobení 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 bádání 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.

V minulosti mělo kladení otázek přírodě nejrozmanitější podoby. Sumerové vytvořili písmo a sumerští kněží bádali, 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 bádání 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 „nezbytností“, 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-
telné 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 přičí-
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, jako 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
podsvětí 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 soustřeďují na základní představu, že
na určité úrovni *je svět jednoduchý* a řízený časově zvrátnými 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 výtvar čas, 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 nevrátnost – 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 mezních, jednoduchých případů, zatímco nevrá-
tnost 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 zahrnuly 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. Přirozené 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.

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 nezáviselých na směru toku času a nevratných procesů, které na směru toku času závisí. 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 nepřístupného, 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. Kladl 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 možností 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, za 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, počínaje chemií, 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 působení 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 rozdíly 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. Střet těchto hledisek se stal nevyhnutelným. Byl sice po dlouhou dobu oddalován představami o nevratnosti jako iluzi, jako přiblížení; neboť to byl člověk, kdo do bezčasového vesmíru zavedl čas. Řešení, ve kterém je nevratnost omezena na iluzi nebo přiblížení, nemůže být nadále přijímáno, neboť jsme poznali, že nevratnost 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 nevratnosti, 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 nevysvětlil 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 pochybnostmi. 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 nejmenší 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. Rozdíly 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 obsaženo na 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 reálnost 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 nejpřekvapivějších 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 mluvímeli 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 koncepcí 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 zapomínat, 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 zanícených odborníků pokračují ve zhoubně ‚zasvěcenecké‘ diskuzi.“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 nutně 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 vímavosti 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 spojnice 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 bědnou 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 téká 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 jednoduhost. 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 jednoduhost), 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 roky 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 naším 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 chrámy z Guerrera, se zřetelně objevuje hledání spojnice mezi klidem a pohybem, mezi zastaveným a volně plynoucím časem. Věříme, že naše období tyto protiklady sjednotí.

Knih 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 silně, 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 zmocněni 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 (proliferaci) 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 spřízněná a nepřátelství 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 jednodušší 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 nejvýstižněji 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 padesáti 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 závěrů 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 krokem nepřicházejí pouze kritikové vědy, ale často i ti, kteří ji obhajují nebo velebí. 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 poliček 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 květin 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 souvztažnosti 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 sdělitelném 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 věcí, 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: zzeptat 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, přičinlivosti a přesného pozorování, ale protože „nevypouští“ řeku.

Heideggerova kritika pokládající pravý ideál kladného, sdělitelného 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 mir. Přejeme si ukázat, že zdánlivé 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 odmitání 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 cokoli, a jistým druhem přízemního 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. Citujeme 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 slepčů‘.“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 zbaveném 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 popsána 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 vskutku 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 nepreháníme, řekneme-li, že je to období srovnatelné s obdobím feckých 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, hrnčičství 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 pradávnm úsilí, zesiluje ho a stále urychluje jeho rytmus. Nicméně význam vědy ve smyslu, který jí vtiskla newtonovská syntéza, to nevyčerpalo.

Jako doplněk k různým postupům užívaným v dané společnosti se shledáváme 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 z prvotních prvků Nebe a Země, touhy vyburcované Erotem, zrození prvního pokolení bohů k vytvoření rozlišených vesmírných mocností, neshody a sváru, střídajících se krutostí a krevní msty, až je konečně dosaženo stability pod vládou zákona práva a spravedlnosti (*dikè*). Co je významné, že předsokratovci během několika generací shromáždili, podrobili diskusi a posoudili některé koncepty, a my se v nich pokoušíme 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 nekonečným 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 se 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 vypracovaná 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 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 a 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 historii. 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 prolétají 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, splývání 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“ úsili 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 k němu, 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 doborozdání triviálnosti nebo špatného úsudku. Žádné metodologické zásady nemohou vyloučit nebezpečí, že bádání uvizne 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 říkával, 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 vyložeností 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 tížadost 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 rozluštětelný 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 járna 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 řemesníků 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 považován 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 kláštorech, ve kterých se zachovaly přežívající znalosti zaniklého světa, a později v obchodních městech – při zrodu experimentální vědy, která je systematizovanou formou části znalostí řemesníků.

