

Univerzita Palackého v Olomouci  
Filozofická fakulta

Lukáš Hadwiger Zámečník

Filozofické aspekty

teorie chaosu

Olomouc 2012

## **Filozofické aspekty teorie chaosu**

Lukáš Hadwiger Zámečník

### **Recenzovali**

prof. PhDr. Josef Krob, CSc.

prof. PhDr. RNDr. Jan Štěpán, CSc.

Tato publikace vychází v rámci grantu Inovace studia obecné jazykovědy a teorie komunikace ve spolupráci s přírodními vědami. reg. č. CZ.1.07/2.2.00/28.0076.

Tento projekt je spolufinancován Evropským sociálním fondem a státním rozpočtem České republiky.

Neoprávněné užití tohoto díla je porušením autorských práv a může zakládat občanskoprávní, správněprávní, popř. trestněprávní odpovědnost.

1. vydání

© Lukáš Zámečník, 2012

© Univerzita Palackého v Olomouci, 2012

ISBN 978-80-244-3386-8

# Obsah

<b>Úvod</b>	5
<b>1 Vědecké disciplíny a subdisciplíny fyziky</b>	9
1.1 Problém vztahu mezi vědami	9
1.2 Problém vztahu mezi subdisciplínami fyziky	13
<b>2 Teorie chaosu</b>	17
2.1 Vymezení deterministického chaosu	17
2.1.1 Definice chaosu	19
2.1.2 Autonomie chaosu	20
2.1.3 Chaos pod lupou	22
2.2 Cesta k chaosu	23
2.2.1 Dynamický systém	24
2.2.2 Nelinearita, citlivá závislost na počátečních podmínkách a geneze chaosu	25
2.2.3 Atraktor ve fázovém prostoru	27
2.2.4 Univerzalita chaosu	29
<b>3 Filozofická reflexe teorie chaosu</b>	31
3.1 Transcendentální nemožnost	31
3.2 Chaos a determinismus	35
3.3 Epistemologie chaosu	39
3.3.1 Metody sloužící k dosažení porozumění	40
3.3.2 Povaha porozumění/vysvětlení	46
3.3 Nová podoba idealizace	54

<b>4 Modely teorie chaosu</b>	59
4.1 Top-down (T-D) a bottom-up (B-U) modely	59
4.1.2 B-U I. Rekonstrukce fázového prostoru	60
4.1.3 B-U II. Mediující modely	65
4.1.4 B-U III. Počítačové simulace	68
4.1.5 Kritika některých pojetí modelů	71
4.1.6 Bottom-Up a Top-Down - zhodnocení	74
<b>5 Kde naše modely končí</b>	77
5.1 Stínové lemma	78
5.2 Dynamické systémy na hranicích popisu	80
5.2.1 Planetární systém a přechodnost modelů	81
5.2.2 Mozek a původ vědomí	83
<b>6 Meze vědecké a filozofické reflexe myšlení</b>	88
<b>Literatura</b>	91
<b>Rejstřík věcný</b>	103
<b>Rejstřík jmenný</b>	113
<b>Resumé</b>	117

## Úvod

Poznávání může být označeno jako vědecké tehdy, jestliže kromě zachovávání ní postulatů racionality vědeckého bádání, o jejichž vymezení se samozřejmě vedou spory, nabízí nové problémy a nová řešení těchto problémů. Historizující filozofii, natolik živé v naší kontinentální tradici, tak hrozí, že se z jejího pole bádání stane intelektuální skanzen, v němž filozofové za pomoci nových technologií uchovávají zbožňované dědictví minulosti.<sup>1</sup>

Ze zkušenosti vyvozují, že tento přístup, konzervující tradiční filozofické problémy, paradoxně vychází z přeceňování lidského rozumu. Je-li rozum nahlížen jako něco absolutního a svrchovaného, pak skutečně nemá filozof jinou možnost než neustále přeshlapovat na místě. Neboť z tohoto hlediska je dokonalý nástroj lidské racionality dán a jediným opravdovým úkolem je naučit se jej co nejdokonaleji používat.

Poukazovat smysluplně na meze lidského rozumu a neodpírat mu pružnost a možnost vývoje není snadné. Vždy vypovídáme z této racionality a nesmysly (například některé ty postmoderní) vznikají tehdy, když si neuvědomujeme smyčku zpětné vazby. Tato práce si ovšem neklade za cíl tento složitý problém vyřešit, pouze třetí kapitola představuje určitý náznak jistého pokusu. Navíc se může ukázat, že i tento pokus je opět pouze zběsílým narážením na nehybné hranice. Ze zkušenosti nicméně opět vyvozují, že ve filozofii často vznikaly nejlepší myšlenky tehdy, když byl autor přesvědčen, že hranice posouvá, nově vymezuje nebo nahlíží z nové perspektivy.

Vzít si znovu příklad z Kantovy *Kritiky čistého rozumu* neznamena pouze uzávorkovat metafyziku, ale také znovu zásadním způsobem učinit rozum objektem studia. V tomto dalším stupni zkoumání rozumu přijmáme možnost, že je potřeba nová kritika rozumu, reflexe hranic, jichž si můžeme být vědomi jen zpětně, reflexí toho, co bylo na poli zkoumání rozumu dosaženo. Nemá smysl vytyčovat kognitivní uzávěry,<sup>2</sup> které absolutizují hranice rozumu, neboť tím opět

1 Nepochybují ovšem o tom, že jednou může být celá tato úctyhodná tradice filozofování zhodnocena v empirickém výzkumu kognitivní archeologie. Viz Lewis-Williams (2007).

2 Viz McGinn (1989).

pojímáme rozum jako definitivní nástroj. Zároveň se dopouštíme kategoriální chyby, když z tohoto nástroje zdánlivě vystupujeme a vynášíme o něm soud. Neviditelné hranice vepředu můžeme vždy pouze tušit.

Tento drobný, nicméně neodbytný metatext představuje jediný letmý polibek postmoderny, který si autor v textu dovolil.

Obdiv k tradici filozofování, v níž filozof, řečeno spolu s Wittgensteinem,<sup>3</sup> sám sobě uřezává větev, na níž spočívá, mě přivádí k problémům filozofie vědy. Tato relativně mladá odnož filozofie má už velmi košatou strukturu.<sup>4</sup> Přístup, jenž volím z palety možností, které tato oblast nabízí,<sup>5</sup> vyžaduje kromě tradičních filozofických nástrojů pojmové analýzy také podrobnější obeznámenost s konkrétní vědeckou disciplínou. v mém případě je touto disciplínou fyzika, konkrétněji speciální oblast teorie dynamických systémů, pro niž se vžil poněkud matoucí název – teorie chaosu.

Filozofové vědy, kteří se vydají cestou reflexe konkrétní disciplíny, často inklinují k využívání daného vědeckého problému k obhajobě vlastních filozofických pozic<sup>6</sup> nebo případně k hledání mezery ve vědeckém vysvětlení. Zatímco první přístup může stavět filozofy do role paběrkovačů, závislých na výzkumu přírodovědců, druhý přístup naopak může pasovat filozofy do dávno ztracené role polyhistorů, kterou, ačkoliv bychom jim ji bezpochyby přáli, těžko můžeme v dnešní době ještě očekávat.

Mnozí filozofové také vidí smysl reflexe vědy ve vyvozování metafyzických důsledků moderních vědeckých teorií. Tolik toho bylo napsáno o teoriích relativity, kvantové mechanice (od dob Whiteheada a Bohma), o kvantové gravitaci a kolik ještě prostoru bude věnováno zkoumání důsledků M-teorie. Domnívám se, že i tento přístup je rezignací na odkrývání skutečných vědeckých problémů.

3 Děkuji za tento nápad kolegovi Petru Stojanovi.

4 Za jeden z nejdůležitějších milníků v jejím vývoji pokládá Ronald Giere okamžik, kdy se při střetu kontinentální vědecké filozofie (Wissenschaftliche Philosophie) s americkým naturalismem vynořila filozofie vědy (Philosophy of Science). Srov. Giere (1999, s. 151–173).

5 Přehled základních problémů ve filozofii vědy viz Rosenberg (2005).

6 Což se netýká pouze různých metafyzik, např. emergentismu, srov. Clayton (2006), ale také postmoderny, která s oblibou využívá a zneužívá vědeckých pojmů (např. chaos, neurčitost, relativita ad.).

Mé ambice jsou o něco menší a tradiční,<sup>7</sup> daná disciplína je pro mě zdrojem empirie pro kritické posuzování toho, co je to věda, řečeno spolu s Laudanem, jaká je její ontologie, axiologie a metodologie.<sup>8</sup>

V souvislosti s teorií chaosu jsem zaregistroval několik zajímavých problémů filozofie vědy: (1) problém vztahu mezi vědami, (2) problém vztahu mezi jednotlivými subdisciplínami fyziky a (3) problém modelování ve vědě. První dva problémy nejsou hlavní náplní mého zkoumání, a proto je v první kapitole pouze stručně načrtnu. Poslední problém je komplexem celé řady subproblémů, které budu v následných kapitolách postupně podrobovat rozboru.

Můj přístup k reflexi teorie chaosu směřuje primárně k pochopení toho, jak můžeme pojímat vědeckou teorii – v návaznosti na sémantické pojetí teorií (semantic view of theories, SET) a v rozpracovávání modelově založeného pojetí teorií (model-based view of theories, MOT). Poznatky získané průzkumem teorie chaosu jsou tak využity k podpoře a korekci některých pojetí modelování ve vědě, pro úpravu a rozšíření Gierova model-based view of theories a pro nalezení současných hranic možností vědeckého modelování dynamických systémů.

Ve druhé kapitole provádím deskripci teorie chaosu se snahou o přesnost a postižení všech podstatných charakteristik teorie, které jsou obecně odborníky akceptovány. Je zde uvedena definice chaosu v dynamických systémech a charakteristika jeho autonomie, především v jeho vazbě na fraktální geometrii. Vysvětleny jsou pojmy dynamický systém, nelinearita, citlivá závislost na počátečních podmínkách, atraktor ve fázovém prostoru, univerzalita chaosu a mnohé další.

Nerozsáhlejší třetí kapitola je věnována srovnání dvou nejdůležitějších filozofických textů, které byly teorii chaosu věnovány – textu Stephena H. Kellerta *In the Wake of Chaos* a textu Petera Smithe *Explaining Chaos* – s cílem poukázat na četné diskuze o determinismu. Ty jsou vesměs způsobeny provokativně zvoleným názvem teorie. Kapitola je vystavěna tak, aby reflektovala všechny důležité objevy Stephena Kellerta, zároveň je však vystavěna konfrontačně (Kellert

7 Ve smyslu tradice založené Vídeňským kruhem a analytickými filozofy.

8 Viz Laudan (1984).

x Smith). Zde se sám pokouším o kritiku a rozvinutí nedůležitějších Kellertových a Smithových postřehů.

Stěžejní čtvrtá kapitola je věnována rozboru postavení modelu v teorii chaosu. Jsou zde představeny závěry několika významných filozofů vědy, kteří se použitím modelů v teorii chaosu zabývali. Jedná se především o Jeffreyho Koperského, Adama Mortona a Erica Winsberga. Doplněna je také kritika jejich přístupů u některých autorů (hlavně Petera Smithe) a mé hodnocení postavení top-down a bottom-up modelování v teorii chaosu.

Závěrečná pátá kapitola zkoumá současné hranice modelování ve vědě. Především podmínky aplikovatelnosti modelů teorie chaosu při reprezentaci reálných systémů (stínové lemma a podmínka hyperbolicity). Poukazuje také na oblasti teorie dynamických systémů, které vyžadují ještě hlubší proměnu pojmu model (a především prediktivní síly modelu), než je tomu v teorii chaosu. Jsou zde uvedeny dva zajímavé problémy současné teorie dynamických systémů – v astrofyzice (stabilita sluneční soustavy) a v neurovědě (chaotická dynamika neuronové sítě lidského mozku), které slouží jako odrazový můstek k filozofickému zhodnocení – návratu k metatextu.



# 1 Vědecké disciplíny a subdisciplíny fyziky

## 1.1 PROBLÉM VZTAHU MEZI VĚDAMI

Problém vztahu mezi vědeckými disciplínami je tradičně vnímán jako problém primátu fyziky, která je základem pro všechny ostatní disciplíny. Pro takto pojaté východisko je zásadní rozhodnutí, zda je možné podat fyzikální kauzální vysvětlení fenoménů na úrovni supervenientních disciplín (biologie, neurovědy ad.). Nověji se tomuto problému věnuje Owens, který kritizuje obvykle používané hledisko opírající se o pojem supervenience. Tento kritizovaný přístup totiž ponechává nevyřešenou otázku o explanační síle fyzikální teorie a dokonce rezignuje i na používání pojmu „příčina“<sup>9</sup>. Owens považuje za důležitou pervazivnost fyzikální kauzace. Klíčový pojem kauzální pervaze definuje Owens následovně: „Jestliže je nějaká nefyzikální událost S1 kauzálně relevantní pro nějakou jinou nefyzikální událost S2, pak existují subvenientní fyzikální stavy P1 a P2 takové, že P1 je kauzálně relevantní pro P2.“<sup>10</sup> Podle Owense si speciální vědy zachovávají autonomii, která je slučitelná s kauzální pervazí. Ta zahrnuje kauzální relevanci, ale nikoliv kauzální vysvětlení. Za vyloučený považuje Owens redukcionismus stejně jako explanační pervazi.<sup>11</sup>

Ačkoliv se v Owensově řešení jedná o korektní a elegantní doložení autonomie speciálních věd, domnívám se, že je příliš umělé. Vychází totiž z tradičního pojetí hierarchického uspořádání věd, v jehož rámci se následně snaží dokázat určitý druh autonomie supervenientních disciplín. Přístup, který je v současné vědě běžný a na nějž poukazuje právě teorie chaosu, je oproštěn od takovýchto závazků. Disciplíny jsou primárně autonomní, vztahy závislosti a podřízenosti se projeví při řešení konkrétního výzkumného úkolu. Pro tento typ vztahu mezi vědami se vžil označení interdisciplinarita.

9 Srov. Owens (1989, s. 61).

10 „If any non-physical event S1 is causally relevant to another non-physical event S2 then there are subvenient physical states P1 and P2 such that P1 is causally relevant to P2.“ Tamtéž, s. 61-62.

11 Podrobněji viz tamtéž, s. 78-79. Radikálnější stanovisko zastává Jaegwon Kim, který v kontextu problému kauzální potence mentálních událostí navrhuje jako jediné pozitivní řešení redukovatelnost mentálních událostí na fyzikální události. Srov. Kim (2005).

Interdisciplinarita se stala v současné filozofii vědy velmi frekventovaným pojmem, kromě teorie dynamických systémů bývá velmi často spojována například s kognitivní vědou. Pro interdisciplinaritu, jak už jsem výše naznačil, je typická koncentrace na konkrétní výzkumný úkol (dynamický systém, kognici ad.), její propagace ale není univerzální. V případě kognice by měla na bázi interdisciplinárního zkoumání vzniknout integrací dílčích věd nová vědecká disciplína – kognitivní věda. V případě teorie dynamických systémů dochází k aplikaci určitých modelů napříč speciálními vědami všude tam, kde lze smysluplně vymezit dynamický systém.

S uvedenými variantami interdisciplinarity se pojí hned několik nepříjemných nejednoznačností. Pojem interdisciplinarita bývá běžně zaměňován s pojmy transdisciplinarita, multidisciplinarita, cross-disciplinarita popř. i postdisciplinarita, a tak se stává velmi vágním. Někteří autoři např. odmítají pojímat kognitivní vědu jako disciplínu, protože v praxi se setkáváme s neurovědci, psychology, odborníky na umělou inteligenci, ale nikoli kognitivními vědci sui generis. Je sice potřeba, aby vědci různých oborů komunikovali a konfrontovali své perspektivy výzkumu, ale to je možné jen díky tomu, že každý rozumí své konkrétní disciplíně.<sup>12</sup>

V případě interdisciplinarity vyznačené teorií dynamických systémů zase hrozí pouze povrchní využití výhod, které skýtá matematický formalismus. Takto např. Humphreys navrhuje, aby se základní organizační jednotkou vědeckého výzkumu staly počítačové šablony (computational templates): „Namísto ontologické hierarchie založené na mereologii, která poskytuje obvyklé uspořádání přírodních věd od fyziky přes chemii k biologii, můžeme vidět změnu podoby vědeckého bádání, která nastává, když se vědecké aktivity seskupí podle počítačových šablon, které používají.“<sup>13</sup>

Šablony vymezuje Humphreys pouze výčtem, poukazuje na diferenciální rovnice, statistické modely, ale také konkrétně např. na celulární automaty ad. Svůdné nebezpečí matematického formalismu vysvítá nejlépe z Humphreysova tvrzení, že si fyzika vystačí s pouhými třemi druhy parciálních diferenciálních

12 Zdá se, že dnes by Feyerabend spíše než na fachidiocii poukazoval na transdiletantství.

13 „Instead of the ontological hierarchy based on mereology that gives us the usual ordering of the natural sciences from physics through chemistry and biology we can see a reshaping of the scientific enterprise that takes place when activities are grouped according to the computational templates that they use.“ Humphreys (2002, s. 55).

rovníc (eliptickými, parabolickými a hyperbolickými) k modelování enormního množství různých fyzikálních jevů.<sup>14</sup> Ačkoliv je jistě nesporným faktem, že fyzik často využije vhodného prověřeného templátu k modelování nového problému, nemůžeme tuto strategii chápat jako základní způsob budování jeho disciplíny. Samotné použití templátu neznamená porozumění vědeckému problému.<sup>15</sup> Navíc každá významnější revoluce ve fyzice s sebou nesla i dalekosáhlé rozšíření matematického formalismu.<sup>16</sup>

Vzhledem k hrozící vágnosti pojmu interdisciplinarita považuji za vhodné doplnit definice dalších druhů x-disciplinarit.

Především ve společenských a humanitních vědách je rozšířené přesvědčení, že ve vědě nastala fáze postdisciplinarity. Výzkum oborů je dle tohoto pojetí nahrazován adekvátnějším studiem konkrétních problémů.<sup>17</sup> Pickering dokonce v souvislosti s kulturními studií použil podle Ronalda Giera označení „anti-disciplinary new synthesis“.<sup>18</sup> Výše jsem poukázal na zjevnou nedostatečnost takového postupu.

Stephen Kellert vymezuje multidisciplinaritu jako juxtapozici dvou nebo více disciplín, které se vyznačují odlišnými perspektivami. Tyto disciplíny se kumulují, spíše než že by mezi nimi probíhala interakce, jen v omezené míře dochází k jejich vzájemné změně a kombinaci. Podle tohoto pojetí by multidisciplinarita na rozdíl od interdisciplinarity neústila ve vznik nové disciplíny. Kellert se vyslovuje pro multidisciplinaritu, jejímž primárním cílem není unifikace pod jednou perspektivou, ale integrace několika odlišných perspektiv.<sup>19</sup>

Nejvíce pozornosti věnuje Kellert zkoumání cross-disciplinarity. Tento druh vztahu mezi vědami totiž nejlépe odpovídá způsobům aplikace různých

14 Srov. tamtéž, s. S4.

15 Typický příklad používání komputačních templátů je spojen se stále převládající výukou fyziky na středních školách. Studenti jsou vedeni k tomu, aby využívali podobnosti matematických vztahů a totožnosti matematického formalismu, aniž by rozuměli principům, které leží v jádru teorie.

16 Notoricky známé příklady z fyziky je možno doplnit i příklady z komputační neurovědy, kde výzkum složitých neuronových sítí vážne na nedostatečně propracovaném matematickém aparátu, viz Freeman (1999b).

17 Viz Barker (2002, s. 3).

18 Srov. Giere (1999, s. 248, pozn. 13).

19 Srov. Kellert (2008, s. 31).

částí teorie chaosu napříč všemi představitelnými disciplínami.<sup>20</sup> Cross-disciplinarita představuje podle Kellerta: „(...) vypůjčování (borrowing) vědění z jedné oblasti za účelem rozvoje jiné disciplíny.“<sup>21</sup> Kellert si je vědom nebezpečí, které plyne z metaforického použití teorie chaosu. Zkoumá výpůjčky z teorie chaosu v ekonomii, právní vědě a literární vědě s cílem poukázat na viditelné přehmaty, ale i plodné inspirace.

Uvádí tři hlavní nebezpečí, která jsou s vypůjčováním pojmů spjata, a to (1) chyby týkající se původní oblasti (nevhodně zvolené zdroje výpůjček – polze zdánlivá podobnost), (2) přílišné přizpůsobování vědecké terminologie (velká flexibilita – nemožnost přenést pojem se všemi podstatnými náležitostmi) a (3) chybné inference (přenášení inferenčních schémat).<sup>22</sup> Přesto se Kellert snaží o obranu užitečnosti metaforických výpůjček, jež mohou sloužit (a) k odstranění neplodné závislosti na předpokladech, které se udržují jako pozůstatek dřívějších výpůjček, a (b) k nahrazení zastaralých modelů v cílové oblasti.<sup>23</sup>

Kellert si je vědom nejsamozřejmější námitky, která může být vznesena vůči významu cross-disciplinarit – jejího významu pouze na poli kontextu objevu (context of discovery) a naprosté irelevantnosti vzhledem ke kontextu justifikace (context of justification). Kellert ale namítá, že mezi oběma kontexty musí být prozkoumán ještě třetí, kontext soutěžení (context of pursuit): „(...) mezi momentem objevu a momentem justifikace je podteoretizovaný „kontext soutěžení“, v němž jsou seřazovány vzájemně soutěžící aktivní možnosti podle jejich slibnosti a vhodnosti pro budoucí zkoumání. V tomto kontextu se z hypotéz stávají kandidáti pro aktivní působení v cílové oblasti, což představuje významný druh epistemické zásluhy. Z těchto důvodů si metaforické užití vědeckého výzkumu zaslouží další epistemologické zkoumání.“<sup>24</sup>

20 Kellert uvádí abecední výběr aplikací situovaných pouze do 90. let 20. století. Viz Kellert (2008, s. 1-2).

21 „(...) the borrowing of knowledge from one field in order to assist the endeavors of another discipline.“ Tamtéž, s. 31.

22 Srov. Kellert (2001, s. S458).

23 Srov. tamtéž, s. S463.

24 „(...) between and among moments of discovery and moments of justification is the under-theorized „context of pursuit,“ wherein competing active possibilities are ranked for their promise and feasibility for further investigation. In this context, elevating a hypothesis to the status of candidate for active pursuit in the target field does indeed count as the conferral of a significant sort of epistemic merit. For these reasons, metaphorical uses of scien-

Ze zkušenosti odvozují spíše zdrženlivost, cross-disciplinarita totiž skutečně zůstává převážně v rovině metafor. V případě teorie chaosu se to projevuje především nemožností využít nepostradatelný matematický rámec teorie. Prvotní nadšení z pronikavé intuice je vystřídáno slepou uličkou neřešitelných problémů – můžu sice například pojímat genetickou informaci jako text složený z abecedy symbolů DNA, ale jak vysvětlit organismus, jako konkrétní produkt interpretace tohoto textu?<sup>25</sup>

Transdisciplinarita je vnímána s ohledem na ostatní x-disciplinaritu jako nejvíce komplexní, sjednocující přístup, který přesahuje (téměř až transcenduje) jednotlivé obory. Kellert uvádí jako příklady marxismus, teorii systémů a socio-biologii;<sup>26</sup> nezapře tak určitou skepsi vůči tomuto pojetí vztahu mezi vědami. Mým názorem je, že zde nejde o integraci a vznik nové disciplíny, ale spíše o nadhled nad multidisciplinárním přístupem. Například kognice je studována neurovědami, filozofií myslí, psycholingvistikou, přitom ale není těmito přístupy zcela uchopena – jde o vědomí omezenosti vědeckých perspektiv. Osvěžující je vnímat právě filozofii jako bytostně transdisciplinární zkoumání.<sup>27</sup>

## 1.2 PROBLÉM VZTAHU MEZI SUBDISCIPLÍNAMI FYZIKY

Problémem vztahu mezi jednotlivými subdisciplínami fyziky se zabývá především Nancy Cartwrightová.<sup>28</sup> Podle této autorky platí při budování a používání fyzikálních teorií následující dvě omezení. (1) Ve fyzice používáme odlišné teorie k modelování odlišných situací, neexistuje sjednocená fyzikální teorie, jež by byla aplikovatelná na všechny fyzikální jevy. (2) Každá teorie má omezený počet základních modelů, které slouží k znázorňování reálných situací ve světě.<sup>29</sup> Podle Sheldona Smithe vedou tato omezení Cartwrightovou k její představě pestrého světa (dappled world): „Odlišné části světa jsou podřízeny odlišným teoriím, některé části nemusí být podřízeny teorii žádné, pokud tato teorie ještě

---

tific research merit further epistemological investigation.“ Tamtéž, s. S465.

25 Problémy biosémiotiky, viz Markoš (2003).

26 Kellert (2008, s. 31).

27 Srov. Peregrin (2006, s. 9).

28 Cartwright (1999), Cartwright (1983).

29 Srov. Smith, S. (2001, s. 456-457).

nená k dispozici dostatečně konkrétní modely.<sup>30</sup> Cartwrightová je také přesvědčena, že snaha naleznout ohraničenou, ucelenou množinu zákonů, které řídí všechny fyzikální jevy, je pouze zbožným přáním tzv. fundamentalistů. Takové přání nemá empirickou oporu v průběhu fyzikální praxe.<sup>31</sup> Otázka po jednotě vědy (byť jen fyziky) je pro Cartwrightovou jednoznačně zodpovězena záporně, na místo vědeckého fundamentalismu klade vědecký pluralismus.

Sheldon Smith se naopak snaží dokázat, že oblast klasické mechaniky, kterou Cartwrightová používá jako vzorový příklad, je mnohem širší, než připouští, a že existuje demonstrovatelná jednota teorií, jež Cartwrightová pokládá za odlišné a oddělené.<sup>32</sup>

Jestliže se Cartwrightová pokouší o obecný pohled na vztah jednotlivých oblastí fyziky, pak Barrett se spíše zabývá otázkou pravdivosti fyzikálních teorií ve světle jejich vzájemné nekompatibility. Snaží se odpovědět na otázku, jak je možné, že vzájemně neslučitelné popisy světa mohou být všechny aproximativně pravdivé. Vtipně poznamenává, že vzhledem k logické kontradikci naše současné nejlepší fyzikální teorie nepopisují žádný možný svět, čili v tomto smyslu nejsou schopné správně popsat ani aktuální fyzikální svět.<sup>33</sup>

Barrett kritizuje vágnost konceptu aproximativní pravdivosti (approximate truth). Domnívá se, že pokud chceme objasnit, co to znamená, že je nějaká fyzikální teorie aproximativně pravdivá, pak musíme začít paralelně vytvářet další generaci dokonalejších fyzikálních teorií. „Říct, jak se současné teorie můžou lišit od pravdy, znamená vysvětlit, jak můžou být vylepšeny. To je možné udělat jedině v kontextu vědeckého výzkumu, který je založen na příští generaci lepších fyzikálních teorií.“<sup>34</sup>

Jakkoliv je analýza Cartwrightové nejznámější kritikou vize jednotné fyziky, mám za to, že Barrettův přístup je bližší argumentům, které se proti jednotě fyziky vynořily v souvislosti s teorií chaosu. Byl to zřejmě Ford, kdo jako první zpochybnil

30 „Different parts of the world are subject to different theories, some parts might be subject to no theory at all if there just aren't enough concrete models at the disposal of that theory.“ Smith, S. (2001, s. 457).

31 Srov. tamtéž, s. 457.

32 Srov. tamtéž, s. 458.

33 Barrett (2003, s. 1215).

34 „In order to say how our current theories might differ from descriptive truth one must say how they might be improved, and this can only be done in the context of serious scientific inquiry into the nature of the next generation of best physical theories.“ Tamtéž, s. 1217.

platnost principu korespondence mezi kvantovou a klasickou mechanikou.<sup>35</sup> Bokulichová cituje jeho závěry, které se týkají zkoumání kvantované Arnoldovy transformace (cat transformation). Z těchto závěrů plyne, že kvantová Arnoldova transformace není chaotická v oblasti kvantové fyziky ani se nestává chaotickou při limitním přechodu do domény klasické fyziky. To je podle Forda jasným porušením principu korespondence, kterého se tak musíme minimálně v případě kvantové Arnoldovy transformace vzdát.<sup>36</sup>

Bokulichová se snaží prokázat, že princip korespondence (a na něm založené postavení klasické mechaniky jako speciálního případu mechaniky kvantové) může být zachován. Prostředkem k tomu je vytváření speciálního typu horizontálních modelů, které nazývá kvantová zobrazení (quantum maps).<sup>37</sup>

Protože vztah kvantové a klasické fyziky v oblasti chaotické dynamiky není ještě vyjasněn, nemůžeme z pozice filozofie vědy činit definitivní závěry. Pokud by se neslučitelnost těchto oblastí potvrdila, byl by to jeden doklad neadekvátnosti fyzikálního fundamentalismu a jeden doklad platnosti fyzikálního pluralismu. Touto otázkou se zabývá Belot a řeší ji na konkrétním příkladu dvou modelů sluneční soustavy, z nichž jeden je založen na klasické mechanice a druhý na kvantové mechanice. Belot dochází k závěru, že kvantový model není schopen nahradit model klasický, protože není schopen popsat chaotickou dynamiku, již může systém vykazovat.

Nacházíme se v situaci, kdy disponujeme dvěma teoriemi, které nabízejí modely k popisu dané fyzikální domény, a z nichž jedna je pojmána jako fundamentální (kvantová fyzika) a druhá jako odvozená (klasická fyzika). Zásadní rozchod s fundamentalismem by měl nastat ve chvíli, kdy určité důležité aspekty popisovaného systému (chaotická dynamika) dokáží reprezentovat pouze modely méně fundamentální teorie (klasická fyzika) a naprosto vůbec pak

35 Pokud by mezi oběma oblastmi měl existovat vztah, je potřeba vysvětlit dvojí: (1) jak vzniká klasický chaos z kvantové úrovně, (2) jak je naopak klasický chaos na kvantové úrovni potlačen.

36 Srov. Bokulich (2003, s. 618).

37 „Quantum maps can best be understood as a product of what i call horizontal model construction. These horizontally constructed models have proven to be an ideal tool for exploring the relation between classical and quantum mechanics. ... Specifically, they are being used, first, to develop a new semiclassical approximation; second, as a concrete test of the correspondence principle; and finally, to demonstrate a novel quantum effect used to explain the quantum suppression of classical chaos.“ Tamtéž, s. 610.

modely fundamentálnější teorie (kvantová fyzika).<sup>38</sup> Pluralismus fyzikálních teorií vystihuje Belot následovně: „Jestliže skutečně existuje problém s reprezentováním chaosu v kvantové mechanice a jestli skutečně existují chaotické systémy, pak jsme vedeni k seriózní podobě epistemického pluralismu: každá z našich teorií, více a méně fundamentálně podobných, vytváří určitý nepostradatelný přínos pro naše porozumění světu.“<sup>39</sup>

Jsem přesvědčen o tom, že fyzikální pluralismus má podporu v současné vědecké praxi. Na rozdíl od Cartwrightové nechci ale toto stanovisko absolutizovat. Fundamentalistický postoj, který hledá stále základnější popis fyzikální reality, je stejně tak adekvátním a běžným fyzikálním přístupem. Belotova zjištění nás ale přivádějí ke změkčení jednoho ze základních axiologických předpokladů vědy. V případě teorie dynamických systémů se ukázalo, že některé dosud neznámé důsledky klasické (ve smyslu dřívější) teorie lze použít k reprezentaci reálných fyzikálních systémů lépe než důsledky teorií fundamentálnějších. Jsme zvyklí na to, že k popisu sluneční soustavy běžně používáme klasickou fyziku, protože je zbytečné používat fyziku relativistickou; nicméně Belotem předestřená situace se liší – zdá se být možným, že fundamentálnější teorie není sto principiálně podat vysvětlení fyzikálních fenoménů, které dokáže popsat teorie klasická a zdánlivě překonaná.

---

38 Srov. Belot (2000, s. S461).

39 „If there really is a problem with representing chaos in quantum mechanics, and if there really are chaotic systems then we are driven to a serious form of epistemic pluralism: each of our theories, the more and the less fundamental alike, makes some indispensable contribution to our understanding of our world.“ Tamtéž, s. S463.



## 2 Teorie chaosu

### 2.1 VYMEZENÍ DETERMINISTICKÉHO CHAOSU

Chaos představuje v teorii dynamických systémů speciální druh chování dynamického systému, které je dnes již přesně definováno a které nastává za přesně stanovených podmínek. Exaktní matematická podoba chaosu stejně jako jasně stanovené použití v rámci přírodní vědy vylučuje, alespoň z mého pohledu, neoprávněné naděje některých kritiků vědy. Ti se domnívají, že vpuštění chaosu do vědy znamená její zásadní přehodnocení nebo dokonce popření.<sup>40</sup> Chaos je tématem, nikoliv metodou zkoumání.<sup>41</sup> a jestliže je teorie dynamických systémů schopná popsat takto komplexní téma, pak to svědčí o dalším rozšíření poznání, ne jeho omezení.

Aby nedocházelo k terminologickým nejasnostem, vždy když užiji termín teorie chaosu, mám na mysli chaos deterministický. Jsem si vědom toho, že přesnější by bylo hovořit o určité oblasti teorie dynamických systémů, ale pro jednoduchost používám toto široce zažitě označení. Označení „deterministický chaos“ svádí k používání označení „stochastický chaos“ pro chování, které může mít sice stejnou podobu jako v případě deterministického chaosu (2.2.2), ale není důsledkem deterministické dynamiky. Toto druhé označení by však už zavádělo pojmovou konfúzi. Anglické odlišení „chaos“ a „noise“ je asi nevhodnější.

Jak poznamenává Gleick,<sup>42</sup> Yorkův název článku *Perioda tři znamená chaos*<sup>43</sup> byl velmi chytlavý, a dal tak název celé oblasti studia určitého druhu deterministické nelineární dynamiky. Oxymóron deterministického chaosu<sup>44</sup> pak zavdalo podnět k mnoha diskuzím o vztahu mezi řádem a chaosem, o spektru různých druhů uspořádanosti a třeba také o jevech, které nelze popsat pomocí zákonů, ale které přesto vykazují určitý řád.<sup>45</sup> Tyto diskuze samozřejmě mohou mít podstatný význam pro filozofii vědy a já jejich konkrétní výsledky na patřičném místě zhodnotím. Nicméně přidáme-li k chytlavosti rozpustilého názvu „nové vědy“ vliv

40 Oblíbená víra některých postmodernistů, která je kritizována např. viz Sokal – Bricmont (1998).

41 Valenta (1999).

42 Gleick (1996, s. 72).

43 Yorke – Li (1975), viz tamtéž, s. 329.

44 Název použit viz např. Horák – Krlín – Raidl (2003).

45 Srov. Kellert (1993, s. 110–114).

filozofujícího chemika Ilyi Prigogina,<sup>46</sup> pak se není možno divit pojmové závratí celé řady společenských vědců.<sup>47</sup>

Počátek teorie chaosu může být ale také konkrétním dokladem toho, co Simon Singh označuje jako úspěchy Langlandsova programu v matematice.<sup>48</sup> Samotná Yorkova práce je vlastně speciálním důsledkem Sharkovského teorému,<sup>49</sup> což ukazuje, že oblast teorie čísel má důležitý význam pro oblast matematické analýzy. To opět poukazuje na možnost zkoumat problémy konkrétní matematické oblasti, za účelem zjednodušení, jejich převedení na problémy odlišné matematické oblasti, a to bez újmy na obecnosti a správnosti.<sup>50</sup> Sharkovského teorém je navíc dodnes zdrojem dalšího rozšiřování teorie chaosu směrem k tzv. mnohoznačnému chaosu.<sup>51</sup>

Domnívám se, že i když ponecháme stranou metafyzické, a nebo naopak postmoderní finesy chaosu, přesto zůstane velmi rozsáhlá oblast problémů pro relevantní studium filozofů vědy. V tomto smyslu nejlépe zmapoval situaci Kellert<sup>52</sup> a předložil dalším autorům řadu rozpracovaných úkolů – od otázek proměny vztahu predikce a explanace, přes problémy vymezení determinismu, až po snahu přehodnotit tradiční pojetí vědecké teorie a vědeckého zákona s tím, že neopomíjí ani otázky související s kontextem objevu teorie a se sociálními aspekty vědy.

Postup Petera Smithe<sup>53</sup> vnímám tak, že vytyčuje entuziastickému rozvrhu Kellerta hranice a snaží se spíše hledat ty znaky teorie chaosu, které teorie sdílí se svými předchůdkyněmi. Mé vlastní snaze je Smithův přístup bližší. Myslím, že Smith velmi podstatně zhodnotil otázky týkající se explanace a predikce a naznačil proměnu role modelu v teorii chaosu. V tomto místě na Smithe (a další autory) navazuji a rozpracovávám jeho pojetí bottom-up modelování v teorii chaosu.

46 Prigogine – Stengersová (2001).

47 Kritický článek proti tzv. prigoginismu viz Bricmont (1995, s. 159–208).

48 Singh (2007, s. 188–189).

49 Sharkovsky (1964), viz Gleick (1996, s. 329).

50 Slavným příkladem úspěchu tohoto programu je také samotný důkaz Velké Fermatovy věty. Ten se uskutečnil prostřednictvím důkazu Taniyamovy-Šimurovy domněnky, která propojovala vlastnosti eliptických rovnic a modulárních forem. Srov. Singh (2007, s. 220 a 259).

51 Andres – Fürst – Pastor (2007). Andres – Fürst – Pastor (2009).

52 Kellert (1993). Na Kellertovu práci v českém prostředí poprvé upozornil Jan Andres, viz Andres (1996).

53 Smith (1998a).

### 2.1.1 Definice chaosu

Většina autorů se odvolává na relativní čerstvost teorie chaosu a s tím související nevymezenost některých základních pojmů. Proto Kellert navrhuje následující pracovní definici: „(...) teorie chaosu je kvalitativním studiem nestabilního aperiodického chování v deterministických nelineárních dynamických systémech.“<sup>54</sup> Batterman, který zkoumá chaos primárně v hamiltonovských systémech, uzavírá své zkoumání definicí Stona a Forda pochybností, zda můžeme podmínku exponenciální nestability (citlivá závislost na počátečních podmínkách) pojímat pro vyjádření chaotické dynamiky jako dostatečnou. Odpověď na tuto otázku bude podle něj pravděpodobně vždy částečně determinována kontextem.<sup>55</sup> Přitom ale mimoděk v závěrečné poznámce vystihuje dva klíčové prvky definice chaosu: „V abstraktních matematických diskusích je někdy požadováno, aby byl „systém“ hyperbolický (...) a aby v jeho invariantní množině orbit byly periodické orbity husté.“<sup>56</sup>

Obecně užívaná, i když nikoliv jediná, je definice Devaneyova, která stanovuje tři podmínky, při jejichž splnění lze hovořit o chaosu.<sup>4</sup> Devaneyho podmínky jsou následující:

- (1) citlivá závislost na počátečních podmínkách (sensitive dependence on initial conditions);
- (2) hustota periodických bodů (dense periodic points);
- (3) topologická tranzitivita (topological transitivity).

Peter Smith poznamenává, že matematik je při tvorbě definice vystaven několika tlakům. Na jedné straně jej motivuje touha po vzrůstající obecnosti, inkluzivnosti a abstraktnosti. Na straně druhé ale také chce, aby mohly být definované pojmy uplatněny v důležitých teorémech a aby se objevily zajímavé vztahy těchto pojmů

54 „(...) chaos theory is the qualitative study of unstable aperiodic behavior in deterministic nonlinear dynamical systems.“ Kellert (1993, s. 2).

55 Srov. Batterman (1993, s. 65).

56 „In abstract mathematical discussions it is sometimes required that the „system“ be hyperbolic (...) and that within its invariant set of orbits, periodic orbits are dense.“ Tamtéž, s. 65, pozn. 2.

k jiným, už zavedeným matematickým pojmům.<sup>57</sup> Smith připomíná Lakatose,<sup>58</sup> který při snaze vymezit matematický pojem míry narazil na to, že požadavek obecnosti a požadavek vytvoření bohaté sítě teorémů míří opačnými směry. a stejně jako Lakatos uzavírá: nemusí existovat jeden „správný“ nebo „nejlepší“ pojem chaosu.<sup>59</sup>

Další alternativní definice chaosu vždy zdůrazňují některou z Devaneyho podmínek a vytváří tak pojem chaosu vhodný pro konkrétní účely. Chaos<sub>h</sub> je definován prostřednictvím transformace (stretch-fold transformation), která obsahuje speciální množinu – horseshoe.<sup>60</sup> Soustředění se na první Devaneyho podmínku zakládá dvě další definice chaosu. Chaos<sub>te</sub> je definován prostřednictvím topologické entropie – zobrazení je chaotické<sub>te</sub> jestliže má kladnou hodnotu topologické entropie. Podobně je na citlivé závislosti na počátečních podmínkách založen i chaos<sub>λ</sub>, který je definován kladnou hodnotou Ljapunovova exponentu ( $\lambda$ ).<sup>61</sup>

## 2.1.2 AUTONOMIE CHAOSU

Souhrnné texty o teorii chaosu<sup>62</sup> někdy sugerují zjednodušené představy o vztahu chaosu a některých význačných matematických objektů. Ikonou chaosu se stal Lorenzův atraktor, speciální případ z množiny atraktorů, které nesou označení „podivné“ (strange attractor). Pro tyto atraktory je charakteristické, že se jedná o objekty s fraktální dimenzí. Oblast fraktální geometrie je natolik rozsáhlá, proto se zde musím spokojit pouze s velmi kusou charakteristikou.<sup>63</sup> Jako základní vlastnost fraktálu je často uváděna soběpodobnost (selfsimilarity), která se projevuje opakujícím se vzorem na stále se zmenšující škále (ad infinitum). Ačkoliv toto vymezení postihuje jednu podstatnou vlastnost fraktálu – nekonečnou komplexitu tohoto geometrického útvaru, striktní soběpodobnost (typická např. pro Kochovu křivku), je pouze speciálním případem.

57 Srov. Smith (1998a, s. 174).

58 Lakatos (1976).

59 Srov. Smith (1998a, s. 175).

60 Není bez zajímavosti, že chaos<sub>h</sub> implikuje chaos<sub>d</sub>. Srov. tamtéž, s. 178.

61 Srov. tamtéž, s. 178–179.

62 Peitgen – Jürgens – Saupe (1992).

63 Peitgen – Jürgens – Saupe (1992). Smith (1998a). Mandelbrot (2002).

Vhodná pracovní definice fraktální množiny je tato: „(...) je to množina, jejíž box-counting dimenze převyšuje její „obyčejnou“ dimenzi.“<sup>64</sup> Další přesnější vymezení pojmu dimenze jde nad rámec mého zkoumání. Na dokreslení uvádím pouze jednoduchý příklad: topologická („obyčejná“) dimenze Kochovy křivky je rovna 1, ačkoliv její box-counting dimenze má hodnotu přibližně 1,262.

Načrtnutá definice nás přivádí k důležitému zjištění. Aby totiž box-counting dimenze objektu byla větší než jeho dimenze topologická, je potřeba, aby měl objekt nekonečně složitou strukturu (infinitely intricate structure). Vzhledem k tomu, že fraktály vykazují nekonečnou složitost s dokonalou přesností detailu na libovolné škále, pak, jestliže detail odstraníme, se bude hodnota box-counting dimenze rovnat přímo hodnotě „obyčejné“ dimenze a podle definice se nebude jednat o fraktál.<sup>65</sup>

Jedna z důležitých otázek, která je diskutována níže, souvisí s možností používat fraktály jako reprezentace při vědeckém popisu reálných objektů, jestliže tyto nekonečnou složitost postrádají. Odlišení prefraktálů a fraktálů tak zůstává jedním ze zásadních problémů použití modelů teorie chaosu, je mu věnována samostatná podkapitola.

Autonomie chaosu spočívá v tom, že vlastnost být fraktálem není nutnou ani postačující podmínkou chaosu. Existují případy, kdy nastává chaos, aniž by byl doprovázen fraktální geometrií. Stejně jako nastávají případy, kdy fraktální objekty nereferují k chaosu. Toto tvrzení platí dokonce i v silnější podobě. Je známá celá řada případů, u nichž nastává chaos, aniž by byl doprovázen podivným atraktorem. Logistické zobrazení obsahuje chaos, přičemž atraktorem je celý jednotkový interval. Podivný atraktor tak není nutnou podmínkou chaosu. Dále existují i případy, kdy atraktor dynamiky je fraktální, a přesto nenastává chaos. Podivný atraktor tak není ani postačující podmínkou chaosu.<sup>66</sup>

Peter Smith vyjadřuje tento nejednoznačný vztah chaosu a fraktálů následovně: „(...), chaos je rysem samotné dynamiky, která není diktována

64 „(...) is a set whose box-counting dimension exceeds its „ordinary“ dimension.“ Smith (1998a, s. 28).

65 Srov. tamtéž, s. 29.

66 Srov. tamtéž, s. 171–172.

přirozeností množiny, kde se dynamika odehrává.<sup>67</sup> Je to právě tato charakteristika, která opravňuje označit chaos za autonomní.

Podobně také Winnie poukazuje na to, že chaos není striktně omezen pouze na nevypočitatelná čísla.<sup>68</sup> Dokazuje existenci spočitatelného chaosu (computable chaos) za splnění Devaneyho podmínek.<sup>69</sup> Winnie dokládá, že chaotické chování funkce je dobře definováno na každé oblasti mající určitou strukturu – nezáleží na entitách, které tuto strukturu realizují – chaotické funkce nepotřebují numerické oblasti.<sup>70</sup>

### 2.1.3 Chaos pod lupou

Předchozí stránky představují síť definic. Tyto definice se pouze částečně překrývají a poukazují na vlastnosti, které chaos může a nemusí sdílet se strukturou, jíž je realizován. Před dalším popisem složek teorie chaosu je tak potřeba vymezit, jaký chaos bude nadále objektem mého zkoumání a prostředkem k testování vlivu teorie chaosu na změnu pojetí modelu ve filozofii vědy.

Zaměřuji se nadále na Devaneyho chaos v diskrétních a spojitých systémech. Ve většině případů bude chaos také doprovázen podivným atraktorem. Otázky povahy struktury, která může realizovat chaos, ponechávám stranou. Chaos, o němž dále hovořím, je zkoumán v disipativních systémech. Ty na rozdíl od systémů hamiltonovských umožňují existenci atraktorů.

Hamiltonovské systémy jsou systémy konzervativní, dochází v nich k zachování celkové energie. Tyto systémy jsou řízeny Liouvillovým teorémem, který určuje zachování objemu ve fázovém prostoru v průběhu vývoje systému.

67 „(...) chaos is a feature of the dynamics itself which isn't dictated by the nature of the set over which the dynamics is played out.“ Tamtéž, s. 167.

68 „(...) there are chaotic functions from the reals to the reals that remain so when the function is restricted to the computable reals. Thus chaos does not require the random infinitude of information packed into the expansion of the random irrational numbers.“ Winnie (1992, s. 265).

69 Viz tamtéž, s. 266–268.

70 „This difficulty is based on the fact that the chaotic behavior of a function is well defined on any domain having a certain structure, and is independent of any additional features that might be possessed by a particular set of entities that realize that structure. For example, the particular set of real numbers that constitutes the domain of a chaotic function is unimportant; more generally, chaotic functions need not have numerical domains at all: They need not take numbers to number.“ Tamtéž, s. 271.

Liouvillův teorém tak vylučuje existenci atraktoru dynamického systému. Protože se však nutně nemusí zachovávat také tvar dané oblasti fázového prostoru, zůstává místo pro citlivou závislost na počátečních podmínkách. Chování implikující citlivou závislost na počátečních podmínkách v hamiltonovských systémech ale není označováno jako chaotické, nýbrž jako stochastické.<sup>71</sup>

Protože mnohem realističtější jsou případy, kdy dochází k disipaci energie (klasický případ je tření), budu se nadále věnovat systémům disipativním. V disipativních systémech se objem ve fázovém prostoru v průběhu času smršťuje, a tak kromě citlivé závislosti na počátečních podmínkách tyto systémy umožňují existenci atraktoru disipativního dynamického systému.

## 2.2 CESTA K CHAOSU

Chaotické chování v disipativním dynamickém systému je speciálním případem, který nastává za přesně stanovených okolností. Textů popisujících základní součásti teorie chaosu existuje značné množství. Nebylo by smysluplné podrobně rozebírat to, co jiní učinili velmi názorně,<sup>72</sup> proto se zde omezím jen na hlavní orientační body teorie.

Výchozím pojmem, jenž je třeba vymežit, a doslovně vzato oblastí, kde se chaos uskutečňuje, je dynamický systém. Vývoj systému v čase popisují dynamické rovnice. Pokud je alespoň jedna ze soustav diferenciálních rovnic nelineární, pak se v systému projeví citlivá závislost na počátečních podmínkách. Konkrétní hodnoty regulačních parametrů rovnic určují, jaký typ chování bude systém vykazovat. Pro názornost a jednoduchost zkoumám tento bod na diskrétním případě jednoduché diferenční rovnice.

Disipativní systém je charakteristický existencí atraktoru (stejně jako bází atraktoru – basin of attraction) ve stavovém prostoru. Pro daný druh dynamiky, podle hodnoty Ljapunovova exponentu, nacházíme daný typ atraktoru. Podivný atraktor níže vymežují jako invariant stretch-fold transformace.

71 Srov. Smith (1998a, s. 16). Viz Horák – Krlín – Raidl (2003, s. 16–145).

72 Přehledně pro poučeného laika viz Peitgen – Jürgens – Saupe (1992); pro filozofy viz Smith (1998a), Kellert (1993); pro odborníky viz Devaney (1989), Ott (1993).

Poslední ze základních součástí teorie chaosu je univerzalita. Základní znaky logistického zobrazení jsou univerzální v tom smyslu, že je lze vztáhnout na rozsáhlou oblast případů chaotické dynamiky. Charakteristický tvar bifurkace pro logistické zobrazení například umožňuje vypočítat hodnoty Feigenbaumových konstant chaosu.

## 2.2.1 Dynamický systém

Přidrží se Smithova způsobu vymezení dynamického systému a budu také používat jeho způsob pojmenování jednotlivých skutečností. (které jsou takto obvykle nazývány) Pojmu „dynamický systém“ se používá minimálně ve třech významech. (1) Předně označuje reálný systém, který se s časem mění (jako například pohybující se planety, proudící tekutina, ale třeba také síť neuronů lidského mozku nebo autonomní agenty sociální sítě). (2) Dále označuje systém dynamických rovnic, jež slouží k zachycení časového vývoje různých veličin nějakého reálného systému. (3) Konečně je jako dynamický systém označována také abstraktní matematická struktura (například „tok“ trajektorií skrze fázový prostor). Ta je charakterizována množinou dynamických rovnic. Ačkoliv je četné použití podle Smithe většinou neškodné, v prvním případě je vhodné používat přímo termín „dynamický systém“ a ve druhém případě označení „systém dynamických rovnic“. Abstraktní matematickou strukturu charakterizovanou množinou rovnic označujeme obvykle jako matematický „model“.<sup>73</sup>

Systém dynamických rovnic může mít různou podobu. V našem případě jsou podstatné především soustavy obyčejných diferenciálních rovnic. Takové rovnice slouží k popisu spojitých systémů (například soustava tří diferenciálních rovnic,<sup>74</sup> vyjadřujících Lorenzův silně idealizovaný model reálného systému zemské atmosféry),<sup>75</sup> a dále soustavy diferenčních rovnic, které slouží k popisu diskretních systémů (například diferenční rovnice, jež mohou sloužit jako modely vývoje populací v ekologii).<sup>76</sup> První i druhý systém dynamických rovnic má pro náš další popis cesty k chaosu podstatný význam. V následující

73 Srov. Smith (1998a, s. 6–7).

74 Případně také soustavy parciálních diferenciálních rovnic.

75 Podrobněji o Lorenzově modelu viz Peitgen – Jürgens – Saupe (1992, s. 697–708).

76 Podrobněji o populačních modelech viz tamtéž, s. 42–48.



podkapitole nám k dalšímu kroku poslouží diferenční rovnice vytvářející charakteristické logistické zobrazení.