Navíc srovnávací analýza, jakou je například Needhamova¹⁹, odhaluje určující význam společenských struktur na konci středověku. Nejen že se – na rozdíl od starověkého Řecka – třídou řemesníků 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 muse-li 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, přemisťování 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 umisťuje tuto spojnicí 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 představitelství, 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 činorodostí 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 neoddělitelně 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 zplozeným 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 popsaný 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 opozici 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 jakémisi „sbližování“ 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 sbližuje 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 přebývajíc 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 jednoduchost 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 důsledky zvláštní situace na konci středověku, které umožnily rezonanci a po-

sílily vzájemné působení hospodářských, politických, společenských, náboženských, filosofických a technických faktorů. Rychlá změna podmínek však nechala klasickou vědu na holičkách, izolovanou v měnící 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 opravňoval 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 sbližovaly 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 řídící 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 rozluštil 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 drobné části přírody, když se cokoliv drobnějšího a složitějšího opatrně a bázkově 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 přírodníjev. 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 zaskvě, 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 skutečné selhání se zdálo potvrdovat 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 mysli 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 zrno 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 krize, 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 významné role, 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. Změříme se na silné stránky těchto prací a na popis vlastností 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 spojitě 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 infinitezimálních veličin. Infinitezimální 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-

ní 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. $a = dv/dt$). Tudíž 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 ji 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 údery 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 nesusuvisí 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 vrací 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 smělost 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 omezení 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 předpokládáných 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 pojátkem 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 nezachovává, ale je *nevratně* ztracena (viz kapitola 4, část 3). Atomisté tedy nutně museli považovat dynamiku za idealizaci, která má omezený smysl. Evroptští 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 historce 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 pečlivé 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, zrno písku nebo kovu působí na jinou kapičku nebo zrno 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 *Systême du Monde*. Zákon všeobecné gravitace úspěšně obstál ve všech zkouškách a četné argumenty, které

* doslova „oslí kopnutí“ – tj. hanebné doražení 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 (škol)* 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, právě slovo pro Stvoření.“

Po krátkou dobu, která přesto zanechala nesmazatelnou stopu, věda triumfovala, byla uznávána a uctívána mocnými a velebena 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 počínání 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 zobecňování. 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 popisu 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, pohybuje-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) závisí 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 .

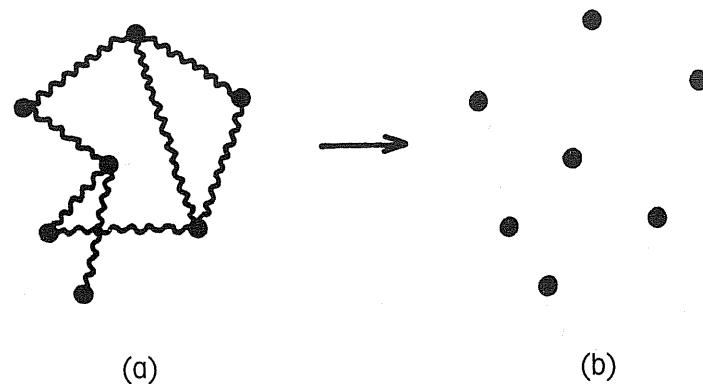
V devatenáctém století byla tato formulace zobecněna zavedením nové funkce, hamiltoniánu (H). Hamiltonián jednoduše vyjadřuje celkovou energii systému, která je dána součtem jeho potenciální a kinetické energie. Tato funkce (energie) však již není funkcí poloh a rychlostí, obvykle značených q a dq/dt , 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 měnami, 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 naznačeno vlnovkami; (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 bavlny 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 útvarů 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 části-

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 mezí 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 sebepřesnější 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 spojenectví, 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 jisté 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 spojitost 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 zdělili 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 velkolepou podívanou.

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 samotu 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 vytyčení 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.

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