### 2.2.2 Nelinearita, citlivá závislost na počátečních podmínkách a geneze chaosu

Systém dynamických rovnic v drtivé většině případů vzdoruje přímému analytickému řešení.<sup>77</sup> Numerické řešení, které je v tom případě nasadě, je za předpokladu přítomnosti nelinearity v systému dynamických rovnic doprovázeno citlivou závislostí na počátečních podmínkách. Nelinearita je nutnou, nikoliv však postačující podmínkou chaosu. Jak podotýkají Holtovi: „Každý příklad chaotického chování vzniká v nelineárním systému, ale ne každý nelineární systém bude vykazovat chaos.“<sup>78</sup>

S ohledem na univerzalitu chaosu si můžu dovolit ponechat stranou klasický Lorenzův systém tří diferenciálních rovnic pro spojité zobrazení<sup>79</sup> a věnovat se bez újmy na obecnosti jediné diferenční rovnici pro diskrétní zobrazení. Velmi názorně provádí explikaci citlivé závislosti na počátečních podmínkách Peitgen.<sup>80</sup> Vyjdeme z následující diferenční rovnice:

$$x_{n+1} = x_n r (1 - x_n) \text{ kde } x_i \in [0,1] \text{ a } 0 \leq r \leq 4$$

Iterace této rovnice produkuje řadu čísel, jejichž podoba závisí na volbě hodnoty řídicího parametru  $r$ . Přesné vymezení intervalů se stane jasným po přihlednutí k podkapitole o univerzalitě chaosu. Nyní jen podotýkám, že pro určité hodnoty

77 Problém stojící na počátku tradice kvalitativní analýzy od dob Poincarého. Srov. Galison (2005).

78 „Every example of chaotic behavior arises in a nonlinear system, but not every nonlinear system will exhibit chaos.“ Holt, Holt. (1993, s. 712). Zmínění autoři vymezují také matematický pojem nelineární funkce: „(...) a nonlinear function (...) is a function which contains a variable raised to a power other than one or zero, or a product of two or more variables, or a variable as the argument of a transcendental function (e.g. sine or cosine). An equation containing one or more of such nonlinear terms is then said to be a nonlinear equation, and the system which inspired the equation is called nonlinear as well.“ Tamtéž, s. 712–713.

79 Viz Lorenz (1963), viz Gleick (1996, s. 324).

80 Srov. Peitgen – Jürgens – Saupe (1992, s. 49–59).

parametru  $r$ , bez ohledu na hodnotu zvoleného  $x_i$ , směřuje řada čísel k jediné opakující se výsledné hodnotě  $x_{n+1}$  nebo k různě složitě, ale nakonec vždy periodické sekvenci hodnot  $x_{n+1}$ .

Nelinearita se stane zjevnou tehdy, když provádíme iteraci graficky. V našem případě je nelinearita dána kvadratickou funkcí (parabola se zápornou hodnotou koeficientu  $a$ ). Pokud směřuje k jedné hodnotě nebo k periodické sekvenci hodnot, pak sledujeme stabilní režim chování systému. V těchto případech se citlivá závislost na počátečních podmínkách neprojevuje, jak už jsem poznamenal, bez ohledu na hodnotu zvoleného  $x_i$ ; výsledná hodnota vždy závisí pouze na hodnotě parametru  $r$ . Při jiných hodnotách parametru  $r$  (například pro  $r = 4$ ) se ovšem situace dramaticky liší. Pro libovolně zvolené  $x_i$ <sup>81</sup> se sekvence hodnot získávaných iterací stane aperiodickou, sledujeme nestabilní režim chování systému – chaos. Výsledky získané iterací nesměřují k žádné ustálené podobě, můžou nabývat hodnot z celého rozmezí intervalu  $[0,1]$ .<sup>82</sup> Citlivá závislost na počátečních podmínkách se stane zjevnou, když porovnáme dvě sekvence hodnot vzniklé iterací ze dvou mírně odlišných počátečních hodnot  $x_i$ . Mírná odchylka s postupujícím iterováním neustále narůstá, až dosáhne řádu iterovaných hodnot samotných. Po konečném počtu iterací se stanou obě sekvence naprosto odlišnými, ačkoliv stále nabývají pouze hodnot z intervalu  $[0,1]$ . Důsledky citlivé závislosti na počátečních podmínkách ještě podrobím důkladnému zhodnocení níže, přesto předesílám, že právě lokální nestabilita (nemožnost určit  $n$ -tou hodnotu iterace vzhledem k citlivé závislosti na počátečních podmínkách) ve spojení s globální stabilitou (jistota, že jakákoliv hodnota se bude vždy nacházet v intervalu  $[0,1]$ ) se stala východiskem celé řady úvah o míře kvantitativní a kvalitativní predikce, kterou může teorie chaosu garantovat. Jak podotýká Parker, v případě chaosu jsou vyžadována velmi přesná počáteční data k určení chování v konečném čase.<sup>83</sup>

Jak vyplývá z bližšího zkoumání citlivé závislosti na počátečních podmínkách, je hlavní kvantitativní charakteristikou, rozhodující o stabilním nebo nestabilním

81 S výjimkou pevných bodů (fixed points).

82 Samozřejmě opět s výjimkou pevných bodů.

83 Srov. Parker (2003, s. 361).

režimu chování systému, Ljapunovův exponent  $\lambda$ . Exponent kvantifikuje průměrný růst infinitesimálně malých chyb v určení počátečních podmínek. Tento faktor nárůstu chyb je přitom v podstatě nezávislý na velikosti chyby. Hodnota Ljapunovova exponentu tak umožňuje určit, zda lze očekávat stabilní nebo nestabilní chování systému. Ljapunovův exponent je velmi silný prostředek k odlišení nestabilního, chaotického chování od chování, které je stabilní a predikovatelné. Čím větší je hodnota Ljapunovova exponentu než nula ( $\lambda > 0$ ), tím citlivější je závislost na počátečních podmínkách.<sup>84</sup> Pokud je hodnota exponentu záporná, je chování systému stabilní. Konkrétní způsoby zjišťování hodnoty Ljapunovova exponentu ještě níže zkoumám v souvislosti s konstrukcí modelů v teorii chaosu.

Jestliže hovoříme o genezi chaosu v systému dynamických rovnic s nelinearitou, pak poukážeme na další důležitý rys teorie chaosu – deterministické rovnice mohou za speciálních podmínek (viz hodnota parametru  $r$ ) produkovat chování, které je neodlišitelné od náhodného. Právě zde se přibližujeme nejvíce k ospravedlnění názvu deterministický chaos.<sup>85</sup>

### 2.2.3 Atraktor ve fázovém prostoru

Už v předchozí podkapitole se objevil atraktor v podobě bodů, respektive intervalů, k nimž spěje sekvence hodnot získaných iterací diferenční rovnice. Atraktor tak už zde vystupoval jako oblast přitažlivosti vývoje systému. Smith definuje atraktory takto: „Takové ohraničené množiny bodů ve fázovém prostoru, u nichž trajektorie začínající v jejich sousedství k nim konvergují.“<sup>86</sup> V situacích, kdy je krátkodobé chování systému vlivem citlivé závislosti na počátečních podmínkách nepředvídatelné, je tak pro nás atraktor zdrojem informací o dlouhodobém chování systému.

Nejjednoduššími atraktory jsou bod (point attractor) a cyklus (limit cycle attractor), to jsou také jediné atraktory, které se mohou nacházet v  $\mathbf{R}^2$ .<sup>87</sup> Tyto

84 Srov. Peitgen – Jürgens – Saupe (1992, s. 516–518).

85 Výjimkou samozřejmě nejsou ani situace, kdy „náhoda“ produkuje „řád“. Srov. Peitgen – Jürgens – Saupe (1992, s. 35–36).

86 „Bounded sets of points in phase space such that trajectories starting in their neighbourhood converge towards them.“ Smith (1998a, s. 8).

87 „A nice topological result, Poincaré-Bendixson theorem, shows that, since trajectories can't cross, fixed points and cycles are the only kinds of attractors occur in  $\mathbf{R}^2$  – which esta-

jednoduché atraktory však indikují stabilní chování systému, chceme-li proniknout k popisu nestabilního chování, jsou pro naše další zkoumání podstatně podivné atraktory (strange attractor), a proto se přesuneme do  $\mathbf{R}^3$  (jakkoliv už víme, že podivný atraktor není nutnou ani postačující podmínkou chaosu). Nejznámějším podivným atraktorem, který se vyskytuje už v  $\mathbf{R}^3$ , je Lorenzův atraktor.<sup>88</sup> Lorenzův atraktor můžeme popsat následovně: trajektorie se otáčí kolem centra jednoho ramene (křídla) Lorenzova atraktoru s tím, že spirála se postupně vzdaluje od centra. Až se dostane trajektorie dostatečně daleko od centra, je z této spirály uvolněna a přitažena do druhého ramene (křídla) atraktoru, kolem něhož se opět ve spirále otáčí, dokud není přitažena k původnímu ramenu atd. Počet otáček, které trajektorie učiní kolem jednoho křídla, než skočí k druhému, není pevný a zdá se být nepravidelným.<sup>89</sup>

Podivné atraktory jsou charakteristické fraktální dimenzí (Lorenzův atraktor má box-counting dimenzi přibližně 2,07).<sup>90</sup> Povahu podivného atraktoru jako fraktálního invariantu chaotické dynamiky nejlépe vynikne prostřednictvím stretch-fold transformace trajektorií ve fázovém prostoru. Konkrétně provádíme natahování (stretch) a ohybání (fold) oblasti fázového prostoru, která obsahuje atraktor. Při natažení se trajektorie od sebe vzdálí a při ohnutí se opět dosáhne původního tvaru transformované oblasti. Atraktor je invariantem této transformace, tj. ačkoliv se vzájemná poloha trajektorií mění, podoba atraktoru zůstává zachována.<sup>91</sup>

Zdánlivě pouze formální popis podivného atraktoru a stretch-fold transformace s sebou přináší dva zajímavé důsledky. Nekonečná složitost podivného atraktoru může být odvozena z jednoduché stretch-fold transformace.<sup>92</sup> Druhý důsledek je ještě zajímavější, jestliže totiž používáme tuto transformaci pro popis dynamického systému, pak se dopouštíme idealizace, která pokládá nekonečnou složitost atraktoru s fraktální dimenzí za rys popisovaného reálného

---

blishes that the long-term behaviour of a deterministic model which inhabits  $\mathbf{R}$  or  $\mathbf{R}^2$  is very simple indeed.“ Tamtéž, s. 8. Ovšem i v  $\mathbf{R}$  a  $\mathbf{R}^2$  může existovat chaos, viz Andres – Fürst – Pastor (2007), Andres – Fürst – Pastor (2009).

88 Pokud bychom uvažovali o diskrétním systému, pak můžeme získat podivný atraktor (například Hénonův) už ve dvou dimenzích, viz Peitgen – Jürgens – Saupe (1992, s. 659–663).

89 Srov. Smith (1998a, s. 11).

90 Srov. tamtéž, s. 38.

91 Srov. tamtéž, s. 46.

92 Srov. tamtéž, s. 46.

dynamického systému. Smith správně rozlišuje použití fraktálů pro popis přírodních tvarů a jejich použití pro popis atraktorů.<sup>93</sup> Charakterizování této nové podoby idealizace ještě níže provedu.

### 2.2.4 Univerzalita chaosu

Poslední z neopominutelných součástí chaosu je univerzalita. Konkrétně to, že jisté klíčové rysy logistického zobrazení jsou ve skutečnosti univerzálními rysy, které se uplatňují napříč rozsáhlou třídou dynamických systémů.<sup>94</sup> Diskrétní jednodimenzionální logistické zobrazení může sloužit k popisu vícedimenzionální spojité dynamiky. Zdánlivě prosté tvrzení umožňuje používat scénář zdvojování periody (period-doubling) vedoucí k chaosu, odvozený z logistického zobrazení, v celé řadě dalších případů.<sup>95</sup>

Schématická bifurkační struktura umožňuje vyjádřit hodnoty dvou Feigenbaumových konstant, které jsou zhuštěným vyjádřením univerzality. Intervaly mezi hodnotami regulačního parametru, jež odpovídají dvěma sousedním bifurkacím, tvoří klesající geometrickou řadu. Podíl dvou sousedních intervalů vede limitně k první Feigenbaumově konstantě  $\delta$ .<sup>96</sup>

Nástupu chaotického režimu odpovídá Feigenbaumův bod (pro hodnotu regulačního parametru přibližně 3,57). Pro tento bod je konečným stavem iterátoru nekonečně dlouhá neperiodická orbita na Cantorově množině, která se přibližuje libovolně blízko ke každému bodu Cantorovy množiny. Peitgen charakterizuje tuto situaci jako první příznak chaosu (vstup do chaosu).<sup>97</sup> Pásmo zdvojování periody, vyjadřující stabilní chování, je vystřídáno pásmem chaosu, vyjadřujícím nestabilní chování.

Situace ale není takto jednoznačná, neboť i v pásmu chaosu za Feigenbaumovým bodem je pro určité intervaly hodnot regulačního parametru nestabilní chování opět nahrazeno stabilním. Chaos je přerušován okny řádu (windows of

93 „When describing the coastline or the fern, we argued that a non-fractal will do just as well: by contrast, if we are to preserve the simple stretching and folding of the dynamics, then we will have to live with the concomitant fractals as the attractors.“ Tamtéž, s. 50.

94 Srov. tamtéž, s. 100.

95 Například proces bifurkace v Lorenzově systému, viz tamtéž, s. 62–66.

96 Obdobně lze vyjádřit druhou Feigenbaumovu konstantu  $\alpha$ .

97 Srov. Peitgen – Jürgens – Saupe (1992, s. 624).

order), v nichž konečný stav opět kolabuje do několika málo bodů, které korespondují s přitažlivými periodickými orbitami. Těchto oken řádu je nekonečné množství, přičemž všechna korespondují s nějakým stabilním periodickým cyklem.<sup>98</sup>

Na hranici nejvýznačnějšího okna řádu (period three window) se projevuje další zajímavé univerzální chování chaotické dynamiky, které není z bifurkační struktury přímo patrné. Jedná se o intermitenci (intermittency) – střídavý chaos.<sup>99</sup> Pro parametr o hodnotě  $r = w_3 = 1 + \sqrt{8}$  nastává naprosto stabilní chování periody 3. Ale drobné zmenšení regulačního parametru znamená okamžitý pád do chaosu. Tento chaos je ale patrný až při sledování dlouhodobého chování systému. Krátkodobé chování nesprávně sugeruje stabilní periodické orbity. Intermitence tak představuje chování, při němž jsou fáze „stability“, někdy také nazývané jako laminární fáze (laminar phases), střídány s nepravidelným a chaotickým chováním.<sup>100</sup>

Kromě intermitence existuje také další typ chování, které souvisí s drobnou změnou regulačního parametru. Toto chování je označováno jako krize (crisis). Pokud drobně (v řádu tisícín) zvětšíme regulační parametr  $r > 4$ , může hodnota  $\mathcal{X}_{n+1}$  opustit vymezený interval  $\mathcal{X}_i \in [0, 1]$ . Po dlouhou dobu se nám tak může zdát, že je chování chaotické (ve shodě s hodnotou blízkou  $r = 4$ ), ačkoliv nakonec  $\mathcal{X}_{n+1}$  opustí zmíněný interval. Orbity tohoto typu se nazývají chaotické přechodové jevy (chaotic transients). Chaos, který přestal existovat pro tuto hodnotu parametru, stále vrhá na orbitu stín. Pouze v dlouhodobé perspektivě tento fantom vymizí. Ovšem počet iterací, jež jsou k tomu potřeba, závisí na volbě počátečních podmínek a stejně tak i na tom, jak blízka je hodnota regulačního parametru hodnotě 4.<sup>101</sup>

Univerzalita chaosu, doplněná o intermitenci a krizi, představuje završení mého stručného přehledu teorie chaosu. Kapitola 2 tak vystihuje základy teorie chaosu s poukazem na některá filozoficky zajímavá místa, která budou v dalších kapitolách analyzována.

98 Srov. tamtéž, s. 635–636.

99 Znáмым příkladem intermitence je Bělousovova-Žabotinského reakce, viz Smith (1998, s. 111).

100 Srov. Peitgen – Jürgens – Saupe (1992, s. 640–644).

101 Srov. tamtéž, s. 647–648.

## 3 Filozofická reflexe teorie chaosu

Stephen Kellert vytvořil dílo představující první ucelenou filozofickou reflexi teorie chaosu. K hlavním pozitivům jeho textu *In the Wake of Chaos* patří především pevná opora o odborné základy, vytvoření vlastní epistemologie chaosu, snaha o zapojení teorie chaosu do širšího kontextu vědy (hlavně fyziky) a úvahy o sociologii vědy. Naším úkolem je zhodnotit tři okruhy důsledků Kellertových úvah. Otázkou transcendentální nemožnosti (transcendental impossibility), povahu determinismu v teorii chaosu a současné vědě a především samotnou Kellertem budovanou epistemologii chaosu.

Třetí z těchto hodnocení je nejdůležitější pro můj hlavní cíl, rozvíjený v dalších podkapitolách. Právě vůči tomuto hodnocení se vymezuje Peter Smith, a tak můžeme sledovat nejdůležitější spory, které se epistemologie chaosu týkají. Smithova kniha *Explaining Chaos* je sice výrazně stručnější ve svých filozofických hodnoceních, ale zato jsou tato hodnocení přímočařejší a více reflektují samotnou praxi teorie chaosu.

### 3.1 TRANSCENDENTÁLNÍ NEMOŽNOST (TRANSCENDENTAL IMPOSSIBILITY)

Kellert zkoumá, jaké limity vědeckého poznání implikuje teorie chaosu. Konkrétně, jaký druh omezení představuje citlivá závislost na počátečních podmínkách.<sup>102</sup> Ukazuje, že toto omezení se týká predikce, které jsme schopni dosáhnout, a proto se zabývá problémem prediktivní beznadějnosti (predictive hopelessness).

V souladu s Popperovým principem odpovědnosti (principle of accountability) Kellert prohlašuje, že jestliže je dán stupeň přesnosti, s nímž chceme provádět predikce, musíme být schopni specifikovat stupeň přesnosti, v němž musí být určeny počáteční podmínky.<sup>103</sup> Z toho, co víme o citlivé závislosti na počátečních podmínkách, můžeme lehce vyvodit, že vzhledem k exponenciálnímu nárůstu chyby se pro konečný (a obecně i velmi malý) časový interval

102 Srov. Kellert (1993, s. 29).

103 Srov. Popper (1982, s. 12), viz tamtéž, s. 32.

stává požadovaná přesnost nedosažitelnou, neboť s takovouto přesností nejsme schopni pomoci jakýchkoliv přístrojů počáteční podmínky určit.

V souladu s Ljapunovovým exponentem, s časem exponenciálně roste neurčitost daná v našich počátečních podmínkách, proto by pro některé chaotické systémy užitečná předpověď vyžadovala specifikaci počátečních podmínek s přesností, která není dosažitelná.<sup>104</sup> Prediktivní omezení definuje na základě toho Kellert následovně: „(...) chaotické systémy vyžadují pro úspěšné předpovědi nedosažitelnou přesnost.“<sup>105</sup>

Kellert samozřejmě nemá na mysli predikci obecně, pouze kvantitativní predikci, která je takto znemožněna. Takovéto vymezení mu ovšem otevírá prostor k úvahám nad povahou této nemožnosti.

Domnívá se, že je možné vymezit tři podoby nemožnosti: (1) logickou nemožnost, (2) teoretickou nemožnost a (3) praktickou nemožnost. Logická nemožnost podle Kellerta v tomto případě nepřipadá v úvahu, neboť by v teorii chaosu předpokládala přítomnost kontradikce. Obdobně se zdá, že ani teoretická nemožnost by neměla být tou pravou, ta by zase předpokládala porušení nějakého přírodního zákona (nebo chceme-li principu). A teorie chaosu nezavádí změny v přírodních zákonech. Z tohoto důvodu podle Kellerta většina autorů pokládá nemožnost obsaženou v teorii chaosu za nemožnost praktickou. Přičemž tato praktická nemožnost se vyskytuje při řešení úkolů, jejichž úspěšné splnění by vyžadovalo větší množství poznatků, než je lidským bytostem dostupné.<sup>106</sup>

Nicméně potíží s tímto vymezením nastane, když si uvědomíme, že pak nelze označit tuto nemožnost za principiální. To vyznívá tak, jako by bylo možné někdy v budoucnu tuto nemožnost odstranit. Je ovšem možné označit například nemožnost předpovídat počasí v horizontu jednoho měsíce za nemožnost pouze praktickou, pokud víme, že přesnější vymezení počátečních podmínek není dosažitelné? a i kdyby bylo dosažitelné, stejně vzhledem k exponenciálnímu nárůstu chyby vždy nutně po určité době naše predikce zkolabuje. Tyto úvahy samozřejmě souvisí s otázkou nových podob idealizace ve vědě (2.3.4).

104 Srov. Kellert (1993, s. 35).

105 „(...) chaotic systems require impossible accuracy for useful prediction tasks.“ Tamtéž, s. 35.

106 Srov. tamtéž, s. 37.



Pro Kellerta je proto nedostatečné označovat nemožnost obsaženou v teorii chaosu jako pouze praktickou. Snaží se dokázat, že omezení, které má na mysli, je stejně tak záležitostí teoretické, jako i praktické nemožnosti. To ústí do potřeby nově zformulovat typy nemožnosti uvedené výše.<sup>107</sup> Kellert si je vědom toho, že ačkoliv se nám může zdát být stupeň přesnosti určení počátečních podmínek z dnešního hlediska nedosažitelný, přesto si můžeme představit vysoce pokročilou lidskou nebo jinou inteligenci, která by byla schopná měřit a počítat s přesností dalece přesahující naše vlastní možnosti.<sup>108</sup>

Ve snaze odpovědět na tento argument Kellert přichází (podle mého rozboru) se třemi vlastními argumenty směřujícími k zavedení transcendentální nemožnosti. (1) Podle Kellerta je diskutabilní, zda si můžeme představit takovou superinteligenci bez porušení některých fyzikálních zákonů.<sup>109</sup> Bohužel ale tento argument dále nerozpracovává. (2) Můžeme si představit, že dosažení dané přesnosti by vyžadovalo více energie, než kolik je schopen poskytnout vesmír. Ani tento argument Kellert dále nerozpracovává. (3) Můžeme odůvodněně předpokládat, že naše schopnosti jakožto konečných bytostí jsou také konečné. „Konečná bytost může dokončit pouze konečné úkoly. Ačkoliv může být pravda, že každý prediktivní úkol by mohla dokončit nějaká představitelná, supermocná, přesto konečná bytost, je také pravda, že pro každou konečně mocnou bytost existuje nějaký specifikovatelný prediktivní úkol, který nemůže vykonat.“<sup>110</sup>

Tento třetí argument je pro Kellerta rozhodující. V něm je podle něj obsažena podstata odlišnosti transcendentální a praktické nemožnosti. Neboť to, co činí některé predikce nemožnými, je určitá naše podstatná vlastnost: jsme konečné bytosti obývající určitý fyzikální svět. Nejsme jen bytosti

107 Srov. tamtéž, s. 37. Kellert si pomáhá následujícím příkladem: „If I ask a question far enough in the future (e.g. „where on the Atlantic coast will the first hurricane of the year 2093 strike?“), a successful prediction could require astronomical accuracy – perhaps more bits of information specifying initial condition than there are electrons in our entire galaxy. Now, is our inability to achieve this accuracy a practical limitation?“ Tamtéž, s. 38.

108 Srov. tamtéž, s. 39.

109 Zde se jistě okamžitě evokuje obdobná snaha v termodynamice, formulovaná v myšlenkovém experimentu Maxwellova démona.

110 „A finite being can accomplish only finite tasks. While it may be true that for any prediction task, some imaginable superpowerful-yet-finite beings could accomplish it, it is also true that for any finitely powerful being there is some specifiable prediction task that it cannot perform.“ Kellert (1993, s. 40).

vybavené omezenými zdroji pro současnou situaci. Čili vývoj některých systémů je nepředpověditelný, a to principiálně, protože naše neschopnost činit určité výpočty není omezením, které bychom mohli překonat.<sup>111</sup>

Teorie chaosu tak ukazuje, jaký vliv má náš kognitivní potenciál – naše konečnost má reálný dopad na naši vědeckou činnost. Nutnost používat statistické metody (recourse to statistical methods) nám tak není vnucena matematickou logikou, ale souhrou matematiky a té skutečnosti, že nemůžeme být tak přesní, jak bychom chtěli.<sup>112</sup>

Na základě toho zavádí Kellert třetí kategorii nemožnosti – transcendentální.<sup>113</sup> „Transcendentální nemožnost by se uplatnila v takových úkolech, kde by byl úspěch nekonzistentní s nenáhodnými skutečnostmi lidského zkoumání; je transcendentálně nemožné dosáhnout některých dlouhodobých predikcí pro chaotické systémy. Transcendentální nemožnost má platnost pro všechna uspořádání lidských schopností, která si podržují takové nenáhodné znaky lidského zkoumání jako: bytost realizovaná konečným fyzikálním organismem, bytost vyjadřující se v jazyce a bytost motivovaná zájmy a hodnotami.“<sup>114</sup>

Transcendentální nemožnost je velmi lákavým vyjádřením hranic poznání (ve smyslu určitého druhu predikce), které lze užít v teorii chaosu. Kellert sám ovšem poznamenává, že se nemusí jednat pouze o teorii chaosu.<sup>115</sup> Nemožnost zůstává takto principiální, s ohledem na naše dispozice, ale přesto neimplikuje porušení přírodního zákona ani zavedení indeterminismu. Pokud použijeme myšlenkový experiment laplaceovského démona, pak stále můžeme tvrdit, že takováto superintelligence by byla schopná neomezených predikcí. Zároveň by tato bytost musela být vybavena aktuálně nekonečnou pamětí.<sup>116</sup>

111 Srov. Kellert (1993, s. 41).

112 Viz tamtéž, s. 42.

113 Kellert přímo odkazuje na použití pojmu transcendentální ve smyslu, jaký mu dal Kant. Srov. tamtéž, s. 42.

114 „Transcendental impossibility would apply to those tasks where success would be inconsistent with nonaccidental facts about human inquiry; it is transcendentally impossible to accomplish some long-term prediction tasks for chaotic systems. Transcendental impossibility holds for all configurations of human abilities that retain such nonaccidental features of human inquiry as the following: being conducted by finite physical organisms, being expressed in language, and being motivated by interests and values.“ Tamtéž, s. 42.

115 Tamtéž, s. 42.

116 Obdobně viz Prigogine – Stengersová (2001, s. 84-86, 249), Turing (1936).

Laplaceovské otázky dostávají naše zkoumání do kontextu úvah nad omezenou racionalitou, zároveň ale naznačují, že ve skutečnosti možná nemusíme uvažovat o dalekosáhlých změnách v pojetí vědeckého poznání, pouze o zjemnění a ohraničení určitých ambic, které si nárokovala tradiční racionalita. V tomto smyslu lze také vnímat argumentaci Petera Smithe.

Toto hodnocení mě přivádí k několika kritickým poznámkám ke Kellertově pojetí transcendentální nemožnosti. (1) Jak už jsem výše naznačil, podobná transcendentální nemožnost je spjata zřejmě i s jinými oblastmi vědy (nabízí se termodynamika), není primárně spojena pouze s teorií chaosu. (2) Pokud toto zjištění domyslíme, pak se může ukázat pojetí příliš metaforické. Odvolání se na problém konečnosti naší racionality je přítomno v mnoha kontextech zkoumání a v podstatě se jedná o tradiční filozofický problém. (3) Konečně je také otázkou, zda nás takové úvahy neuvádějí do určitého druhu metafyziky. Na čem zakládáme soud o ohraničenosti naší racionality či o konečnosti naší paměti, která může být navíc ještě konfrontována nekonečnou komplexitou reality?<sup>117</sup> Myslím si, že by to znamenalo podlehnout nové podobě idealizace, jež pojímá nekonečnou složitost jako normu a standard.

### 3.2 CHAOS A DETERMINISMUS

Kellertovy ambice přesahují samotnou půdu teorie chaosu. Snaží se ukázat, jak teorie chaosu v kombinaci s kvantovou mechanikou proměňuje pojem determinismu ve vědě. Vyjadřuje přesvědčení, že teorie chaosu neznamená pouze omezení predikovatelnosti v určitých systémech, ale zároveň při kombinaci s kvantově mechanickými úvahami povede dokonce ke zpochybnění samotné doktríny o determinismu.<sup>118</sup>

Protože se jedná o podle mého soudu velmi problematickou snahu, uvedu už na začátku své námítky. (1) Doktrína determinismu je podle mě spjata s metafyzikou. Má sice smysl hovořit o deterministických zákonech a srovnávat je se zákony statistickými, a stejně tak je jasné, že nemůžeme budovat vědu tam,

117 Srov. Freeman (1999).

118 Srov. Kellert (1993, s. 50).

kde by se objevené pravidelnosti mohly libovolně měnit. Nicméně prokázat platnost doktríny determinismu nemůžeme.<sup>119</sup>

Pro ujasnění je vhodné uvést použití pojmu determinismus v teorii chaosu. Smith ukazuje, jak deterministické pravidlo vede k chaosu. Diferenční rovnice pro určitou hodnotu parametru produkuje sekvenci hodnot, která je nerozlišitelná od náhodné (randomness) sekvence.<sup>120</sup> Peitgen ukazuje statistické pravidlo vedoucí k řádu: postup, řízený náhodnou sekvencí čísel, produkuje výsledek, který je naprosto pravidelný a stálý, s jasně vymezeným tvarem.<sup>121</sup>

(2) Domnívám se, že spojování teorie chaosu a kvantové mechaniky, tak jak to provádí Kellert, je ad hoc a postrádá opodstatnění, neboť se neprojevuje ve vědecké praxi. Jedná se čistě o spekulaci. Navíc Kellert neuvádí skutečné problémy spojení teorie chaosu a kvantové mechaniky, o nichž hovořím v úvodu.

Jak Kellert postupuje? Předně vymezuje základní znaky determinismu: (1) Diferenciální dynamika – diferenciální rovnice jsou dostatečné pro popis systému. (2) Jednoznačný vývoj – vývoj systému je jednoznačně určen, jakmile specifikujeme stav systému v určitém okamžiku. (3) Hodnotová determinovanost – všechny vlastnosti systému mají dobře definovanou reálnou hodnotu. (4) Úplná předpověditelnost – chování systému je principiálně předpověditelné.<sup>122</sup> Následně ukazuje: (4) (jak jsme viděli) je neslučitelná s teorií chaosu, (3) je neslučitelná s kvantovou mechanikou a spojení kvantové mechaniky a teorie chaosu vylučuje také (2). Čili jediné, co zůstává, je (1) jako základ pro lokální determinismus (local determinism).

Podle Kellerta nás teorie chaosu seznamuje s příklady systémů, které jsou popsány diferenciálními rovnicemi, vykazují jednoznačný vývoj, mají jasně determinované hodnoty, a přesto není jejich chování předpověditelné.<sup>123</sup> Teorie chaosu, jak jsme již výše viděli, neumožňuje určité druhy předpovědi (narušení (4)). Kvantová mechanika podle Kellerta vylučuje přesné určení hodnot veličin (narušení (3)).<sup>124</sup>

119 Vyrovnat se s Russelovou tezí o determinismu se pokouší Schlesinger (1987, s. 339- 346).

120 Srov. Smith (1998a, s. 147-164).

121 Srov. Peitgen – Jürgens – Saupe (1992, s. 34-36). O vymezení deterministických a statistických zákonů, případně zákonů, které nespádají ani do jedné z těchto kategorií, se snaží Sudbary (1976, s. 307- 315).

122 Srov. Kellert (1993, s. 50).

123 Srov. tamtéž, s. 62.

124 Kellert pro to uvádí Redheadův argument, který se opírá o měření Bellových nerovností a Kochenův-Speckerův paradox. Srov. tamtéž, s. 68.

Vlastní Kellertův přínos má spočívat v kombinaci vlivu teorie chaosu a kvantové mechaniky. Kellertův argument je následující: (P<sub>1</sub>) Kvantová mechanika tvrdí, že systému tvořenému jedinou částicí nemůže být přiřknut bodový stav ve stavovém prostoru: celek fyzikální informace dostačuje pouze k tomu identifikovat jej s ploškou konečného rozsahu se stanovenou dolní mezí její velikosti. (P<sub>2</sub>) Teorie chaosu říká, že dva v jiných ohledech identické chaotické systémy s nepatrně odlišnými počátečními podmínkami budou nakonec podléhat značné divergenci bez ohledu na to, jak malý je počáteční rozdíl. (Z) Dva fyzikálně identické chaotické systémy s identickými okrajovými podmínkami a zákony, tvořené jedinou částicí, která je v čase  $t_0$  v obou systémech v totožném fyzikálním stavu, mohou být v odlišných stavech v čase  $t > t_0$ . Čili, determinismus ve smyslu jednoznačnosti vývoje pozbývá platnosti.<sup>125</sup>

Kellert se zamýšlí nad tím, zda zbývající charakteristika (1) nějak smysluplně zaručuje determinismus. Jestliže mezi fyziky převládá snaha používat nestochastických diferenciálních rovnic za účelem porozumění fyzikálnímu pojetí změny, pak výsledkem může být pouze nacházení lokálních spojení mezi událostmi. Není možné zkoumat globální jednoznačný vývoj systému. Tato podoba determinismu, kterou Kellert nazývá lokálním determinismem (local determinism), je vším, co potřebujeme k povzbuzení pokračujícího pokroku matematické fyziky.<sup>126</sup>

Jak jsem již naznačil, s Kellertovými názory se v tomto ohledu nemůžu ztotožnit. i kdybych chápal úvahy o determinismu jako legitimní součást filozofie vědy, způsob spojování teorie chaosu a kvantové mechaniky považuji za nefunkční.

(1) Kvantová mechanika je vnímána jako fundamentální teorie mikrosvětla, zatímco teorii chaosu lze chápat jako speciální oblast klasické mechaniky. Obě teorie používají odlišné pojmosloví, které v mnoha ohledech nelze vzájemně

125 „(P<sub>1</sub>) Quantum mechanics says a one-particle system cannot be said to have a pointlike state in state space: the totality of physical information about it suffices only to identify it as a patch of finite area with a lower bound on its size. (P<sub>2</sub>) Chaos theory says that two otherwise identical chaotic systems with slightly different initial conditions will eventually diverge greatly, no matter how small the initial difference. (Z) Two physically identical chaotic systems with identical boundary conditions and laws and with their one particle in the same physical state at  $t_0$  can be in different states  $t > t_0$ . That is, determinism as uniqueness of evolution fails to hold.“ Tamtéž, s. 71.

126 Srov. tamtéž, s. 75.

použit. Například pojem trajektorie je v rámci kvantové mechaniky velmi problematický.<sup>127</sup> Jak jsme viděli v první kapitole, dodnes neexistuje mezi odborníky shoda v tom, jak by tyto dvě oblasti měly vzájemně souviset. Domnívám se, že je vhodné vnímat tyto teorie jako dvě odlišné množiny modelů, které jsou použitelné na odlišné oblasti výzkumu.

(2) Kellertův argument je ryze spekulativní, není propojen s žádným konkrétním příkladem, aby jej podepřel. Kellert ani nenabízí prostředky k testování tohoto argumentu. Nechci tvrdit, že tyto oblasti nelze propojit, to nemohu rozhodnout. Pouze se ohrazuji proti jednoduchému spojení důsledků bez zásadnější úvahy nad odlišnou povahou obou teorií.

(3) Shledávám závěr (Z) problematickým. To si uvědomuje sám Kellert, proto se pokouší o jeho interpretaci.<sup>128</sup> Na jednu stranu se nám snaží tvrdit, že dva identické systémy mohou podléhat odlišnému vývoji, ale na straně druhé vidíme identičnost jako pouze zdánlivou, neboť rozdílný vývoj je dán divergencí drobných odlišností (teorie chaosu). Ty ovšem principiálně nejsme schopni odlišit (kvantová mechanika). Domnívám se, že buď (a) jsou oba systémy odlišné a tudíž se budou odlišně vyvíjet, nebo, (b) pokud jsou systémy identické, pak budou mít stejný vývoj. Každopádně v obou případech jednoznačnost vývoje zůstává zachována.

Nejsem si jist, zda je jednoznačnost vývoje prvek doktríny determinismu, jež můžeme vynechat, aniž by se stal metafyzický pojem determinismu prázdným. Na druhou stranu, jestliže se oprostíme od metafyzického předsudku a budeme používat pojem determinismu metodologicky ve spojitosti s určitým druhem matematického popisu, pak můžeme najít případy, kdy jednoznačnost vývoje v deterministických systémech skutečně přestává platit. Oblast nejednoznačné analýzy, nacházející uplatnění při popisu dynamických systémů v biologii a některých sociálních vědách, je toho příkladem.<sup>129</sup> Můžeme tak zůstat v oblasti teorie dynamických systémů a porušit jednoznačnost vývoje, aniž bychom potřebovali exkurz do kvantové mechaniky.

127 Známa je Prigoginova snaha o propojení teorie dynamických systémů a kvantové mechaniky, viz Prigogine – Stengersová (2001, s. 240-267).

128 Viz Kellert (1993, s. 72-75).

129 Andres – Fürst – Pastor (2009).

### 3.3 EPISTEMOLOGIE CHAOSU

Kellertovou snahou, která proniká celé jeho dílo, není pouze popis změny filozofie vědy perspektivou chaosu. Kellert se snaží ukázat, nakolik můžeme inspirování teorií chaosu racionalizovat výzvy představované postmoderním filozofickým mainstreamem. Jestliže tento přístup poukazuje na to, že věda by měla být více holistická, decentralizovaná, dialogická, pak Kellert tyto pojmy přetváří do podoby přijatelné i mimo tento rozvolněný diskurz. Když hovoří o metodách: modelování, holismu, experimentalismu a diachronii, pak je potřeba mít toto zajímavé napětí v Kellertově záměru stále na paměti.

Kellert své původní pojetí změn porozumění ve vědě skrze perspektivu chaosu vyjadřuje souhrně takto: „(...) teorie chaosu poskytuje porozumění objevování se nepředpověditelného chování konstruováním modelů, které odhalují řád.“<sup>130</sup> Okamžitá otázka kritika se zaměřuje na důvod, proč používat primárně pojmu porozumění (understanding) a ne pojmu vysvětlení (explanation). Porozumění vymezuje Kellert velmi obecně: „(...) neznamená nic více než to, že nám pomáhá promýšlet a odpovídat na některé aspekty světa zajímavými nebo užitečnými způsoby.“<sup>131</sup> Kellert chce vyjít od takto volně vymezeného pojetí a postupně specifikovat jeho konkrétní náplň.

Nicméně Kellert si je vědom toho, že pro vhled do problému vědeckého porozumění je vhodné vycházet od pojmu vědeckého vysvětlení. V tomto ohledu se odvolává na Wesley Salmona a Philipa Kitchera. Ti jsou přesvědčeni, že filozofické pojetí vědeckého vysvětlení poskytuje vhled do podstaty filozofického pojetí vědeckého porozumění.<sup>132</sup> Kellertovi zřejmě připadá pojem porozumění měkčí než pojem vysvětlení. Zatímco první z nich chápe teorii chaosu jako zkoumání, jež umožňuje porozumět, jak povstává chaotické chování, jak porozumět vzorům, které můžeme pozorovat (atd.); tak druhý vysvětluje, proč nastává daný jev, fakt nebo událost.<sup>133</sup> Pro mne jde pouze o hru se slovy, jichž

130 „(...) chaos theory provides an understanding of the appearance of unpredictable behavior by constructing models which reveal order.“ Kellert (1993, s. 79).

131 „(...) to mean nothing much more than that it helps us to think about and respond to some aspects of the world in interesting or useful ways.“ Tamtéž, s. 80.

132 Srov. tamtéž, s. 80.

133 Srov. tamtéž, s. 81.

by bylo možné užít i obráceným způsobem. V Kellertově zkoumání se stejně ukazuje, že vysvětlení je pro vědecké zkoumání klíčové a jeho nahrazování pojmem porozumění je pouze zaváděním určitého obecného označení způsobu dosahování vysvětlení v teorii chaosu.

V současnosti je již Kellert posunut do oblasti, v níž teorii chaosu chápe spíše jako zdroj zajímavých výpůjček pro celou řadu věd a mnohem více inklinuje k metaforickému užití této teorie.<sup>134</sup> Důvodem, podle mého názoru, je jistě i kritika, která ambiciózní revizi dynamického porozumění (dynamic understanding) ve vědě zpochybnila. Jedná se především o kritiku Petera Smithe.<sup>135</sup> Nyní explicitně Kellert hovoří (i s odvoláním na Smithe) o teorii chaosu přinášející metodologické změny, ale nikoliv revoluci ve vědeckém porozumění.<sup>136</sup>

Pro Kellertovo dílo je nejpodstatnější popis nových metod dosahování porozumění v teorii chaosu a popis samotných vlastností tohoto porozumění, které je určováno těmito metodami.

### 3.3.1 Metody sloužící k dosažení porozumění

Kellert hovoří v jádru o jedné zásadní metodě, která má tři metodologické aspekty. Touto metodou je konstruování, propracovávání a aplikování jednoduchých dynamických modelů.<sup>137</sup> Třemi metodologickými aspekty jsou – holismus (H), experimentalismus (E) a diachronie (D). Kellert k nim vysvětluje: „(...) chování není studováno jeho redukcí na jednotlivé části (H); výsledky nejsou prezentovány v podobě deduktivních důkazů (E); a se systémy není nakládáno, jakoby okamžité popisy byly kompletní (D).“<sup>138</sup>

Ačkoliv se Kellert odvolává obecněji na SET (Frederick Suppe, Bas van Fraassen), jeho hlavní oporou je raná podoba MOTu Ronalda Giera.<sup>139</sup> Mnohé

134 Domnívám se, že Kellertovo zkoumání v knize *Borrowed Knowledge* také ukazuje hranice metaforického použití chaosu ve vztahu k postmoderní filozofii. Klíčový vztah k dekonstruktivismu je sice završením Kellertovy knihy, ale nikoliv ve smyslu výkladu terminologie dekonstruktivismu pomocí terminologie teorie chaosu. Srov. Kellert (2008, s. 213-228).

135 Smith (1998a).

136 Srov. Kellert (2008, s. 11-12).

137 Srov. Kellert (1993, s. 85).

138 „(...) the behavior is not studied by reducing it to its parts; the results are not presented in the form of deductive proofs; and the systems are not treated as if instantaneous descriptions are complete.“ Tamtéž, s. 85.

139 Giere (1988).



z Kellertova pojetí vědeckého porozumění můžeme pochopit právě s ohledem na inspiraci raným Gierem. Pokud uvažuje vědu bez principů a axiomů,<sup>140</sup> pak může snáze inklinovat k popisnému porozumění namísto vysvětlení. Spolu s Gierem tedy chápe Kellert teorii chaosu jako složenou ze dvou částí, a to: (1) skupiny modelů a (2) množství různých hypotéz, které modely spojují se systémy v reálném světě.<sup>141</sup> Teoretické hypotézy slouží k nalezení vztahu podobnosti mezi modelem a popisovaným systémem (tak i v rámci Gierova současného MOTu). Úskalí tohoto pojetí se ukazuje ve chvíli, kdy Kellert vymezuje modely teorie chaosu pouze výčtem, s ohledem na tradiční odbornou literaturu.<sup>142</sup> Využití MOTu k zachycení metod (a vlastností) teorie chaosu, které provádím v závěru této kapitoly, je Kellertem předpřipraveno, ale v některých ohledech (hlavně ve vztahu k principům) potřebuje podle mého názoru změnit jednak v souladu s dnešním Gierovým MOTem, jednak také s ohledem na dlouhou diskuzi o pojetí modelů v teorii chaosu.

### 3.3.1.1 Holismus

Ačkoliv Kellert jasně proklamuje metodologické pojetí holismu jako protiváhu metodologickému pojetí redukcionismu a nemá tak nic společného s metafyzikou,<sup>143</sup> přesto se dočkalo kritiky. Kellert tradičně, zřejmě pod sugestivním vlivem Prigogina, vyjasňuje své pojetí holismu v souvislosti s tzv. integrovatelností (integrability) modelu.<sup>144</sup> Říká, že sice můžeme napsat rovnici, která řídí pohyb systému dvojitého kyvadla, ale vzhledem k nelineárnosti a neintegrovatelnosti systému, není možné jeho popis redukovat na popisy dvou oddělených oscilátorů. Odtud dospívá Kellert ke svému závěru: ačkoliv je mikroredukcionismus samozřejmým metodologickým pravidlem, které předpokládá, že je vždy vhodné snažit se porozumět chování systému prostřednictvím určení rovnic řídících jeho interagující části, přesto plodnost teorie chaosu svědčí proti tomuto předpokladu.<sup>145</sup>

140 Srov. Kellert (1993, s. 86).

141 Srov. Giere (1988, s. 85), viz Kellert (1993, s. 87).

142 Srov. Kellert (1993, s. 87).

143 „Chaos theory gives no examples of „holistic“ properties which could serve as counterexamples to [philosophical doctrine of reductionism].“ Tamtéž, s. 90.

144 Prigogine – Stengersová (2001 s. 82-84).

145 Srov. Kellert (1993, s. 88-90).

Pro Petera Smithe Kellert nedostatečně jasně vymezuje, co je tím odmítaným mikroredukcionismem. Pokud by jím měla být snaha například vysvětlit podobu oběžné dráhy Hyperionu pomocí interakcí elementárních částic, z nichž je složen Hyperion a Saturn, pak by se jednalo o velmi naivní pojetí. K odhalení jeho naivity ovšem nepotřebujeme teorii chaosu. Navíc i v mnoha oblastech fyziky bylo již dávno na redukcionismus rezignováno. Podle Smithe je ovšem mikroredukcionismus mnohem sofistikovanějším tvrzením a jako takový může být dokonce teorií chaosu podporován.<sup>146</sup>

Smithovo pojetí mikroredukcionismu se nesnaží relativizovat fakt, že mnohdy máme k dispozici jednoduchou rovnici (např. logistickou), která vyjadřuje jednoduchý zákon, ale nejsme schopni předvídat konkrétní chování systému. Pro něj mikroredukcionismus nese význam jako určité pojetí vztahu mezi makro a mikro úrovněmi zkoumaného systému. Jednoduchá rovnice s komplexním chováním (simple-equations-with-complex-behaviour) se vždy uplatňuje na určité úrovni popisu, a tak mikroredukcionistická pozice tvrdící, že komplexita makro-úrovně může být pochopena jako důsledek jednoduchých zákonů, které řídí jednoduché části na mikro-úrovni, může být v kontextu teorie chaosu vnímána jako více, nikoliv méně plausibilní.<sup>147</sup>

Kellert se bohužel příliš svázal, když s pádem integrovatelnosti spojil i pád redukcionismu. Vždyť integrovatelnost je i v jiných oblastech fyziky spíše ideálem, kterého lze stěží dosáhnout. Kupříkladu Kellertem dříve citovaná kvantová mechanika je schopna vytvářet integrovatelné modely pouze pro velmi jednoduché systémy, přitom ji budeme stěží spojovat s pádem redukcionismu. Kellertovo snažení tak může v lepším případě vyznívat jako (1) opakování relativně známého faktu, že mikroredukcionismus spojený s pojmem integrovatelnosti nelze široce ve vědě uplatnit; v horším případě jako (2) neuvážené

146 Srov. Smith (1998a, s. 119). Smith uvádí hypotetický příklad z evoluční biologie: „Now, one way to get the needed effective randomness in more-or-less macro-deterministic framework would be to build some sensitive dependence into the reproductive process, so that minutely different circumstances can trigger different genetic mutations, which all the consequent advantages to the gene line. The downstream result of the underlying chaos (if that is what it is) may be emergence of real ontological novelty – ultimately, new species. But again, there is plainly nothing in this neo-Darwinian picture of chaotic mutations and natural selection which counts against any plausible reductionist project for explaining this emergence.“ Tamtéž, s. 119-120.

147 Srov. tamtéž, s. 120.

zobecnění, které mikroredukcionismus diskvalifikuje, aniž by si vyjasnilo celý obsah tohoto pojmu.

Stejně jako Smith chci ale podotknout: můj odsudek nijak nerelativizuje fakt, že vztah mezi rovnicí a chováním, které je za ní skryto, není přímočarý a vyžaduje speciální metody zkoumání. Mluvit ale o holismu jako o nastupujícím na místo redukcionismu by bylo příliš snadné a zjednodušující.

### 3.3.1.2 Experimentalismus

Konec redukcionismu a nemožnost dedukovat závěry z výchozích tvrzení vedou podle Kellerta k nutnosti zvolit metodu experimentalismu. Teorie chaosu totiž často obchází deduktivní struktury a neredukovatelně se přiklání k výsledkům počítačových simulací. Přičemž tato neredukovatelnost je principiální, protože je nemožné přísně dedukovat povahu chaotického chování systému z jednoduchých rovnic, které toto chování řídí. Zde jde pak Kellert ještě dále a tvrdí, že dokonce i u tak slavného příkladu chaosu, jako je Lorenzův systém, nebylo nikdy přísně dokázáno, vykazuje-li citlivou závislost na počátečních podmínkách. A tak se tváří v tvář těmto potížím musejí výzkumníci obracet k tomu, co je nazýváno „numerickými experimenty“ („numerical experiments“) – používat počítač k simulování chování abstraktního dynamického systému prostřednictvím numerického integrování pohybových rovnic.<sup>148</sup>

Mandelbrot dokonce této souvislosti hořiloproměněmatematiky, onávratu určité podoby induktivní matematiky typické pro počátky této disciplíny v antickém Řecku.<sup>149</sup> Smith opět oponuje, pro něj není taková podoba experimentalismu ničím novým. Dokonce podotýká, že míra experimentálního přístupu je v teorii chaosu typicky ještě větší. Často dochází ke spoléhání na numerické integrace zjednodušených verzí skutečně požadovaných rovnic. Děje se tak bez podpory apriorního důkazu, aby tyto aproximační metody byly úspěšné. Stejně to, kterou aproximaci použít v tom kterém případě, je také justifikováno „experimentálně“. Vybírá se ta z nich, jež poskytne přijatelné výsledky, když dochází k numerické integraci.<sup>150</sup>

148 Srov. Kellert (1993, s. 91-92).

149 Srov. Peitgen – Jürgens – Saupe (1991).

150 Srov. Smith (1998a, s. 121).

Kellert nicméně podotýká, pokud by se jednalo pouze o praktické obtíže, které by nás nutily k experimentálnímu přístupu, pak by teorie chaosu nepředstavovala změnu v deduktivistickém přístupu ve vědě. Skutečná změna je dána transcendentální nemožností, ta nám jako konečným bytostem neumožňuje počítat s nekonečnou přesností.<sup>151</sup> Smith s tím naprosto nesouhlasí, pro něj, kromě výpočetně nákladného určování dlouhodobého chování orbit chaotického systému, existují také jiné, více či méně rigorózní způsoby, jak určit chaotický charakter chování systému. v tomto směru připomíná Smith scénář zdvojení periody, který je indikátorem chaotického chování.<sup>152</sup>

V současnosti také již neplatí Kellertův argument, že v Lorenzově systému nebyla striktně dokázána citlivá závislost na počátečních podmínkách.<sup>153</sup> Výtku si zaslouží také Kellertovo použití stínového lemma.<sup>154</sup> Kellert sice správně vystihuje podstatu stínového lemma, ale univerzální platnost, kterou mu propůjčuje,<sup>155</sup> vyznívá v kontextu Kellertova snažení poněkud paradoxně.

### 3.3.1.3 Diachronie

Podle Kellera se obecná metodologie fyziky vyznačuje synchronií stanovující, že o zkoumaném systému víme všechno podstatné, jestliže tento systém správně popíšeme v jednom časovém okamžiku.<sup>156</sup> Tento přístup je třeba nahradit pojetím reflektujícím minulost vývoje systému. Jako důkaz tohoto názoru předkládá Kellert dva značně odlišné příklady: hysterezi a bifurkační diagram.

Chování systému s efektem hystereze, uvádí Kellert, nemůžeme porozumět bez znalosti jeho historie. Přičemž „historie“ je chápána ve velmi omezeném významu jako „záznam minulého chování“ („record of past behavior“).<sup>157</sup> Je určité vtipné srovnat toto „revoluční“ Kellertovo zjištění ohledně hystereze s tvrzením, které můžeme najít v klasickém Hempelově textu v souvislosti s diskuzí pojmu

151 Srov. Kellert (1993, s. 92).

152 Srov. Smith (1998a, s. 121).

153 Soudě podle ústního sdělení Jana Andrese.

154 Viz Kellert (1993, s. 93).

155 Nezmiňuje omezující podmínku hyperbolicity, která je splněna pouze v omezeném počtu případů (3.1).

156 Srov. Kellert (1993, s. 93).

157 Srov. tamtéž, s. 95.

vysvětlení v nefyzikálních vědách. Hempel se zde mimo jiné zabývá argumentem tvoření generalizací (nacházení principů vysvětlení) – lidské chování je nemožné generalizovat, protože reakce jednotlivce v daném okamžiku nezávisí pouze na této situaci, ale také na minulosti jednotlivce. Hempel poznamenává, že neexistují žádné apriorní důvody, proč by nebylo možné dosáhnout takových zobecnění, která by brala závislost chování jedince na minulosti v potaz. a tak je Hempel přesvědčen o nedostatečnosti tohoto argumentu, což je zřejmé i z: „(...) existence určitých fyzikálních jevů, takových jako magnetická hystereze a únava pružnosti, při nichž velikost specifického fyzikálního efektu závisí na minulé historii systému a pro něž byly přesto stanoveny určité obecné pravidelnosti.“<sup>158</sup> Hempelova znalost hystereze je také protipříkladem ke Kellerově expozici sociálních aspektů vědy.<sup>159</sup>

Kellert ale přichází s ještě silnějším tvrzením. Ve skutečnosti je pro něj téměř každý systém, procházející bifurkacemi, které jsou důsledkem změny regulačního parametru, příkladem platnosti jeho teze o diachronii. S odvoláním na Prigogina je přesvědčen, že znalost rovnic systému a hodnoty regulačního parametru nedostačuje k popisu stavu systému, protože v danou chvíli existují minimálně dvě alternativní platná řešení. Dokonce ani nemůžeme rozumět tomu, proč se systém nachází v jednom z možných stavů bez toho, aniž bychom rozuměli, jak do tohoto stavu dospěl (diachronní aspekty). „Prohlásit, že se „systém nachází v bodě C, protože parametr  $p$  vzrostl“ nebude stačit, musí být odkázáno k tomu, kterou bifurkační dráhu systém následoval v bodě B.“<sup>160</sup>

Podle mého názoru je takto silné pojetí významu bifurkace minimálně obecně neobhajitelné. V předchozích podkapitolách jsem ukázal, jak je struktura bifurkací v logistickém zobrazení svázána s hodnotou řídicího parametru. Pro danou hodnotu parametru dochází například k periodickému střídání dvou, čtyř, osmi atd. hodnot. Jsme schopni určit, pro jakou hodnotu parametru nastane další bifurkace, pro jakou hodnotu parametru vyvstane chaotický režim, kdy se objeví „okna řádu v chaosu“. Ačkoliv Kellert explicitně

158 Srov. Kuchár (1968, s. 199-200).

159 Viz Kellert (1993, s. 126).

160 Srov. tamtéž, s. 95.

nehovoří o nevratnosti,<sup>161</sup> přesto má jeho pojetí diachronie výraznou prigoginovskou příchuť. o problematičnosti Prigoginovy interpretace teorie chaosu jsem už psal výše. Příznačně vyjadřuje pochybnosti k Prigoginovu výkladu bifurkací už v úvodu *Řádu z chaosu* Alvin Toffler.<sup>162</sup>

### 3.3.2 Povaha porozumění/vysvětlení

Kellert nastiňuje tři pojetí tradičního vysvětlení ve vědě: (1) epistémické, to stanovuje ve vědě porozumění tím, že činí události méně překvapivými, tím že je činí očekávatelnými (expectable), (2) ontické, které vidí pokrok ve vědeckém porozumění jako důsledek odhalení skrytých kauzálních procesů (disclosure of the hidden causal processes), zodpovědných za dané chování, a (3) modální, to vidí růst vědeckého porozumění v tom, že jsme schopni stále více události charakterizovat jako nastávající z nutnosti (happening out of necessity).<sup>163</sup>

Kellert podrobuje tato tři tradiční pojetí revizi, jež (1) v rámci epistémické koncepce klade proti kvantitativní předpověditelnosti předpověditelnost kvalitativní (quantitative versus qualitative predictability), (2) v rámci ontické koncepce klade proti odhalování kauzálních mechanismů odhalování mechanismů geometrických (causal versus geometrical mechanisms), a (3) v rámci modální koncepce klade proti pojmu zákon pojem řád (law versus order).

#### 3.3.2.1 Kvantitativní a kvalitativní předpověditelnost

Tradičně silný vliv na pojetí predikce ve vědě měl Hempelův deduktivně-nomologický model vysvětlení. V tomto pojetí vědeckého vysvětlení je podle Kellerta zásadní explanačně-predikční symetrie (explanation-prediction symmetry thesis), která stanovuje, že každé vědecké vysvětlení má podobu

161 Srov. Horák – Krlín (2004, s. 9-15).

162 „Mají-li Prigogine a Stengersová pravdu a příležitost má svůj význam v blízkosti nebo přímo v bifurkačním bodě, za kterým až do dalšího rozvětvení (bifurkace) převládají deterministické děje, nezasazují příležitost samu do deterministického rámce? Jestlipak ji prisuzováním zvláštního významu zároveň nesnižují? Měl jsem to potěšení prohodit tuto otázku s Prigoginem při obědě. Usmál se a řekl: „Ano. Mohlo by to tak být. Nemůžeme však stanovit, kdy vznikne další bifurkace.“ Příležitost, podobně jako bájný fénix, vyvstává vždy znovu.“ Prigogine – Stengersová (2001, s. 21).

163 Srov. Kellert (1993, s. 96-97).

predikce a každá predikce je také vysvětlením.<sup>164</sup> Kellert si všímá narušení této symetrie v jednom i druhém směru.

Toulminův příklad s velkou prediktivní silou babylónské astronomie podle Kellerta ukazuje, že nutnost problému porozumět není nezbytná k schopnosti jej předvídat.<sup>165</sup> a naopak v teorii chaosu, ačkoliv přesně rozumíme chaotickým systémům, nejsme schopni předvídat jejich detailní chování. Teorie chaosu nám totiž (1) poskytuje novou obecnou informaci o vztahu mezi vlastnostmi systému ve velkém měřítku a jeho dlouhodobém chováním, dokonce umožňuje nové předpovědi. (2) Poskytuje také pochopitelný a jasný popis toho, proč je předpověditelnost nemožná, a dokonce i popis toho, jak k tomu dochází. Co je však pro Kellerta velmi důležité, ačkoliv teorie chaosu nepřináší tradiční vysvětlení (explanation), přináší porozumění (understanding). Ukazuje tak, že ačkoliv předpovídat není totéž co přinášet porozumění, je tato schopnost nového druhu předpovědi a popisu prediktivních omezení znakem porozumění.<sup>166</sup>

Vztah mezi novými prediktivními schopnostmi a mezemi předpověditelnosti vyjasňuje Kellert prostřednictvím odlišení kvantitativních predikcí, které jsou v chaotických systémech nemožné a kvalitativních predikcí, které jsou centrem teorie dynamických systémů: „Kvantitativní zkoumání mohou poskytnout velmi přesnou informaci o dynamickém systému řešení pohybových rovnic, ale pro nelineární systémy je tato informace typicky omezena na právě jedno řešení a nějaké malé blízké okolí, a jakákoliv zaručená přesnost rychle mizí s časem. Kvalitativní porozumění je komplementární; předvídá vlastnosti systému, které zůstanou platné po velmi dlouhou dobu a obvykle navždy. Poskytuje „obecné informace a výborné klasifikace“ zabýváním se otázkami periodicity a stability orbit, symetrií a asymptotickými vlastnostmi chování, a „strukturami množiny řešení.“<sup>167</sup>

164 Srov. tamtéž, s. 97.

165 Toulmin (1961, s. 30), viz Kellert (1993, s. 98). Je ovšem možné kritizovat takovéto odsouzení babylónské vědy jako pouze popisné. Můžeme si dovolit tvrdit, že způsob porozumění používaný Babylóňany nebyl určitým druhem vysvětlení? Takto bychom mohli kritizovat jakékoliv vědecké vysvětlení, neboť u něj nikdy nemůžeme s jistotou říci, zda je definitivní. Chápeme-li vědu jako posloupnost falsifikovatelných hypotéz.

166 Srov. Kellert (1993, s. 99-100).

167 „Quantitative investigations can provide very accurate information about a dynamical system by solving the equations of motion, but for nonlinear systems this information is typically

Kellert ale vzápětí nevědomky relativizuje zásadnost proměny epistemické koncepce v souvislosti s teorií chaosu. Cituje totiž Poincarého, který zásady kvalitativní analýzy vtělil do přírodní vědy již před více než sto lety.<sup>168</sup>

Svůj rozbor revize epistemické koncepce uzavírá Kellert poukazem na SET, když píše: znalost atraktoru představuje kvalitativní porozumění a teorie chaosu zahrnuje teoretické hypotézy, které stanovují vztahy kvalitativní (topologické) podobnosti (qualitative (topological) similarity) mezi abstraktními modely a aktuálními zkoumanými systémy.<sup>169</sup> To jasně ukazuje, jak Kellert (1) zjednodušuje reálnou situaci v teorii chaosu, protože i zde hraje kvantitativní porozumění/vysvětlení a také kvantitativní predikce důležitou roli (viz dále); a navíc (2) směřuje roviny výkladu, protože najednou se kvalitativní predikce a také kvalitativní porozumění (to samo by zasloužilo odlišení) stávají prostředkem k vyjádření vztahu podobnosti mezi modelem a reálným systémem v rámci SETu. Následující Smithovy výtky dle mého názoru pramení v (1).

Podle Petera Smithe není odlišování kvantitativní a kvalitativní predikce nic význačného. Nelze tvrdit, že se starý styl modelování soustředil pouze na kvantitativní problémy typu vyšetřování průběhu jednotlivých trajektorií. Kvalitativní porozumění, tvrdí Smith, jak jej Kellert volně používá, bylo v dynamice vždy ústřední, i když se v souvislosti s teorií chaosu dostalo více do popředí.<sup>170</sup> Navíc se dá v souvislosti s teorií chaosu těžko mluvit o úplném opuštění kvantitativního porozumění a predikce. Je samozřejmě pravdou, že modely teorie chaosu nemůžou být použity k předpovědím detailů časového vývoje relevantních fyzikálních veličin pro dlouhá časová období. Nicméně poskytují celou řadu jiných druhů předpovědí, které jsou jak kvalitativní, tak i kvantitativní, a to o tom, jak se bude

---

limited to just one solution and some small vicinity around it, and any accuracy secured rapidly disappears with time. Qualitative understanding is complementary; it predicts properties of a system that will remain valid for very long times and usually for all future time. It gives „the general informations and the great classifications,” by dealing with questions such as the periodicity and stability of orbits, the symmetries and asymptotic properties of behavior, and „the structure of the set of solutions.” Tamtéž, s. 101. Ještě radikálnější pojetí představují Holtovi: „Using the driven simple pendulum as a paradigm, we identify three senses that regularity might have in connection with nonlinear dynamical systems: periodicity, uniqueness, and perturbative stability. Such systems are always regular only in the second of these senses, and that sense is not robust enough to support predictions.” Holt – Holt (1993, s. 711).

168 Viz Kellert (1993, s. 101).

169 Srov. tamtéž, s. 102.

170 Srov. Smith (1998a, s. 117).



systém chovat pro zvolený regulační parametr a dokonce i o tom, jak se chování systému změní se změnou regulačního parametru.<sup>171</sup>

Smith se domnívá, že neformálně odlišit kvantitativní a kvalitativní aspekty porozumění a predikce je dost problematické a hlavně nepříliš užitečné, a to už i v předchaotické mechanice.<sup>172</sup> Existuje však možnost striktního formálního odlišení, při němž na jednu stranu umístíme topologicky invariantní vlastnosti a na druhou stranu všechno ostatní.<sup>173</sup> Toto odlišení ovšem Kellertovi nepomůže, naopak, pokud toto formální odlišení přijmeme, ukáže se jako jasně nesprávné pokládat chaotickou dynamiku za v podstatě kvalitativní. „(...), některé zajímavé dynamické vlastnosti jsou opravdu čistě topologické: například základní rozlišení mezi periodickým a aperiodickým pohybem – (...). Ale všechny numerické vlastnosti docela v centru pozornosti aplikované teorie chaosu – tj. velikosti Ljapunovových exponentů, fraktální dimenze podivných atraktorů, indexy řádů bifurkace – nejsou topologickými invarianty, a tak jsou v našem vyhraněném smyslu považovány za nekvalitativní.“<sup>174</sup>

Podle Smithe je snaha odlišovat teorii chaosu jako kvalitativní a klasickou dynamiku jako kvantitativní dána zjednodušeným pohledem na vztah těchto disciplín. Snaha striktně rozlišovat mezi „kvalitativními“ geometricko-topologickými vysvětleními a „kvantitativními“ analytickými úpravami zbytečně přetrhává vztah mezi chaotickými a více známými dynamickými modely: oba přístupy byly užívány v rozvíjené oblasti nejméně jedno století.<sup>175</sup>

Na závěr chci připomenout, že v návaznosti na vymezení role kvalitativního porozumění v teorii chaosu se Kellert snaží také o využití pravděpodobnosti pro popis toho druhu předpověditelnosti, který se v teorii chaosu uplatňuje.<sup>176</sup> Kellert

171 Srov. tamtéž, s. 66.

172 Zde poukazuje na kanonický text Goldstein (1959), viz Smith (1998a, s. 118).

173 Srov. Smith (1998a, s. 118).

174 „(...) some interesting dynamical properties are indeed purely topological: for example, the basis distinction between periodic and aperiodic motion – (...). But all the numerical properties of quite central concern to applied chaos theory – e.g. the size of Liapunov exponents, the fractal dimensions of strange attractors, the indexes of bifurcation rates – are not topological invariants, and so in our sharpened sense count as nonqualitative.“ Tamtéž, s. 118.

175 Srov. tamtéž, s. 118.

176 „(...) once we find the probability distribution for a chaotic system, „one can calculate the mean square amplitude, mean zero crossing times, and probabilities of displacements, voltages or stresses exceeding some critical value.“ Kellert (1993, s. 103).

také zvažuje Railtonův deduktivně-nomologicky-pravděpodobnostní model vysvětlení (deductive-nomological-probabilistic model of explanation vhodný pro teorii chaosu.<sup>177</sup> Spolu s Kellertem se domnívám, že vhodné modifikace klasického D-N modelu vysvětlení se nabízejí. V mém pojetí například zapojením řídicích parametrů jako speciální části počátečních podmínek v explanans a v návaznosti na to modifikací jednoduchého explananda (podrobnější rozbor překračuje hranice této práce).

### 3.3.2.2 Kauzální a geometrické mechanismy

Kellert se domnívá, že teorie chaosu nám poskytuje porozumění prostřednictvím poukazu na mechanismy, které jsou zodpovědné za nepředpověditelné chování, ale tyto mechanismy nejsou kauzálními procesy.<sup>178</sup> Na rozdíl od klasických případů, jako je molekulová fyzika a termodynamika, je teorie chaosu výjimečná tím, že se v ní nemožnost odhalit individuální kauzální mechanismy objevuje už pro velmi jednoduché systémy.

Ačkoliv má Kellert zřejmě na mysli problém kauzálního vysvětlení pro teorii chaosu, a tudíž nemusíme kritizovat užívání pojmu kauzalita pro jeho metafyzickou konotaci,<sup>179</sup> přesto se musím ohradit proti tomuto dalšímu neformálnímu odlišení. (1) Kellert nás zahrnuje četnými speciálními příklady,<sup>180</sup> ale jasné vymezení geometrického mechanismu chybí,<sup>181</sup> (2) nezohledňuje dostatečně skutečnost, že ačkoliv nejsme schopni sledovat jednotlivá kauzální spojení, přesto jsme obecně schopni vymežit příčiny, které k danému chaotickému chování vedou, a (3) opět směšuje roviny výkladu, když předpokládá teoretické hypotézy teorie chaosu stanovující vztahy topologické podobnosti, nikoliv shody fyzikálních příčin, mezi modely a aktuálními systémy.<sup>182</sup>

177 Railton (1981, s. 233-256), viz Kellert (1993, s. 103). Obráně D-N modelu vysvětlení se věnují také Pearce – Rantala. (1985, s. 126-140). Alternativní podobu vědeckého vysvětlení nabízí Forge (1980, s. 203-226).

178 Srov. Kellert (1993, s. 104).

179 I když zde jsem možná vůči Kellertovi příliš vstřícný, neboť některá jeho vyjádření spíše evokují metafyzické chápání kauzality, např.: „(...) it is impossible in principle to trace out the workings of actual causal mechanism in a chaotic system.“ Tamtéž, s. 105.

180 Především rozbor KAM teoremu, viz tamtéž, s. 107-110.

181 Pouze stručně shrnuje: „Here is an example of a geometric mechanism: chaos happens because of or through the dense packing of unstable periodic orbits.“ Tamtéž, s. 110.

182 Srov. tamtéž, s. 107.

Přínosné na tomto Kellertově rozlišení je ovšem zviditelnění interdisciplinárního potenciálu teorie chaosu. Protože pokládá postup seskupování systémů s odlišnými kauzálními substráty za účelem studia jejich kvalitativního chování za centrální metodu teorie chaosu.<sup>183</sup>

### 3.3.2.3 Zákon a řád

Kellert pojímá tradiční pojetí porozumění ve vědě jako založené na odhalování zákonné nutnosti (*nomic necessity*). Pokud by to mělo být obecně pravdivé, pak by, tvrdí Kellert, teorie chaosu neposkytovala porozumění přírodním dějům. Domnívá se, že zákonná nutnost vyžaduje, abychom mohli z univerzálních zákonů a tvrzení o počátečních podmínkách generovat s deduktivní přesností jedinečně determinovanou minulost a budoucnost chování systémů, a to do detailu. Přičemž výzkumníci v oblasti teorie chaosu nevnímají svou práci jako odhalování zákonů přírody.<sup>184</sup>

Podle mého je v tomto Kellertově vymezení opět ukryto několik nejasností a problémů: (1) Takto vymezená funkce zákonů je znovu ideálem, který vzal za své již mnohem dříve než v souvislosti s teorií chaosu. (2) Kellert se dopouští nejasných vyjádření, jež jsou v rozporu s dřívějšími tvrzeními.<sup>185</sup> (3) V rámci teorie chaosu nejsou nacházeny nové zákony přírody z toho prostého důvodu, že jsou vyjádřeny v principech, které jsou obsaženy v modelech (na tomto místě ještě nebudeme rozhodovat mezi *top-down* a *bottom-up* modely).<sup>186</sup>

Kellert navrhuje nahradit tradiční hledání přírodních zákonů (*laws*) hledáním řádu (*order*): „(...) tvrdím, že je lepší vidět teorii chaosu jako poskytovatele vhledů do řádu, než se ji snažit usouvztažnit s modelem vědy jakožto hledání zákonů. Teoretické hypotézy teorie chaosu stanovují, že určité abstraktní modely a určité aktuální systémy jsou příklady podobných odrůd řádu.“<sup>187</sup> S ohledem

183 Srov. tamtéž, s. 105.

184 Srov. tamtéž, s. 111.

185 Tvrdí například: „But chaos theory is neither strictly deductive, nor quantitatively predictive, nor globally deterministic.“ Tamtéž, s. 111.

186 Izde se objevuje výrazný vliv Prigogina, viz tamtéž, s. 111.

187 „(...) i contend, that it is better to see chaos theory as providing insights into order than it is to try to fit it into a model of science as a search for laws. The theoretical hypotheses of chaos theory assert that certain abstract models and certain actual systems are instances of similar varieties of order.“ Tamtéž, s. 113-114.

na mou třetí námitku je potřeba připomenout Kellerovo nesprávné srovnávání zákona a řádu. v jeho pojetí oba tyto pojmy vyjadřují odhalování pravidelností, přičemž pojem řádu je širší a méně striktní než pojem zákona. Nicméně, jak jsem už naznačil, teorie chaosu je vázána na množinu modelů, které v sobě obsahují principy vyjadřující jádro tradičních zákonů (např. Newtonových v případě kyvadla). Proto postrádá smysl pozastavovat se nad tím, že výzkumníci teorie chaosu nehledají nové zákony. a stejně tak postrádá smysl glorifikovat nacházení řádu v chování dynamických systémů. Řád/pravidelnost byla nalézána v dynamických systémech vždy, jen její vztah k výchozím principům je pro jednoduché nechaotické systémy přímočařejší.

### 3.3.2.4 Dynamické porozumění

Změny, které Kellert nastínil – kvalitativní predikce, nacházení geometrických mechanismů, objevování řádu – jsou podle něj vyjádřením zrodu nového druhu porozumění. To označuje jako dynamické porozumění (dynamic understanding). Je ochoten připustit, že by mohlo skutečně znamenat proměnu vědy jako součást proměny západní kultury. Zároveň však jasně vyjadřuje své přesvědčení o snaze vidět teorii chaosu jako revolučně novou vědu, jež je radikálně diskontinuální se západní tradicí objektifikace a kontroly přírody. Tato snaha je falsifikována jednak samotnou povahou teorie chaosu a jednak také historií vědy.<sup>188</sup>

Kellert si celkový význam dynamického porozumění ještě netroufá definitivně ohraničit. Spíše naznačuje možné scénáře dalšího vývoje, který rozhodne o tom, jestli je toto nové dynamické porozumění schopno do vědy zahrnout náhodnost (randomness) a kontingenci (contingency), zda se ve skutečnosti nejedná pouze o nový typ kvalitativní analýzy ad. Možná je teorie chaosu zatím pouze začátkem nové vědy.<sup>189</sup> Je potřeba filozofického vyjasnění pojmu porozumění (understanding) a různorodých druhů porozumění ve specifických případech.

Peter Smith se snaží krotit nejen Kellertovy, ale také Mortonovy snahy o revizi vědy. Adam Morton v souvislosti s teorií chaosu hovoří o Q-strategii

188 Srov. tamtéž, s. 115.

189 „Perhaps it is not yet really a Science but only the beginning of one, struggling to make interesting observations or empirical generalizations like Brahe or Kepler, but still awaiting the formalization that would mark its legitimacy.“ Tamtéž, s. 116.

vysvětlení (Q-strategy of explanation). Tato strategie spočívá v používání jednoduchých a snadno pochopitelných systémů, u nichž je stanoven vzor závislosti jejich atraktorů na jejich kontrolních parametrech. Pak je zkoumáno, zda tyto vzory odpovídají vzorům v mnohem komplexnějších systémech, což se velmi často potvrzuje, i když přitom často není jasné, proč je toto analogické přenesení možné. Dnes je ale už ve vědecké praxi naprosto běžné, že při práci s jednoduchými systémy objevujeme obvykle zároveň prostředky vhodné pro uchopení mnohem komplexnějších systémů.<sup>190</sup>

Podle tvrzení Smithe je kombinace abstraktní analýzy a experimentálního zkoumání naprosto běžnou strategií nacházení realistických modelů. Velmi často jde o výhodný a přípustný obchod mezi zachováním věrnosti fyzikální komplexity a přístupnosti jednoduchého matematického zkoumání. Čistá matematika a fyzika jsou spojeny a z obou stran se propracovávají do středu.<sup>191</sup>

Smith odmítá tvrzení o nezajímavé teorii chaosu; stejně nezajímavé jako ostatní oblasti fyziky. Naopak tvrdí, že fyzika všude zahrnuje tutéž improvizovanou a „experimentální“ hru s matematickými ideami a fyzikálním porozuměním, která je výrazně viditelná právě v teorii chaosu. Smith souhlasí s Kellerem i Mortonem v tom, že standardní filozofie vědy tuto důležitou skutečnost nereflektovala.<sup>192</sup>

Pokud se soustředujeme pouze na kanonické texty matematické fyziky, tak lehce přehlédneme předchozí proces, který vedl k vytvoření používaných modelů. Proto také Smith odmítá dramatické koncepce Q-strategie a dynamického porozumění. „Přesto, jedna věc je říct, že výzkum chaosu je viditelným příkladem společných postupů v matematické fyzice, které mají filozofové tendenci přehlížet, a něco jiného je říct, že teorie chaosu má svůj vlastní, odlišný druh dynamického porozumění. Druhé tvrzení, zopakují, se zdá být jednoduše nesprávné.“<sup>193</sup>

190 Srov. Morton (1991, s. 101-102), viz Smith (1998a, s. 123).

191 Srov. Smith (1998a, s. 123).

192 Srov. tamtéž, s. 124-125.

193 „Still, it is one thing to say that work on chaos is a vivid exemplar of common strategies in mathematical physics which philosophers tend to overlook; it is something else to say that chaos theory has its own very distinctive style of dynamic understanding. The later claim, to repeat, seems simply wrong.“ Tamtéž, s. 125.

### 3.3 NOVÁ PODOBA IDEALIZACE

Ve Smithově strážlivé analýze teorie chaosu můžeme najít, přes všechnu zdrženlivost, dva aspekty, které podle něj činí teorii chaosu význačnou – jedná se (1) o novou podobu idealizace v teorii chaosu a (2) rozsáhlé užívání bottom-up modelování. První aspekt osvětlím v této podkapitole, druhému je věnována celá následující rozsáhlá podkapitola.

Na rozdíl od Mandelbrota, ten vnímá novou fraktální geometrii jako posun od idealizace eukleidovské geometrie k realističtějšímu vyjádření přírodních tvarů,<sup>194</sup> Smith pojímá fraktální geometrii jako novou podobu idealizace. Na základě toho si klade důležitou otázku, zda mohou nekonečně složité fraktální struktury, v protikladu k pouhým prefraktálům, hrát nějakou roli při popisu přírody, která takovouto složitost postrádá.<sup>195</sup> Domnívat se, že přírodní tvary mají nekonečnou složitost, by bylo stejně nepřiměřené, jako je pojímat tradičně eukleidovsky, jedna idealizace tudíž, zdá se, nahrazuje jinou.

Lorenzův atraktor se v tomto ohledu jeví jako velmi nerealistický model, neboť jakožto fraktální útvar vykazuje nekonečnou složitost. Ale zásadní charakter nelineárních dynamických systémů souvisí právě s fraktální povahou jejich modelů. Dynamika modelu je dána složitostí atraktoru, který nutí trajektorii k neustálému obíhání. To se nikdy neopakuje a nikdy neprotíná, neustále se roztahuje v nekonečně zapleteném klubku. Jestliže platí, že tyto trajektorie a jejich atraktor mohou obývat abstraktní fázový prostor, pak by zároveň mělo platit, že jsou souřadnice bodů v tomto prostoru určeny k tomu, aby reprezentovaly fyzikální veličiny (např. rychlost proudění tekutiny).<sup>196</sup> Jak Smith poznamenává: „Není vůbec jisté, že dává fyzikální smysl předpokládat, že hrubě strukturované veličiny, jako jsou tyto, mohou být definovány s nekonečnou přesností: tak jak může existovat nekonečně složitý vzor v jejich časovém vývoji?“<sup>197</sup>

194 Srov. Peitgen – Jürgens – Saupe (1991).

195 Srov. Smith (1998a, s. 29).

196 Srov. tamtéž, s. 18.

197 „But it isn't at all clear that it makes physical sense to suppose that „coarse-grained“ quantities like this can be defined with infinite precision: so how can there be an infinitely intricate pattern in their time evolution?“ Tamtéž, s. 18. Problému nemožnosti přesného určení veličin se věnoval Adams (1965, s. 205-228).

Podle Smithova názoru se zde nejedná jen o tradiční epistemologický postřeh, že existují hranice přesnosti, s jakými můžeme určovat hodnoty fyzikálních veličin. Nemá smysl uvažovat o ničem takovém, jako jsou přesné hodnoty veličin (např. už zmiňované rychlosti proudění).<sup>198</sup> Na základě tohoto principiálního omezení Smith vytváří následující soud:

„(F) Chaotické chování v modelech, jako je Lorenzův, závisí na tom, že trajektorie směřují stále blíže k podivnému atraktoru s fraktální geometrií.

(G) Vytvírající se fyzikální procesy, které mají být reprezentovány modely, jako je Lorenzův, nemůžou vykazovat skutečně nekonečnou složitost.“

Premisy (F) a (G) společně implikují závěr: „(...) alespoň v typickém případě právě to, co činí dynamické modely chaotickými (neohrazená složitost v chování možných trajektorií), nemůže skutečně korespondovat s něčím v časových vývoích modelovaných fyzikálních procesů – protože nemohou vykazovat dostatečnou složitost vzorů na hrubě strukturované makroskopické úrovni.“<sup>199</sup>

Smith se přesto snaží ukázat idealizaci, která zahrnuje nekonečnou složitost, jako užitečnou, neboť je vyjádřením jednoduchosti modelu. Jedná se o další příklad toho, jak můžou být užitečné idealizující teorie neodpovídající striktně vzato pravdě, pokud je možné, jako kompenzaci jejich empirické nevěrohodnosti získat nějakou přednost, která poskytuje vhodné zjednodušení. Samotná jednoduchost rovnic (např. Lorenzových rovnic) přitom nestačí. Je potřeba vytvořit vazbu mezi jednoduchostí rovnic a skutečnou jednoduchostí v popisované dynamice.<sup>200</sup>

198 Srov. Smith (1998a, s. 39).

199 „(F) The chaotic behaviour in models like Lorenz's depends on trajectories getting pulled ever closer to a strange attractor with a fractal geometry. (...) (G) The evolving physical processes that chaotic dynamical models like Lorenz's are characteristically intended to represent cannot themselves exhibit true infinite intricacy. (...) at least in the typical case, the very thing that makes a dynamical model a chaotic one (the unlimited intricacy in the behaviour of possible trajectories) can not genuinely correspond to something in the time evolutions of the modelled physical processes – since they can not exhibit sufficiently intricate patterns at the coarse-grained macroscopic level.“ Tamtéž, s. 41.

200 Tamtéž, s. 45.

Jednoduchost se nakonec ukazuje ve skutečnosti, že podivný atraktor je invariantem stretch-fold transformace, která je aplikována na trajektorie obsažené ve fázovém prostoru. Tuto operaci vyjadřuje matematická funkce. Ta je vtělena do rovnic (např. Lorenzových), které popisují systém. Chaos je výsledkem dynamiky systému funkcí, jež natahuje a ohýbá (stretch and fold) svazek možných trajektorií v rámci určité oblasti fázového prostoru. Čili jestliže se soustředíme na nekonečný detail Lorenzova atraktoru, skutečně o něm uvažujeme jako o úžasně komplexním objektu a podivujeme se nad tím, jak může takové matematické monstrum legitimně sloužit k empirickému použití. „Ale znovu změňme perspektivu a přemýšlejme nad atraktorem jako nad tím, co zůstává neměnné v případě dynamiky, která natahuje a ohýbá trajektorie ve fázovém prostoru, pak můžeme vidět, jak se může hledaná jednoduchost dostat na scénu. Mohli bychom mít dynamický model, který specifikuje relativně jednoduchou operaci natahování a ohýbání, (...) dokonce velmi jednoduchá natažení a ohnutí můžou mít nekonečně složité fraktální invarianty.“<sup>201</sup>

Je důležité si uvědomit tento zásadní závěr. (I) Použití fraktálů, které výše Smith popisuje, je odlišné od použití pouhých prefraktálů. Souhrnně řečeno, prefraktály, které se hodí např. pro popis tvaru pobřeží nebo pro popis biologických tvarů, by pro popis této chaotické dynamiky nebyly vhodnou idealizací. Vhodná idealizace vyžaduje nekonečně složitou strukturu podivného atraktoru, která je nutným důsledkem stretch-fold transformace.<sup>202</sup>

Obhájení vhodnosti této nové podoby idealizace je pro Smithe zároveň obhájením jeho pojetí aproximativní pravdivosti (approximate truth) teorie chaosu.<sup>203</sup> Teorie dynamických systémů je podle Smithe příkladem neústupně nerevidovatelné teorie (stubbornly unrevisable theory), která nemůže být uvedena do souladu se skutečností prostřednictvím drobných korekcí. Aplikace

201 „But switch perspectives again, and think of the attractor as what is left fixed in place by a dynamics which stretches and folds phase space trajectories, and we now can see how the needed simplicity might get into the picture. For we could have a dynamical model which specifies relatively simple stretching-and-folding operations, (...) even very elementary stretches and folds can have infinitely intricate fractal invariants.“ Tamtéž, s. 46. Podrobně tuto stretch-fold operaci popisuje, viz tamtéž, s. 47-50.

202 Samozřejmě stále obecně neplatí, že fraktály a chaos se vzájemně vyžadují.

203 Viz Smith (1998a, s. 71-90) a Smith (1998b, s. 253-277).



teorie chaosu nemůže poskytovat pravdivý popis světa. Pokud bychom chtěli situaci zlepšit přidáním detailů, situaci jen více zkomplikujeme.<sup>204</sup> Přesto můžou mít podle Smithe aplikace teorie chaosu přinejmenším potenciál stát se aproximativně pravdivými.<sup>205</sup>

Podrobnější rozbor aproximativní pravdivosti by vyžadoval podrobný exkurz do oblasti teorie pravdy, a to by bylo nad rámec naší práce. Proto bych se chtěl omezit pouze na dvě drobné poznámky. (1) Nezavádí Smith s pojmem aproximativní pravdivosti umělé odlišování realističtějších a méně realistických teorií? (2) Má Kellertův pojem transcendentální nemožnosti opodstatnění ve světle Smithova rozboru nové podoby idealizace obsažené v teorii chaosu?

V prvním případě připomeňme, že Smith bere jako klasický příklad stubbornly unrevisable theory mechaniku kontinua aplikovanou na mechaniku tekutin. Poukazuje na strukturu kapalin, která rozhodně není spojitá, nýbrž, jak se můžeme přesvědčit v oblasti molekulární fyziky, jasně diskrétní. Nastoluje tak představu, že některá teorie je a priori realističtější než jiná. Aniž bych chtěl napadat intuitivní přijatelnost tohoto závěru, kde vezmeme pevné kritérium pro tento soud? Copak je tvrzení o diskrétní struktuře kapalin pravdivé, zatímco o kontinuální nepravdivé? Není to spíše tak, že jeden i druhý model nám dává jinou sadu poznaků, které se shodují i rozcházejí s pozorováním (approximate) a vzájemně se doplňují?

Druhá poznámka se v souvislosti s novou podobou idealizace týká opodstatněnosti Kellertova pojmu transcendentální nemožnosti predikce. Domnívám se, že (a) opodstatněný není v tom ohledu, který by ji kladl do konečnosti lidské racionality, do nemožnosti znát naprosto přesně hodnotu dané veličiny, jejíž přesné určení by vyžadovalo nekonečnou paměť. Neboť v určitém měřítku přestává mít další zpřesňování smysl, pokud chceme, aby teorie chaosu byla zároveň v souladu s ostatními disciplínami fyziky.<sup>206</sup> Tento ohled představuje

204 Smith dokonce tvrdí: „(...) the trouble with standard chaotic models is that they already have, as it were, too much fine structure to fit the world accurately which also apparently means that they are not to be derived by simplification from some still more complex truths.“ Smith (1998b, s. 255).

205 Srov. Smith (1998b, s. 255).

206 Nemělo by kupříkladu smysl uvažovat o přesnějším určení délky, než jaké stanovuje hraniční Planckova délka ( $1,5 \cdot 10^{-35}$  m). Principiálně nic teorii chaosu nebrání, aby zpochybnila toto omezení, ale v tom případě musí být schopna přinést prověřitelný model pro tyto oblasti mikrosvěta.

teoretickou stránku transcendentální nemožnosti. Na druhou stranu (b) se jeho opodstatněnost může ukázat v tom, že ukážeme principiální omezení našich praktických možností. Určování stále přesnějších hodnot počátečních podmínek by bylo stále více náročné časově i energeticky. Navíc, jak poukazoval Smith, jestliže postrádá fyzikální smysl chtít definovat fyzikální veličinu s naprostou přesností, pak zároveň vždy platí, že o shodnosti hodnoty, kterou stanovíme jako počáteční podmínku, a hodnoty, která odpovídá skutečnému průběhu událostí, si nemůžeme být nikdy jisti. Tento ohled představuje praktickou stránku transcendentální nemožnosti.

Ještě jednou podotýkám, že nechci upírat zajímavému postřehu Kellera o transcendentální nemožnosti jeho význam, jedná se bezesporu o důležité zjištění, které vyjadřuje propojení mezi teoretickými a praktickými aspekty prediktivních hranic, byť větší důraz by měl být ponechán na praktické stránce. Domnívám se ale, že: (II) Je důležitější vidět transcendentální perspektivu ve větší obecnosti. Pokud ji totiž vztáhneme na teorie jako celek (teorie vnímané perspektivou MOTu), pak budeme uchráněni snahy absolutizovat výsledky teorií a hierarchii jejich realističnosti.

## 4 Modely teorie chaosu

Jedním z nejdůležitějších úkolů tohoto textu je zhodnocení proměny pojetí modelu ve filozofii vědy v souvislosti s rozvojem teorie chaosu. Naskýtá se nám tak trojí možnost rozvíjení zkoumané problematiky: (1) Můžeme navázat na Kellerta tam, kde pouze načrtává souvislost se SETem a důsledně zhodnotit množinu modelů, která tvoří podle Kellerta teorii chaosu. (2) Zároveň dostáváme zkoumání teorie chaosu konečně ucelené do tradiční oblasti filozofie vědy. (3) Koncept bottom-up modelování zatím do filozofie vědy výrazně neproniknul, a tak se naskýtá možnost učinit jej součástí MOTu (i Gierova)

### 4.1 TOP-DOWN (T-D) A BOTTOM-UP (B-U) MODELY

Zásadní otázkou v teorii chaosu je podle Smithe to, zda modelování, ústřední část této teorie, nepředstavuje novou a mnohem radikálnější podobu experimentalismu, kterou nezmiňuje dokonce ani Kellert. Smith přímo uvádí, v čem by tento radikální experimentalismus spočíval: „Nevybíráme modely pouze z různých kandidátů (...) na bázi experimentální vhodnosti, spíše konstruuje matematické modely zdola nahoru (bottom up) ze sekvence experimentálních dat, a poté užíváme skutečností modelu – skutečností odvozených z univerzality teorie – k předpovědi/vysvětlení jiných dat, zdánlivě bez potřeby zakládající teorie.“<sup>207</sup>

Stojíme tak před důležitou otázkou, zda si věda vystačí s top-down modely, které jsou konstruovány prostřednictvím teorie (principů) a na základě experimentálně získaných dat je některý z předpřipravených modelů vybrán jako prostředek vysvětlení, nebo zda je potřeba minimálně v některých situacích používat bottom-up modely, konstruované přímo z dat bez ohledu na teorii (principy), která stojí v základech zkoumaného problému.

207 „We are not just choosing among candidate models (...) on the basis of experimental fit; rather, we are constructing a mathematical model bottom up, out of an experimental data-sequence, and then using facts about the model – facts derived from universality theory – to predict/explain other data, apparently without needing the background (...) theory at all.“ Smith (1998a, s. 141-142).

Tomuto problému zatím nebyla věnována ucelená studie, ale určité varianty bottom-up přístupu jsou jasně formulovány u Jeffreyho Koperského.<sup>208</sup> Důležitá vyjádření k tomuto problému nalézáme také v textech Adama Mortona<sup>209</sup> a Erica Winsberga.<sup>210</sup>

## 4.1.2 B-U I. Rekonstrukce fázového prostoru (Phase Space Reconstruction)

### 4.1.2.1 Koperského pojetí top-down modelování

Koperski se přiklání k názoru, že modelování se stalo základní vědeckou metodou tehdy, když se vždy na základě vědeckého zkoumání vytvoří model určitého aspektu reality. Operace s tímto modelem, ať už fyzické nebo výpočetní, poskytují jako výstup posloupnost číselných údajů. Tato posloupnost je srovnána s jinou posloupností číselných údajů, které jsou získány při aktuálním pozorování nějakého fyzikálního systému. Podle toho, jakého stupně dosáhla korespondence mezi těmito dvěma množinami číselných údajů, hovoříme o míře správnosti modelu. Model může být také modifikován, aby se dosáhlo větší korespondence, přičemž je očekáváno, že tato modifikace povede (limitně) k dosažení totožnosti obou posloupností.<sup>211</sup> Toto pojetí modelování, top-down, konstruující modely z teorie, je však podle Koperského nepřijatelné v případě teorie chaosu. Koperski píše: „Tvrdím, že namísto obvyklého „top-down“ pojetí konstrukce modelu – začít s teorií a propracovat se dolů k jevům – se výzkum chaosu převážně opírá o modely vybudované „zdola nahoru“ („bottom-up“), přímo z dat.“<sup>212</sup>

Základním příkladem top-down modelů jsou podle Koperského zjednodušující modely (simplifying models). Jako kanonický příklad můžeme uvést mechanický oscilátor. Jestliže tradičně byla mezi filozofy dávana přednost fyzikálním

208 Koperski (1998, s. 624-648).

209 Morton (1993, s. 659-674).

210 Winsberg (2001, s. S442-S454) a Winsberg (2003, s. 105-125).

211 Srov. Koperski (1998, s. 625).

212 „I argue that instead of the usual „top-down“ view of model construction – starting with theory and working down towards the phenomena – chaos research relies heavily on models built from the „bottom-up,“ directly from the data.“ Tamtéž, s. 625.

modelům před matematickými, pak v souvislosti s teorií dynamických systémů se podle Koperského prosadila liberálnější koncepce, která umožňuje používat jako modely také matematické rovnice.<sup>213</sup>

Top-down modelování je svázáno s dvojicí pojmů: zdokonalitelnost (improvability) a konvergence. Koperski konstruuje jádro tohoto pojetí (charakteristické pro Ronalda Laymona) ve třech bodech: (1) Teorie a fundamentální zákony jsou jen velmi zřídka přímo aplikovatelné na reálný svět, a proto je potřeba vytvořit zjednodušující fyzikální a matematické modely. (2) Kvantitativní předpovědi, které jsou vytvořeny s pomocí těchto modelů, se pak dají empiricky testovat. a konečně: (3) „Testování“ podle tohoto pojetí neznamena pouze to, že jsou modely potvrzeny, když poskytují správné predikce. Klíčová je podle Koperského monotónní konvergence předpovědi.<sup>214</sup> Obdobně je tomu také v bootstrappingu Clarka Glymoura.<sup>215</sup>

Jestliže systém vykazuje citlivou závislost na počátečních podmínkách, pak se jeho budoucí stav dramaticky mění v závislosti na libovolně malé změně v počátečních podmínkách. a právě zde leží problém s konfirmací chápanou jako konvergence (confirmation-as-convergence).<sup>216</sup>

Nicméně z Koperského používání citlivé závislosti na počátečních podmínkách podle mě plyne, že nedostatečně rozlišuje druhy nepředpověditelnosti a nezhodnocuje roli regulačního parametru, který je kvantitativním ukazatelem chování dynamického systému. Důležité nuance mezi kvantitativní a kvalitativní predikcí nebere v potaz. Kvalitativní predikce je pro Koperského, zdá se, jen málo důležitá, neboť přímo tvrdí, že kvalitativní predikce jsou často tak hrubé, až umožňují jen malé nebo dokonce vůbec žádné předpovědi. a nadto i v případech, kdy jsou tyto kvalitativní predikce možné, poskytují pouze velmi málo prostředků pro konfirmace jednotlivých modelů.<sup>217</sup>

213 Srov. tamtéž, s. 627.

214 Srov. tamtéž, s. 630.

215 Viz Harrell – Glymour (2002, s 256-265).

216 Srov. Koperski (1998, s. 636).

217 Srov. tamtéž, s. 639.

### 4.1.2.3 Koperského pojetí bottom-up modelování: Rekonstrukce fázového prostoru

Koperski vymezuje své pojetí bottom-up modelování na případu rekonstrukce fázového prostoru. Jako základ předpokládá existenci „přirozeného“ fázového prostoru. Ten je charakterizován jako abstraktní prostor se samostatnou trajektorií, která reprezentuje aktuální vývoj skutečného systému. Cílem rekonstrukce fázového prostoru je přitom nalezení vazby k přirozenému fázovému prostoru. Toho je dosaženo získáním spolehlivé zobrazovací relace (reliable mapping relation) z tohoto prostoru do experimentálně rekonstruovaného fázového prostoru. Jestliže takové zobrazení existuje, pak může experimentátor vyvodit dynamické vlastnosti přirozeného fázového prostoru z trajektorie v rekonstruovaném prostoru. Souhrnně Koperski poznamenává: „(...), rekonstrukční prostor je model přirozeného fázového prostoru, který, v podstatě, je pouze způsobem uvažování o systému samotném. Nejsou přitom uvažovány žádné řídicí zákony (governing laws) nebo první principy. Rekonstrukce fázového prostoru jsou vytvářeny přímo z jevu spolu se zmíněnými předpoklady.“<sup>218</sup>

Jakkoliv vyznívá toto pojetí převratně, neměli bychom zapomenout, že musí být skutečně splněny určité důležité předpoklady, na které dokonce i Koperski výše poukazuje. „Začíná se s hypotézou, že je studovaný systém deterministický, disipativní a má, alespoň principiálně, jednoznačně specifikovatelný stav.“<sup>219</sup> Akceptování těchto předpokladů nemusí být bezvýznamné nebo samozřejmé, což uvidíme později (2.4.1.5). Může implikovat přijetí určité výchozí množiny modelů čili potencionální top-down východisko.

Rozpaky právě v tomto ohledu vzbuzuje Koperského příklad s konvektivním prouděním kapaliny. Navierovy-Stokesovy rovnice, které řídí systém, nám podle Koperského, vzhledem k obtížím s analytickým řešením, nepomůžou. Vhodný korespondující fázový prostor by navíc vyžadoval nekonečný počet

218 „(...), the reconstruction space is a model of the natural phase space which, in essence, is just a way of thinking about the system itself. No governing laws or first principles are presupposed. Phase space reconstructions are built up directly from the phenomena together with the assumptions noted above.“ Tamtéž, s. 639–640.

219 „One starts with the hypothesis that the system under study is deterministic, dissipative, and has a uniquely specifiable state, at least in principle.“ Tamtéž, s. 639.

dimenzí.<sup>220</sup> Až do tohoto bodu bychom nemuseli Koperskému nic vytýkat. Následně ale uvádí, že (1) dokonce není k dispozici ani kvalitativní porozumění dynamice systému. Vzápětí ale kontruje tvrzením, že (2) vzhledem disipativnímu systému, by měl existovat nízkodimenzionální atraktor, který se projeví při dlouhodobém chování. A dále opět opakuje: rekonstrukční prostor je modelem přirozeného fázového prostoru, modelem vybudovaným přímo z dat bez přispění principů a zákonů. a přitom dokončuje, že (3) tento proces (rekonstrukce fázového prostoru) byl vyvinut za účelem konfirmace přítomnosti podivného atraktoru.<sup>221</sup>

Podle mého názoru, dokonce i v případě, že prozatím necháme stranou Koperského odlišování kvantitativní a kvalitativní predikce, se zdá být v jeho argumentaci rozpor – ačkoliv má být model vytvořen přímo z dat nezávisle na principech a zákonech, chce v tomto modelu konfirmovat přítomnost podivného atraktoru. Tento atraktor je přitom kanonickým příkladem dynamiky, která je založena na Lorenzově modelu (a tudíž i logistickém zobrazení). Je pak smysluplné hovořit o naprosté nezávislosti na top-down modelování?<sup>222</sup>

Bylo by potřeba odborného posouzení samotného matematického zpracování Koperského rekonstrukce fázového prostoru.<sup>223</sup> Nechci proto vynášet konečný soud, ale pouze poukázat na vzniklé rozpory.

Je třeba dodat, že Koperski nevynechává své bottom-up pojetí pouze vůči top-down pojetí, ale také vůči výkladu, který by tyto modely chápal jako pouze fenomenologické (phenomenological model). Takové modely považuje Koperski za pouhé heuristické prostředky k aproximaci křivek (heuristic curve-fitting device).

220 Srov. tamtéž, s. 640.

221 Srov. tamtéž, s. 640–641.

222 Pro dokreslení těchto rozporů připojuji ještě toto Koperského shrnutí: „In sum, the experimentalist begins with the methodological assumption that the physical process to be studied is deterministic and that the dynamics could, in principle, be captured by a phase portrait. The experimentalist samples one or more independent physical quantities over some finite time. These measurements are used, a la Packard et al., to build a reconstruction space. Takens's theorems guarantee that if the reconstruction space is large enough, then almost every map from the natural phase space is a topological embedding, and so the embedding space is a faithful representation of the natural phase space. Additional conditions can be added to change „topological“ to the stronger differentiable embedding.“ Tamtéž, s. 644.

223 Viz tamtéž, s. 641–644.

Experimentátory při jejich vytváření nezajímá, zda veličiny v modelu označují reálné vlastnosti, nevšímají si toho, zda se celek podřizuje prvním principům. Navíc je situace podle Koperského opačná v tom ohledu, že rekonstrukce fázového prostoru není testována oproti naměřeným datům, protože je s daty nevyprostitelně svázána. a tak se dopouští Koperski i následujících dvou velmi silných tvrzení. (4) Vzhledem k velmi úzkému propojení rekonstrukčního fázového prostoru s časovými posloupnostmi pozorování může být touto rekonstrukcí počítačová překážka (computational gap) nejen přemostěna, ale dokonce i úplně eliminována. (5) Vzhledem k tomuto propojení nemohou být modely nesprávné.<sup>224</sup>

#### 4.1.2.4 Kritika Koperského pojetí

Podle Koperského tvrzení existuje rozdíl mezi rekonstrukcí fázového prostoru a tradičními numerickými metodami. Tvrdí, že rekonstrukční prostory jsou modely, které spadají do široké kategorie stavových prostorů. Jejich konstrukce se přitom liší od známějších fázových portrétů (phase portraits). Ty jsou produkovány při numerické integraci matematických modelů typu Lorenzových rovnic.<sup>225</sup> Nemá smysl zpochybňovat nastolený rozdíl. Lorenzovy rovnice představují speciální matematický model. To je samozřejmě pravda. Ovšem tento model není uplatnitelný vždy. Na druhou stranu, silnou vlastností teorie chaosu je, že určitá množina modelů (např. zmíněné logistické zobrazení) je aplikovatelná na širokou paletu problémů, u nichž je společnou charakteristikou právě dynamika popisovaná podivným atraktorem. Je pak otázkou, zda nalezení podivného atraktoru prostřednictvím rekonstrukce fázového prostoru může označit za čistě bottom-up modelování.

Navíc se podle mě dopouští Koperski ještě dalších tří příliš silných tvrzení. (1) Tvrdí, že při bottom-up modelování: (a) nejsou vyžadovány principy nebo fundamentální zákony, (b) nejsou zaváděny idealizace nebo zjednodušení a (c) na rozdíl od kvantitativních predikcí top-down modelování poskytuje bottom-up většinou kvalitativní predikce. (2) K rekonstrukci fázového prostoru není podle Koperského potřeba žádných modelů, fyzikálních ani matematických, začíná

224 Srov. tamtéž, s. 645.

225 Srov. tamtéž, s. 646.



se přímo s fenoménem. (3) Bottom-up modelování je, tvrdí Koperský, novinkou. Odvolává se na typické směšování bottom-up modelování a fenomenologických modelů a na protěžování top-down modelů v kanonických textech.<sup>226</sup>

Souhrnně se domnívám, že Koperski přeceňuje roli citlivé závislosti na počátečních podmínkách a nedoceňuje roli regulačních parametrů (např. Ljapunovův exponent), které umožňují celou řadu predikcí. Jeho pojetí kvalitativní predikce je třeba konfrontovat se Smithem. Ten považuje kvantitativní predikce v chaosu za možné právě skrze parametry. Bottom-up modelování Koperski přeceňuje, domnívám se, že kdyby poukázal na kvantitativní rysy chaosu, tak by se více ukázalo, nakolik se v bottom-up modelování jedná o hledání určitých charakteristik v datech. Top-down modely jsou stále nutné, ale je třeba stanovit způsoby jejich použití (2.4.1.5).

#### 4.1.3 B-U II. Mediující modely (Mediating models)

Adam Morton se zaměřuje na dva, v tradičních diskusích zanedbávané problémy. Týkají se: (1) matematických modelů, které mediují (mediate) mezi ortodoxními vědeckými teoriemi a praktickými předpověďmi, (2) filozofické otázky, jak spolu souvisejí omezení explanační mohutnosti na jedné straně a způsobnosti k předpovědím na straně druhé.<sup>227</sup>

Odhlédneme-li od několika nepřesností, jichž se Morton při vymezení teorie chaosu z mého pohledu dopouští,<sup>228</sup> je pro naše účely vhodné prozkoumat

226 Srov. tamtéž, s. 646-647. Přitom lze, podle Jana Andrese, bottom-up modelování ve smyslu rekonstrukce fázového prostoru chápat jako běžnou součást kvalitativní analýzy již od dob Poincarého.

227 Srov. Morton (1993, s. 660).

228 Závažně tvrdí, že nutnost využívání mediujících modelů je dána dvěma problémy: (1) nemožností přímo řešit dynamické rovnice, (2) přítomností chaosu v dynamickém systému. Přitom si neuvědomuje, že tyto dva problémy jsou zásadně provázány. Dělení problémů řešených modely na ty, které jsou založeny na nemožnosti přímo řešit rovnice, a ty, které jsou chaotické, nedává dobrý smysl – druhé jsou podmnožinou prvních. „The two problems are different in kind, in that the first problem (unsolvability/uncomputability) is a problem we have in getting answers out of a theory, while the second problem (chaos) is a problem about the physical systems itself.“ Morton (1993, s. 661). Dokonce tvrdí, že: „Moreover the modelling assumptions are not usually straightforward approximations to consequences of the governing theory. One reason for this is that the exact facts corresponding to the modelling assumptions may be among the phenomena that don't flow easily from the underlying equations. On the other hand they are far from arbitrary, and they are rarely made with an eye only to ease of computation. Instead, they are made on the basis

vlastnosti jeho mediujících modelů, neboť nápadně připomínají bottom-up modely diskutované u Koperského. Mediující modely charakterizuje Morton následovně: „Mediují mezi řídicí teorií, kterou považují za pravdivou, ale nedokážící popsat některé v pozadí ležící procesy, a jevy, které produkují, ale které teorie jednoduše neodhalí.“<sup>229</sup>

Mediující modely se vyznačují: (1) účelovostí (purposerelativity), (2) nekompatibilitou (incompatibility), (3) epistémickou ohraničeností (epistemic boundedness). K první charakteristice Morton uvádí, že je model zaměřený na konkrétní třídu cílových předpovědí, obvykle vybraných s ohledem na nějaký praktický záměr. Přičemž od něj nelze očekávat poskytování přesných nebo dokonce srozumitelných výsledků mimo tuto třídu. Nekompatibilitou má Morton na mysli schopnost odlišných modelů poskytovat odlišné predikce, a že tyto predikce mohou být dokonce logicky neslučitelné.<sup>230</sup>

Epistémickou ohraničeností má Morton na mysli skutečnost, že se mediující modely nikdy nestanou teoriemi, ale přesto mají explanační sílu. Úspěšný model není pojímán jako pravdivý popis fyzikálního systému. „Pravda“ je dána řídicí teorií. Nejdůležitější Mortonovo shrnutí je následující: „Co je nové a význačné v naší současné vědě, je existence komplexních mediujících modelů, které samy o sobě mají explanační mohutnost a které vyjadřují techniky modelování, které mohou být zlepšeny a postoupeny následným modelům. a to i přesto, že modely nikdy samy o sobě nemohou sloužit jako zakládající teorie.“<sup>231</sup>

Podle mého domnění se právě při hodnocení takovéhoho pojetí modelů ukazuje oprávněnost mého tvrzení v úvodu, že problém vztahu mezi vědami může být podstatný také v problematice modelování ve vědě. Morton si totiž neuvědomuje, že modely, které se používají pro popis dynamických systémů

---

of physical intuition (SIC!), inductive reasoning, and intelligent guesswork about the workings of the system being modelled.“ Tamtéž, s. 662-663.

229 „They mediate between a governing theory, which i take to be a true but unmanageable description of some underlying processes and the phenomena which they produce but which the theory does not easily yield.“ Tamtéž, s. 663.

230 Srov. tamtéž, s. 663-664.

231 „What is new and distinctive in the science of our time is the existence of complex mediating models which themselves have explanatory power and which embody techniques of modelling which can be refined and passed down to successor models, even though the models never themselves can function as background theories.“ Tamtéž, s. 664.

s různými základnami (ve fyzice, v chemii, v ekonomii), jsou přesto zakotveny v určitém teoretickém rámci – v teorii chaosu či obecněji teorii dynamických systémů, a tudíž je nemá smysl situovat do role zcela nezávislých mediátorů.

Také Mortonovy úvahy nad explanací a predikcí jsou poznamenány nevyjasněností základní povahy teorie chaosu. Morton používá pojmu atraktoru a univerzality, aniž by jasně stanovil jejich matematickou definici a striktní použití v teorii chaosu.<sup>232</sup> Mnoho jeho prohlášení pak získává pouze vágní podobu.<sup>233</sup>

Největším znehodnocením Mortonova pojetí je ovšem rozpor, kterého se dopouští. Tvrdí totiž, že vysvětlení dosažená prostřednictvím použití modelu jsou méně uspokojivá než ta získána prostřednictvím řídicí teorie. (Samozřejmě vzápětí znovu připomíná, že nemůžeme dosáhnout toho, aby nám samotná řídicí teorie poskytla více vysvětlení.) Podle jeho názoru není jisté, zda to platí ve všech případech, neboť v případě popisu chaotických systémů to vypadá, že používáme modely, které mají v určitých ohledech stejnou explanaci mohutnost jako původní teorie.<sup>234</sup> Takové tvrzení zpochybňuje samotný smysl používání modelů. Je zvláštní srovnávat explanaci sílu teorie a modelu – pokud předpokládám nutnost modelu k explanaci. Tento rozporný závěr, předpokládám, je důsledkem pojmové nejasnosti Mortonova zkoumání.

Tento můj závěr koresponduje i se závěrečným Mortonovým hodnocením pojmu mediující model. Přiznává totiž existenci mnoha druhů modelů v rámci skupiny, již nazval „mediující modely“. Poukazuje na to, že zahrnuje modely, které nejsou svázány s řídicí teorií, stejně tak jako modely, které jsou spojeny s teoriemi, ale nepokládají se za méně pravdivé než teorie. Uzavírá požadavkem taxonomie a nových pojmenování.<sup>235</sup>

232 Morton se ve svých úvahách opírá v podstatě hlavně o Prigogina. Viz Morton (1993, s. 674).

233 „Physical intuition can be expected to play a role here, as can a rule of thumbish inductively based tradition of what works and what doesn't, but the core of any systematic modelling along these lines has to be some very general mathematical treatment of 'universality', the way that very different systems seem to have parallel patterns of attractors.“ Tamtéž, s. 666. Stejně vágně Morton prohlašuje vysvětlení, které je založeno na mediujících modelech, za kontrastní (contrastive explanation). „T explains why p rather than q, but does not explain why p rather than r, it will also be natural to say that T explains why p (rather than q) but not why not-r, although r entails not-p.“ Tamtéž, s. 667. Vysvětlení založené na mediujících modelech tak má omezenou sílu. „(...) explanations derived from a mediating model have quite restricted contrastive force.“ Tamtéž, s. 668.

234 Srov. tamtéž, s. 670.

235 Srov. tamtéž, s. 673.

### 4.1.4 B-U III. Počítačové simulace

Eric Winsberg charakterizuje výchozí situaci modelování tak, že pokud se snažíme porozumět nějakému reálnému systému, pak předpokládáme dvojí: (1) znalost stavebních kamenů systému a (2) znalost zákonů, které řídí chování těchto základních stavebních kamenů. Jestliže je systém popsán soustavou diferenciálních rovnic, přičemž je matematicky nemožné najít analytické řešení těchto rovnic, pak je model nazýván „neintegabilním“.<sup>236</sup> V tomto ohledu před sebou máme klasický scénář výchozího popisu chaotického dynamického systému.

Simulaci si, podle Winsbergova poukázání, nesmíme představovat jednoduše jako pouhé převedení diferenciálních rovnic na rovnice diferenční a numerické iterování. K úspěšnému simulování, které bude přesně reprezentovat pohyby komplexního nelineárního systému, je potřeba použít mnoha „obchodních triků“.<sup>237</sup>

#### 4.1.4.1 Ad hoc modelování

Problém popisu nelineárních dynamických systémů staví vědce před nutnost používat modelů, Winsberg je označuje jako ad hoc modely (ad hoc models). Přitom rozlišuje eliminativní a kreativní ad hoc modely. Při eliminativním ad hoc modelování dochází k tomu, že je při simulaci zanedbán některý důležitý faktor nebo vliv (zahrnutý v komputačním modelu), protože by jeho použití činilo výpočet velmi obtížným, a nebylo by tudíž praktické. Kreativní ad hoc modelování pracuje s představou ad hoc modelů obsahujících často určitý druh relativně jednoduchého matematického vztahu, který je vhodný k aproximativnímu zachycení nějakého fyzikálního účinku. Pokud je tento jednoduchý vztah vhodně spojen s více matematickými vztahy dotyčné simulace, umožní vzniklé modely produkovat výsledky mnohem realističtější než by byly, pokud bychom tento fyzikální účinek nevzali v potaz.<sup>238</sup>

Winsberg se domnívá, že nová epistemologie, která využívá simulací prostřednictvím ad hoc modelů, se od tradiční epistemologie odlišuje ve třech

236 Srov. Winsberg (2001, s. S 444).

237 Srov. tamtéž, s. S 444.

238 Srov. tamtéž, s. S 445.

základních charakteristikách, neboť je: (1) sestupná (downward), (2) autonomní v důsledku nedostatku dat (autonomous) a (3) pestrá (motley).<sup>239</sup>

Winsberg dále předpokládá (a) postup filozofie vědy založený na vyvozování důsledků z teorie a jejich srovnání s daty jako něco nového (SIC!). Také tvrdí, že (b) filozofie vědy tradičně hovořila o srovnání modelu s daty, což také selhává, neboť simulační techniky se používají právě proto, jelikož potřebná data nejsou k dispozici. a konečně (c), i přes význačnost teoretického přístupu je naše teoretické poznání jen jednou částí, která je při simulaci používána.<sup>240</sup>

Můžeme si tak všimnout zásadní odlišnosti přístupu Winsberga na rozdíl od Koperského a Mortona. Tam kde Koperski a Morton ohlašují význam bottom-up modelování, poukazuje Winsberg na, z jejich pohledu překonané, top-down modelování.

#### 4.1.4.2 Vztah teorie a modelu při simulaci

Winsberg se pokouší ujasnit vztah mezi teorií a modelem. Ačkoliv jeho výchozí kritika SYTu prozrazuje, že si není příliš vědom mimoběžnosti perspektiv SYTu a SETu, je z jeho postupu patrná snaha nevnímat model perspektivou SYTu v jeho logické vazbě na teorii.<sup>241</sup>

Přestože i pro SET je důležité pojmání modelu jako abstraktní entity, není Winsberg spokojen ani s tímto přístupem. Klade si otázku, zda máme chápat zákony, rovnice a mechanické modely, které simulace používá, jako výchozí bod, jako specifikace trajektorií ve fázovém prostoru. a naopak se táže, zda máme chápat simulace coby pouhý proces matematického výpočtu trajektorií ve fázovém prostoru, trajektorií, které už byly specifikovány v zákonu. Dle jeho názoru nikoliv. Neboť když vezmeme v úvahu komplexitu procesu získávání záruk (deriving warrant) pro simulaci výsledků, a rozsah, v němž tento proces zahrnuje prvky vnější čemukoliv, co bychom mohli smysluplně učinit součástí teorie, pak by bylo velmi nerealistické interpretovat proces vytváření záruk jako něco, co se týká vztahu výsledků k nějakému formálnímu modelu. Winsberg se domnívá: pouze tehdy, když pojmáme simulace jako prostředky k dosažení přímé

239 Srov. tamtéž, s. S 447.

240 Tamtéž, s. S 447- S 448.

241 Srov. tamtéž, s. S 449.

reprezentace reálného systému a nikoliv abstraktního modelu, dává epistemologie simulace (epistemology of simulation) smysl.<sup>242</sup>

Z Winsbergova dalšího hodnocení vyplývá, že abstraktní model tvoří teoretickou část vědeckého popisu, zatímco simulace je nutnou praktickou částí. Simulace je praxí, v níž důvěra v modely, které konstruujeme, závisí na několika faktorech, z nichž žádný není garantován naším teoretickým věděním. Závísí na (1) nám známých faktech o našich počítačích a grafických technikách, (2) důvěře v naše různé ad hoc modely, které používáme a které jsme odvodili z laboratorní zkušenosti a pozorování, (3) naší schopnosti kalibrovat modely na empirické výsledky a (4) důvěře v předpokládané schopnosti lidí provádějících simulace a rozhodujících o stupni podobnosti mezi odlišnými třídami zobrazení.<sup>243</sup>

Souhrnně Winsberg zdůrazňuje potřebu soustředit v rámci filozofie vědy pozornost na (1) konkrétní modely, neboť ty, na rozdíl od abstraktních teorií, představují prostředek reprezentace reálných systémů. Stejně poukazuje na (2) potřebu zkoumat význam teorie pro konstrukci modelu, přičemž má být modelu uznána jeho autonomie.<sup>244</sup>

#### 4.1.4.3 Simulace – mezi teorií a experimentem

Další zpřesnění své koncepce přináší Winsberg ve svých nejnovějších textech.<sup>245</sup> Předkládá kritiku mediujících modelů, především kritiku představy o možnosti autonomních modelů. Výstižnější je pojímat modely jako semiautonomní. A to z toho důvodu, že modely ztělesňují velkou část teorie, s níž jsou spojeny.<sup>246</sup> Ke vztahu modelu a simulace Winsberg podotýká: „Používám termín „simulace“, abych odkazoval k ucelenému procesu výstavby, činnosti a vyplývání z počítačích modelů. Simulace jsou založeny na modelech, ztělesňují předpoklady modelů a postupně produkují modely jevů.“<sup>247</sup>

242 Srov. tamtéž, s. S449-S450.

243 Srov. tamtéž, s. S450.

244 Srov. tamtéž, s. S453.

245 Winsberg (2003, s. 105-125).

246 Srov. tamtéž, s. 106.

247 „I use the term „simulation“ to refer to comprehensive process of building, running, and inferring from computational models. Simulations are based on models, they incorporate model assumptions, and they in turn produce models of phenomena.“ Tamtéž, s. 107.

Vztah počítačové simulace a experimentování je tradičně nazírán třemi možnými způsoby: (1) počítačové simulace představují pouze hrubou výpočetní sílu, (2) simulace jsou speciální svou schopností napodobovat reálné systémy,<sup>248</sup> (3) simulace představují třetí mód vědy – něco mezi teorií a experimentem.

Druhá možnost podle Winsberga zahrnuje vytváření algoritmů, které přesně napodobují zkoumaný fyzikální systém, implementaci algoritmu do počítače a provádění počítačových experimentů, které by měly přinést odpovědi na naše otázky ohledně zkoumaného systému.<sup>249</sup>

V souvislosti s třetí možností nastiňuje Winberg několik zajímavých filozofických otázek týkajících se počítačových simulací. Jak je možné, že počítačové simulace, které jsou ve své podstatě teoretickým počinem, získávají charakteristiky experimentování? Winsberg také zkoumá, co jsou tyto charakteristiky, pokud je rekonstruujeme na abstraktní úrovni. Zajímavou otázkou také je, jaké následky bude mít tento hybrid mezi teorií a experimentem pro porozumění povaze modelování, teoretizování a experimentování. Poslední výzvou je také otázka, jak simulace produkuje vědění a jakého druhu toto vědění vlastně je.<sup>250</sup>

#### 4.1.5 Kritika některých pojetí modelů

Harrell a Glymour<sup>251</sup> se pokoušejí o zhodnocení některých revizí pojetí modelu v kontextu nelineární dynamiky (Koperski,<sup>252</sup> Rueger a Sharp<sup>253</sup> ad.). Poukazují na módní přístup, podpořený rozvojem nelineární dynamiky, který přisuzuje hlavní konfirmační úlohu modelům. Předpokládá se, že modely jsou konfirmovány nebo vyvráceny přímo prostřednictvím pozorování, zatímco teorie odvozují svou konfirmaci pouze z konfirmace modelů, s nimiž jsou spjaty. Tradiční (top-down) pojetí modelování je kritizováno podle Harrella a Glymoura především v textech Ruegera, Sharpa a Koperského. Prvně jmenovaní se domnívají, že charakteristiky dynamiky (např. atraktory, Ljapunovovy exponenty), a dokonce i to, zda systém je nebo

248 „(...) what distinguishes genuine simulations from mere number crunching is that simulations have genuinely „mimetic“ (...) characteristics.“ Tamtéž, s. 110.

249 Srov. tamtéž, s. 115.

250 Srov. tamtéž, s. 118.

251 Harrell – Glymour (2002, s. 256-265).

252 Koperski (1998).

253 Rueger – Sharp (1996, s. 93-112).

není chaotický, jsou vyvozovány přímo z dat bez intervence pomocných hypotéz nebo modelů. Koperski považuje citlivou závislost na počátečních podmínkách za neslučitelnou s procedurálním pojetím konfirmace teorií.<sup>254</sup>

Kritika Ruegera a Sharpa poukazuje na jejich nerefektovaný předpoklad, že hodnotu Ljapunovova exponentu lze vyvodit přímo z experimentálních dat. Správně požadují, aby vědci bod za bodem nesrovnávali data s numerickými simulacemi, ale raději srovnávali teoretické invarianty pohybu (např. Ljapunovův exponent) s těmi, které jsou vypočteny na základě dat. Platnost procedury (a tím i pojetí Ruegera a Sharpa) přitom ale závisí na tom, zda můžeme skutečně spolehlivě vyvozovat hodnotu invariantů (Ljapunovova exponentu) přímo z dat. Podle Harrella a Glymoura se touto otázkou Rueger se Sharpem nezabývají. a to je hlavní problém.

Souhrnně tak podle Harrella a Glymoura platí: (1) Rueger a Sharp předpokládají, že rysy dynamiky mohou být vyvozovány ze samotných časových posloupností pozorování. (2) Koperski předpokládá, že vzhledem k nepřesnosti pozorování nemůžou být charakteristiky dynamiky vyvozovány ze samotných časových posloupností pozorování.<sup>255</sup>

Harrell a Glymour si tak kladou za cíl přesnější vymezení pojmu spolehlivého vyplývání (reliable inference). Snaží se přejít od vágních vyjádření k matematickému zakotvení. Přináší definici spolehlivé inference,<sup>256</sup> a poté se zaměřují na spolehlivou inferenci v jednodimenzionální chaotické dynamice.

Rueger a Sharp vkládají do nelineární dynamiky velké naděje, neboť se domnívají, že v jejím rámci může být dosaženo odstranění napětí mezi vysvětlením (pomocí jednoduché teorie) a reprezentací reálného fenoménu. Řečeno polemicky vůči Cartwrightové – zákon může být pravdivý.<sup>257</sup> Domnívají se, že se inference v nelineární dynamice obejde bez přispění modelů. Při proceduře

254 Srov. Harrell – Glymour (2002, s. 257).

255 Srov. tamtéž, s. 258.

256 „Let  $W$  be a set of data streams,  $H$  a hypothesis, and  $F$  an inference function for  $W$ . We define the following senses of reliability: (uvádím ty, které v dalším používají) (1)  $F$  verifies  $H$  in the limit in  $W$  iff for all data streams  $d$  in  $W$ , if  $d$  is in  $H$ , there are at most a finite number of initial segments of  $d$  for which the value of  $F$  is 0 or is undefined, and if  $d$  is not in  $H$  there is an infinity of initial segments of  $d$  for which the value of  $F$  is 0 or undefined. (2)  $F$  gradually refutes  $H$  in  $W$  iff for all data streams  $d$  in  $W$ ,  $F$  converges to 0 as the initial segment length increases without bound if and only if  $d$  is not in  $H$ .“ Tamtéž, s. 260-261.

257 Srov. Rueger, Sharp (1996, s. 94).



rekonstrukce je jediným požadavkem na systém to, aby jej bylo možné popsat diferenciální dynamikou.<sup>258</sup> Tento předpoklad přitom nemůže být nazván modelem. Aplikace jednodimenzionálního zobrazení na Bělousovovu-Žabotinského reakci je tak možná, ve smyslu srovnání teorie a jevu, a to bez dovolávání se modelů, které mediují mezi teorií a jevem.<sup>259</sup>

Jsou dokonce ochotni tvrdit, že když srovnáváme atraktory vypočtené z teorie s korespondujícími charakteristikami rekonstruovanými z časových posloupností, nekládáme mezi teorií a data model. Atraktory, jejich dimenze, Ljapunovy exponenty a jiné charakteristiky všechny považují za invarianty systému, které jsou modelově nezávislými rysy dynamiky. a dokonce uzavírají svou argumentaci silným tvrzením: „Fyzikové klasifikují nelineárně dynamické teorie jako jednodimenzionální zobrazení pro Bělousovovou-Žabotinského reakci, jako fenomenologické, protože tyto teorie nezahrnují modely o detailním (konkrétně kauzálním) mechanismu reakce (...).“<sup>260</sup>

Vidíme, že tam, kde Koperski hovoří o bottom-up modelech, vidí Rueger a Sharp přímo fenomenologické teorie. Podle mého je pojetí Ruegera a Sharpa příliš extrémní. Proč pojímat logistické zobrazení jako teorii? Proč se domnívat, že použitá diferenciální rovnice nemá povahu modelu?

Harrell a Glymour se snaží ukázat, že postup Ruegera a Sharpa je oprávněný, ale jejich pojetí vyplývání ústí do mnohoznačnosti. Tato mnohoznačnost je dána nejasností, jaký druh spolehlivosti (reliability) mají Rueger a Sharp na mysli. Při hodnocení Koperského poukazují na to, že Koperski sice správně tvrdí, že s nepřesnými daty nemůže aproximace konvergovat k pravdě, nicméně toto omezení se týká dynamických veličin, u Ljapunova exponentu přitom není odpověď jasná.<sup>261</sup>

Toto hodnocení Koperského nás odkazuje k úvahám, nakolik jsme v teorii chaosu odkázáni „pouze“ na kvalitativní předpovědi. Hodnota Ljapunova exponentu by mohla být právě jedním z kvantitativních ukazatelů teorie chaosu.<sup>262</sup>

258 Rueger a Sharp uvádějí diferenciální rovnici  $\frac{dx(t)}{dt} = F(x(t))$ . Srov. tamtéž, s. 107.

259 Srov. tamtéž, s. 107.

260 „Physicists do classify NLD theories like the one-dimensional map for the BZ reaction as phenomenological because these theories do not involve models of the detailed (in particular, causal) mechanism of the reaction (...).“ Tamtéž, s. 108.

261 Srov. Harrell – Glymour (2002, s. 263).

262 Je ovšem zajímavou otázkou, nakolik může i samotná hodnota Ljapunova exponentu (respektive regulačního parametru) citlivě záviset na určitých počátečních podmínkách.

### 4.1.6 Bottom-Up a Top-Down - zhodnocení

V předchozích přístupech můžeme vysledovat snahu autorů o zviditelnění nového aspektu modelů v teorii chaosu, který můžeme souhrně označit za bottom-up přístup. Jak už jsem zmínil, Peter Smith si kladl v této souvislosti otázku, zda se v případě modelování v teorii chaosu nedostáváme do kontaktu s mnohem radikálnější podobou experimentalismu. Takového, který není spojen jen s pouhým vybíráním vhodného modelu z množiny kandidátů na základě experimentální vhodnosti, ale spíše s konstruováním matematických modelů „zdola nahoru“ (bottom up), přímo z posloupnosti dat, získaných při experimentu. Pak je použito poznatků o modelech, které se opírají o jejich univerzalitu, k předpovědím a vysvětlením jiných dat. A to bez potřeby zlosti zakládající teorie.<sup>263</sup>

Viděli jsme, že Koperski uvádí jako konkrétní příklad bottom-up modelování rekonstrukci fázového prostoru a pokládá nový druh modelování, v opozici k tradičnímu top-down přístupu, pro chaotické dynamiky za jediný možný. Výše jsem už uvedl pochybnosti vůči Koperského nedostatečnému odlišení jednotlivých druhů predikce, dosažitelné v teorii chaosu. Naopak Rueger a Sharp vidí na místo bottom-up modelování přímo fenomenologické teorie, což je přístup, proti němuž se Koperski ohrazuje. Oba tyto přístupy byly Harrellem a Glymourem označeny za příliš vágní a ponechaly tak, především kritikou Koperského radikálního pojetí Ljapunovova exponentu, prostor pro obhajobu top-down modelování.

Přístup podobný Koperskému můžeme najít u Adama Mortona v jeho pojetí mediujících modelů, které slouží k propojení experimentálních dat a teorie, která není přímo aplikovatelná. Bohužel Mortonovo pojetí mediujícího modelu je opět příliš vágní a jednoznačné argumenty pro bottom-up přístup nepředkládá. Pro Erica Winsberga je hlavním cílem vymezení počítačové simulace jako specifického prostředku mezi teorií a experimentem. I když jeho pojem ad hoc modelu může připomínat bottom-up modelování, v protikladu

---

Například při představě dvou logistických rovnic, které jsou vzájemně provázané. Regulační parametr každé z nich je totiž veličinou, jejíž vývoj postihuje druhá rovnice. Např.:  
 $y_{n+1} = 4x_n y_n (1 - y_n)$ ,  $x_{n+1} = 4y_n x_n (1 - x_n)$ , kde  $y_i, x_i \in [0, 1]$ .

263 Srov. Smith (1998, s. 141-142).

k Mortonovi a Koperskému pokládá nelineární dynamiku za specifickou právě používáním modelů, které jsou aplikovány na experimentální data, což je charakteristický top-down přístup.

Můžeme tak vidět značnou nevyjasněnost pojetí modelu v teorii chaosu, což nám dává příležitost odstranit pojmovou konfúzi a navrhnout vyvážené řešení. Koperski je očividně fascinován citlivou závislostí na počátečních podmínkách, nedoceňuje roli dynamických principů, které jsou při rekonstrukci fázového prostoru využívány, zatímco Winsberg si neuvědomuje, že model byl už dlouhou dobu vnímán jako prostředek artikulace teorie a je proto potřeba ujasnit jeho specifika v nové oblasti teorie chaosu. Morton bohužel svým nejasným pojetím mediujícího modelu nepřispívá k vysvětlení role modelu v teorii chaosu, a tak lze konstruovat i radikální Ruegerovu a Sharpovu představu, která modely používané v teorii chaosu klasifikuje jako teorie.

Osobně jsem přesvědčen o tom, že bottom-up modelování vždy vyžaduje určitý top-down prvek. To, že jsem schopen chemickou reakci popsat bez znalosti chemické teorie, neznamená popsat ji bez znalostí veškerých principů. Jestliže rozpoznám chemickou reakci jako dynamický systém, pak mohu uplatnit sadu modelů, které jsou v teorii dynamických systémů užívány a z nichž každý se opírá o nějaké dynamické principy. Jak už bylo uvedeno výše, Koperski při modelování začíná s hypotézou, že je studovaný systém deterministický, disipativní a má jednoznačně specifikovatelný stav (alespoň principiálně).<sup>264</sup> Copak je taková hypotéza prostá vlivu teorie dynamických systémů? I kdybychom chtěli (jak to činí Rueger a Sharp) pojímat diferenciální dynamiku jako samozřejmou (a tudíž modelově bezvýznamnou), můžeme si dovolit stejně tak nakládat i s pojmem disipace? Vždyť disipativní systém je přesně definován a jako takový je úzce spjat s pojmem atraktoru, což tvoří jasné zázemí, na němž je budován model. Jak můžu hledat v datech chaotický atraktor a přitom se domnívat, že mé modelování je naprosto oproštěné od vlivu dynamických principů?

Podobně Smith vyjadřuje korekci přílišného experimentalismu, i s ohledem na zakládající teorii, následovně: jen díky porozumění obecným chemickým základům jsme schopni Bělousovovu-Žabotinského reakci rozpoznat jako

264 Srov. Koperski (1998, s. 639).

přístupnou zpracování coby vysoko-dimenzionální dynamický systém. A opět na základě našeho chemického porozumění takovým systémům, které jsou vzdálené daleko od rovnováhy, víme, že se jedná o silně disipativní systém. To nám poskytuje důvod předpokládat, že nízko-dimenzionální atraktor, nalezený při použití zpožděné konstrukce (time-delay construction), pravděpodobně koresponduje s „pravou“ dynamikou. Naše základní chemické porozumění Bělousovově-Žabotinského reakci je tak přece jen zahrnuto v našem zdůvodnění, že můžeme brát empiricky konstruované atraktory vážně.<sup>265</sup>

A je to právě možnost interdisciplinárního užití teorie chaosu, co nám ukazuje, že bottom-up modelování jde vždy ruku v ruce s top-down přístupem. Všude tam, kde se uplatňuje teorie chaosu, jsme schopni anticipovat chaotické chování posouzením dynamického systému. Ve většině případů je pak vývoj disipativního dynamického systému popsateľný prostřednictvím vývoje trajektorie ve fázovém prostoru. Konkrétní podoba atraktoru je samozřejmě určena právě rekonstrukcí fázového prostoru, což ale nic nemění na tom, že základní mechanismus chaotické dynamiky je klíčovým modelem, který je znám z teorie dynamických systémů.

---

265 „It is only because of our general background chemical understanding that we recognize the BZ reaction as apt for treatment as a high-dimensional dynamical system. And again, it is in virtue of our chemical understanding of such systems kept far from equilibrium that we know that this is a strongly dissipative system (...). That gives us reason to suppose that a low-dimensional attractor found when we use the time-delay construction is likely to correspond to the „true“ dynamics. So our background chemical understanding of the BZ reaction is after all involved in our justification for taking the empirically constructed attractor seriously.“ Smith (1998, s. 142).

## 5 Kde naše modely končí

Mým cílem v této poslední kapitole je poukázat na jedné straně na hranice použitelnosti teorie chaosu a na straně druhé na oblasti, v nichž lze očekávat další rozvoj nelineární dynamiky. Lze říci, že poté, co je mravenčí práce z prvních dvou kapitol hotová, mohu si dovolit určitou vizionářskou manýru. Načrtnout zajímavé výzvy, které se rýsují v hraničních aplikacích nelineární dynamiky. Výzvy, které přinášejí filozofii nový zajímavý materiál k pojmové analýze.

Tato kapitola je vlastně kontrapunktem Kellertova přístupu, který se ukazuje v jeho knize *Borrowed Knowledge*. Nemohu se ubránit přesvědčení, že se vzdal ambiciózního cíle prezentovat epistemologickou revoluci<sup>266</sup> a rozhodl se provádět „pouze“ komparativní výzkum, jehož cílem je zkoumat cross-disciplinaritu na příkladu teorie chaosu.<sup>267</sup> Modely teorie chaosu jsou tak v Kellertově přístupu používány metaforicky. Proto také analýza metafory tvoří stěžejní část Kellertovy práce.<sup>268</sup>

Domnívám se, že tento postup není jediný, který může zvolit filozof vědy, když chce zkoumat aplikaci teorie chaosu. Cesta zkoumání nemetaforického, interdisciplinárního použití teorie chaosu či lépe nelineární dynamiky je možná, a to nikoliv v podobě referování o zajímavých objevech v oblasti astrofyziky, neurodynamiky nebo ekonomie. Domnívám se, že existují minimálně tři aplikace nelineární dynamiky, které přinášejí zajímavé související filozofické výzvy: (1) Problém přechodnosti modelů, ten vzniká při zkoumání dynamiky sluneční soustavy<sup>269</sup> a má svou důležitost pro filozofii vědy. (2) Problém vědomí (mentální kauzality), který je zkoumán v rámci nelineární neurodynamiky<sup>270</sup> a má svou klíčovou důležitost jako součást filozofie mysli (a epistemologie). (3) Problém jednoznačnosti vývoje dynamického systému mající svůj původ

266 Vzpomeňme jeho původní úvahy o transcendentální nemožnosti, dynamickém porozumění ad.

267 Konkrétně její aplikaci v ekonomii, právu a literární vědě, viz Kellert (2008, s. 16-21).

268 Viz tamtéž, s. 103-147. Místem, kde se stýká analýza metafory s nemetaforickým použitím nelineární neurodynamiky je kniha *Modell* (2003).

269 Viz Parker (2003, s. 359-382).

270 Freeman (1999). Edelman – Tononi (2000). Smith (1998a, s. 143-146).

v oblasti nejednoznačné analýzy<sup>271</sup> v matematice a má svou důležitost pro filozofii vědy a konkrétně filozofii matematiky. V následujícím textu první dvě z těchto aplikací přiblížím. Třetí problém ponechávám budoucímu studiu.<sup>272</sup>

Ještě před tím, než tyto dva zajímavé problémy nastíním, je ale třeba ohraničit aplikovatelnost teorie chaosu. Žádná teorie není vševysvětlující, naopak, poukazem na hranice její použitelnosti vykonáváme důležitou službu dalšímu rozvoji vědy.<sup>273</sup>

Jestliže jedním ze základních znaků chaotické dynamiky je nelinearita, která byla v klasických idealizacích odstraňována, ale je přitom u většiny zkoumaných reálných systémů pravidlem, pak naopak dynamika charakteristická pro kvantovou mechaniku je typicky lineární. Tato skutečnost je často vnímána jako velká výhoda teorie dynamických systémů oproti kvantové mechanice.<sup>274</sup> Problém, s nímž se ovšem každý model teorie chaosu musí vyrovnat, je platnost stínového lemma (shadowing lemma). Přičemž platnost tohoto lemma je zajištěna pouze za splnění podmínky hyperbolicity.

## 5.1 STÍNOVÉ LEMMA

Jestliže si ještě před šestnácti lety mohl Stephen Kellert dovolit spekulovat nad podobou definice deterministického chaosu a nad důkazem chaotičnosti Lorenzova atraktoru, pak v současnosti už nelze o těchto základech teorie chaosu pochybovat. Nicméně když dospěje teorie do stavu takového ukotvení, po období bouřlivého rozvoje,<sup>275</sup> je tato pojmová ujasněnost zároveň vykoupena zjištěním, co vše se dané teorii vymyká.<sup>276</sup>

271 Andres – Fürst – Pastor (2009). Boumans (2003, s. 308-329). Odenbaugh (2003, s. 1496-1507).

272 Čtvrtou zajímavou možností je také vytěžení metafory „kritické opalescence“ Petra Galisona, kterou jsem již výše citoval (1.4.3). Galison zkoumá kontext objevu prostřednictvím úvah nad vzájemným působením tří systémů: technologie, vědy a filozofie. Právě z dynamiky tohoto vzájemného působení se v okamžiku „kritické opalescence“ vynořila speciální teorie relativity. Aplikace teorie dynamických systémů na poli zkoumání vývoje vědy představuje další zajímavou výzvu pro filozofii vědy. Tento postřeh také vyjadřuje mou alternativu ke Kellertovu použití metafor teorie chaosu.

273 Srov. Popper (1997, s. 20).

274 Alespoň tak situaci vnímá Jan Andres, který mě na tuto diskuzi mezi nelineární dynamikou a kvantovou mechanikou upozornil.

275 Gleick hovoří o změně paradigmatu, třetí vědecké revoluci ad., srov. Gleick (1996, s. 39-43).

276 A zároveň mnohem intenzivněji vnímáme to z teorie, co není v rozporu s předchozí tradicí, nastává období opětovného navazování kontinuity.

Pro použitelnost modelů teorie chaosu je potřeba dokázat, že používaný model odpovídá zkoumanému reálnému systému. Může trajektorie vykreslená při počítačové simulaci odpovídat reálnému systému? Není chaotické chování pouze důsledkem nedokonalého výpočetního procesu, který provádí počítač? Je možné, aby chaotickému atraktoru simulovanému na počítači odpovídalo chování reálného systému? Byť samozřejmě jen v tom smyslu, že vymezuje globální charakteristiky dynamiky, ale neumožňuje lokální predikci.

Peter Smith podotýká: můžeme domnívat, že systém je citlivě závislý vzhledem k počítačovým experimentům. Proč ale pak, když je citlivě závislý, těmto počítačovým experimentům věříme? Ptá se, zda není tento rys důsledkem akumulace náhodných chyb, které jsou zavedeny při nedokonalém výpočtu. Co vlastně zaručuje závěr, že správná trajektorie systému přechází od jednoho ramene Lorenzova atraktoru k druhému v náhodném pořadí?<sup>277</sup>

Smith se správně odvolává na platnost stínových teorémů (častěji stínového lemma), které stanoví, že: „Jestliže se snažíme vypočítat, co se stane s trajektorií s počátečním bodem  $x(0)$ , pak náš výpočet, náchylný k chybám, může brzy divergovat, a to exponenciálně, od správné trajektorie. Nicméně, pro vhodné se chovající systémy bude vypočtená trajektorie aproximovat – vytvářet úzký „stín“ (will closely „shadow“) – trajektorii z nějakého jiného blízkého počátečního bodu  $x'(0)$ . Z tohoto důvodu bude chování vypočtené trajektorie stále poskytovat informaci o chování trajektorie systému (i když ne té, o níž jsme se domnívali, že ji počítáme!).“<sup>278</sup>

Stínové lemma tak zachraňuje použitelnost počítačových simulací, každý software používaný při modelování nelineárně dynamických systémů musí být ošetřen tak, aby splňoval stínové lemma.<sup>279</sup> Smith sám ale připuští, že stínové lemma platí pro systém s vhodným chováním za určitých podmínek. Podmínkou, při níž

277 Srov. Smith (1998a, s. 58-59).

278 „If we try to work out what happens to the trajectory of some point  $x(0)$ , then our error-prone computation may soon diverge, and diverge exponentially, from the true trajectory. However, for wellbehaved systems, the computed trajectory will approximate – will closely „shadow“ – the trajectory from some other nearby starting point  $x'(0)$ . Hence the behaviour of the computed trajectory will still give information about the behaviour of a trajectory of the system (just not the one we thought we were computing!).“ Tamtéž, s. 59.

279 Například program *Dynamics*.

je splněno stínové lemma, je podmínka hyperbolicity (hyperbolicity condition).<sup>280</sup> Zásadním problémem při aplikaci nelineárně dynamických modelů je pak právě skutečnost, že tato podmínka hyperbolicity, již lze podle Smithe aplikovat na většinu disipativních dynamických systémů,<sup>281</sup> platí pouze pro omezenou třídu systémů a pro reálné systémy je spíše výjimkou. Oblast aplikace teorie chaosu je tak striktně omezená.<sup>282</sup> Zde zatím naše modely končí.

## 5.2 DYNAMICKÉ SYSTÉMY NA HRANICÍCH POPISU

Tři mnou zvolené oblasti současného výzkumu lze sice obecně pokládat za dynamické systémy, ale každý z nich je výrazně specifický jak co do druhu dynamiky, tak co do podoby příslušných principů, které tuto dynamiku popisují. Souhrnně se samozřejmě dostáváme za hranice základního pojetí, jež je popsáno ve 2. kapitole.

Síla interdisciplinárního přístupu se ale ukazuje, když si uvědomíme, že tři takto odlišné systémy, v tradici vědy zařazované do naprosto odlišných disciplín a mnohdy také z vědeckého popisu úplně vyřazované, mohou být rámcově uchopeny ze stejného teoretického základu. (1) Planetární systém byl problémem pro první teoretické systémy řecké filozofie stejně jako pro první úvahy rodící se fyziky (emancipované přírodní filozofie). Především byl ale vědeckým problémem, na němž se poprvé ukázala síla Poincarého kvalitativní analýzy a tedy místem zrodu teorie dynamických systémů.<sup>283</sup> (2) Lidský mozek je samozřejmě zkoumán biologií a jejími subdisciplínami, zároveň však povaha aktivity jeho základních prvků (neuronů/synapsí) splňuje podmínky pro aplikaci dynamického popisu. Nelineární neurodynamika tak může nahlížet atraktory ve fázovém prostoru, který popisuje veličiny elektromagnetického pole zkoumaných částí lidského mozku. (3) Společnost, i její ekonomické aspekty, je často zkoumána s poukazem na svobodu aktéra vytváření sociálních vazeb.

280 Dvořáková – Lampart – Mlíchová – Obadalová (2009, s. 16-23).

281 Viz Smith (1998a, s. 59).

282 Alespoň takto význam hyperbolicity hodnotí Jan Andres.

283 Weisskopf trefně popisuje další rozdíl mezi klasickou a kvantovou fyzikou na příkladu Rutherfordova planetárního modelu atomu a Bohrova modelu atomu vodíku. Weisskopf (1972, s. 24-40).



Nejnovější podoby teorie dynamických systémů<sup>284</sup> umožňují popisovat i takto komplexní dynamiku.

### 5.2.1 Planetární systém a přechodnost modelů

Poincarého přístup k řešení problémů nebeské mechaniky je dostatečně známý.<sup>285</sup> Od doby jeho objevů byla navržena řada zpřesňujících modelů, které určovaly stabilitu slunečního systému. To, co bylo dříve nahlíženo jako přesný „hodinový stroj“, je nyní vnímáno jako relativně křehký systém, jehož stabilita je podmíněna celou řadou faktorů (parametrů), byť je tato stabilita zároveň samoorganizovaná, a tudíž vykazuje vysoký stupeň sebeudržování.

Matthew Parker uvádí přehled nejdůležitějších modelů zkoumajících stabilitu sluneční soustavy, s důrazem na Sommererův-Ottův model.<sup>286</sup> Tento model je totiž charakteristický tím, že jeho oblasti přitažlivosti (basins of attraction) jsou děravé (riddled basins of attraction). Tento specifický druh oblastí (basins) implikuje specifický druh nepředpověditelnosti, který se dle Parkera liší od běžné nepředpověditelnosti přítomné v „chaosu“, o němž jsme hovořili v předchozí kapitole. Zatímco v klasickém chaosu jsou totiž požadována velmi přesná určení počátečních podmínek (very precise initial data) pro popis chování systému v konečném čase, v případě systému s děravými oblastmi přitažlivosti je požadováno precizní určení počátečních podmínek (exact initial data) pro determinování kvalitativního chování systému v průběhu času narůstajícího bez omezení.

„A co víc, každý výpočet, který určuje dlouhodobé chování systému s děravými oblastmi přitažlivosti, musí užít kompletní precizní počáteční data, která

284 Především nejednoznačná analýza, viz Andres (2009).

285 Viz Galison (2003, s. 52-64).

286 „Sommerer and Ott’s model (1996) consists of a point particle in a two-dimensional potential, with an additional force given as a sinusoidal function of time. The motion is governed by  $\frac{d^2(x,y)}{dt^2} = -\gamma \frac{d(x,y)}{dt} - \nabla V(x,y) + ia \sin \omega t$  (1), where  $\gamma$  is the friction coefficient,  $i$  is the unit vector in the positive  $x$  direction,  $a$  is the amplitude of the periodic force,  $ia \sin \omega t$ ,  $\frac{\omega}{2\pi}$  and  $\nabla V(x,y)$  is the gradient of the potential given by  $V(x,y) = (1-x^2)^2 + sy^2(x^2-p) + ky^4$  (1a). The parameters  $s, p$  and  $k$  may be varied to obtain a family of potentials. With fixed parameters, the solutions of (1) form a dynamical system on a five-dimensional phase space: two dimensions to represent the position of the particle, two for momentum or velocity, and since the periodic force depends on time, we include time itself as a state variable.“ Parker (2003, s. 370).

obecně nemohou být konečně vyjádřena. Z tohoto důvodu jsou takové výpočty intuitivně nemožné, dokonce i tehdy, když jsou data nějak k dispozici. Na těchto základech Sommerer s Ottem (...) argumentují, že určité systémy, které vykazují děravé oblasti přitažlivosti, vyjadřují „nevypočitatelné“ („uncomputable“) chování.<sup>287</sup>

Z těchto skutečností vyplývá, že tento druh chování by se zřejmě vymykal i kvalitativní předpověditelnosti, o níž jsme hovořili výše. Pro Parkera je tento model prostředkem ke zkoumání významu nerozhodnutelnosti (undecidability) pro reálné fyzikální systémy.<sup>288</sup>

Parker si klade otázku, zda jsou modely toho druhu, který představují Sommerer a Ott, relevantní pro použití ve fyzice. Pochybnosti mohou pocházet z toho, že tyto modely jsou velmi idealizované a založené na předkvantovém pojetí světa. Konkrétně otázky po neohrazené budoucnosti modelu nemusí mít fyzikální smysl, neboť je intuitivně pochybné, že by si jakýkoliv reálný systém navždy udržoval svou podobu, a tak byl navždy spjatý s jedním modelem.<sup>289</sup>

V rámci těchto pochybností poukazuje z mého pohledu Parker na jednu velmi důležitou a ne vždy plně uvědomovanou charakteristiku modelů – jejich dočasnou použitelnost. Zde se totiž plně rozvíjí odlišnost nového přístupu založeného na modelech a tradičního přístupu používajícího pojmu zákon. Ve chvíli, kdy modely používáme jako prostředky k artikulaci principů a nikoliv jako vyjádření pravdivých zákonů, ponecháváme reálnému systému jeho

287 „What is more, any computation that determines the long-term behavior of a system with riddled basins must use the complete exact initial data, which generally cannot be finitely expressed. Hence such computations are intuitively impossible, even if the data are somehow available. On this basis, Sommerer and Ott (...) argue that a certain system that seems to have riddled basins exhibits „uncomputable“ behavior.“ Tamtéž, s. 361.

288 Podrobněji Parker k S-O modelu uvádí: „They give an analytic argument that their system (with chosen parameters) has at least two attractors, one in each well of the potential. Numerically approximated graphs seem to show the disjoint basins of both attractors occupying significant portions of each neighborhood in phase space, suggesting that the basins are riddled (...). The authors also remark that the full measure of the phase space is divided between these two basins, implying that the basins have positive measure. Inferring that a computation must make full use of exact data in order to determine membership in one of these basins, Sommerer and Ott conclude that the basins are uncomputable.“ Tamtéž, s. 370-371.

289 Srov. tamtéž, s. 376.

otevřenost a neurčitost. Předpokládáme tudíž, že žádný reálný systém není nutně takový, aby mu do budoucna odpovídal stále týž model.

Pro Parkera samotného je ale důležitější závěr, že i silně idealizované klasické, deterministické modely mohou reprezentovat chování, které je přísně nepředpověditelné. Nezabýval se skutečnou Sluneční soustavou, říká. Ta se nepochybně minimálně jednou vzhledem k disipaci energie rozpadne, ale spíše matematickým problémem, který se vynořil z klasické mechaniky. Jeho závěry demonstrovaly, jaké fundamentální teoretické obtíže vznikají dokonce i pro předpovědi jednoduchých modelů, a to dlouho před tím, než jsou vzaty v potaz nahodilosti reálného světa. Jsou to obtíže zcela odlišné od chaosu a kvantové neurčitosti.

„Viděli jsme, že i kdyby byl náš svět deterministický, klasický, přístupný přesnému měření a dobře zachycený idealizovanými modely, některé systémy by mohly stále představovat významné výpočetní překážky pro předpovědi.“<sup>290</sup>

### 5.2.2 Mozek a původ vědomí

Nelineární neurodynamika aplikuje poznatky teorie dynamických systémů na popis dynamiky neuronové sítě organického mozku. Ačkoliv se nějakou dobu vedly diskuze o použitelnosti pojmu deterministického chaosu v případě dynamiky mozku, těžko lze dnes pochybovat o aplikovatelnosti teorie dynamických systémů v této oblasti. Vždyť jak by mohla fungovat a expandovat teorie neuronální skupinové selekce (TNGS – theory of neuronal group selection) Geralda Edelmana, kdybychom ji zbavili této dynamické báze?<sup>291</sup>

Jednou z nejvýznamnějších postav nelineární neurodynamiky je zřejmě Walter Freeman. Jeho výzkumný program se zaměřuje především na smyslové modality (čich a zrak) a na konstrukci umělých smyslových orgánů. Freeman zachycuje dynamiku neuronů a skupin neuronů a snaží se najít vazbu této základní úrovně mozkové aktivity k úrovním vyšším, které jsou spjaty právě se smyslovým vnímáním. K tomuto cíli slouží Freemanovi významně právě chaos. Neboť,

290 „We have seen that even if the world were deterministic, classical, susceptible to exact measurement, and well captured by idealized models, some systems could still present significant computational barriers to prediction.“ Tamtéž, s. 377.

291 Viz Edelman – Tononi (2000, s. 82-86).

zkoumáme-li EEG, zjistíme, že není periodické jako chod hodin, ale iregulární, a proto vypadá, jako by postrádalo jakoukoliv uspořádanost (noise). Freeman tvrdí, že mikroskopická aktivita mozku je skutečně neuspořádaná (noise), ale makroskopická aktivita je chaotická. Hlavním rozdílem mezi neuspořádaností (noise) a chaosem je přitom to, že *noise* nemůže být jednoduše zastaven nebo spuštěn, zatímco chaos může být zapnut a vypnut jako světlo, protože vyjadřuje omezení neuspořádanosti (noise).<sup>292</sup>

Chaotický režim neuronální aktivity umožňuje podle Freemana efektivní začleňování nových stimulů a modifikaci uložené informace o dané smyslové modalitě. Pomocí zobrazovacích technik (nejčastěji EEG a MEG) je snímána aktivita mozku a je studována změna této aktivity při učení, rozpoznávání nebo třeba při rozhodování.<sup>293</sup> Modely teorie dynamických systémů je možné použít k popisu a zpracování získaných dat. Lze pozorovat samoorganizace neuronové sítě, komunikaci mezi úrovněmi kognitivního systému, přechody mezi periodickou a chaotickou aktivitou.

Freeman k tomu vysvětluje, že chaotická dynamika předkládá základní popis s ideálními vlastnostmi. Čichový systém nemůže zůstat v bodovém atraktoru, protože to se může stát, jen když jsou neurony tiché, přičemž neaktivní neurony atrofují a umírají. Základní aktivita neuronů ale nemůže být ani periodická, protože dříve nebo později by se pálení (firing) neuronů stalo synchronním a tak rigidním a těžko změnitelným.

Freeman píše: „Základní chaotický atraktor udržuje systém ve vysokoúrovňovém stavu připravenosti k pohybu v určitém směru. Říkáme, že systém je blízko k hranici své oblasti přitažlivosti (basin of attraction), a tak stavový přechod (state transition) k sousední oblasti přitažlivosti může nastat v důsledku malé, ale důležité poruchy (perturbation). Ve skutečnosti zde existuje posloupnost oblastí, skrze které systém přechází. Takováto trajektorie zobrazuje chaotické přecházení (chaotic itinerancy).“<sup>294</sup>

292 Srov. Freeman (1999, s. 88).

293 Pro Freemanovu teorii byly klíčové experimenty s rozpoznáváním čichových stimulů u králíků, viz tamtéž, s. 68-93.

294 „The basal chaotic attractor keeps the system in a high-level state of readiness to move in any direction. We say that the system is close to the boundary of its basin of attraction, so that a state transition to a neighbouring basin can take place with a small but significant

Edelman s Tononim se zamýšlejí nad významem vnějšího stimulu v rámci TNGS, a to v tom smyslu, že vnější signály přenášejí informaci ani ne tak samy v sobě, jako spíše tím, jak modulují vnitřní signály, které byly proměněny v dřívě zaběhlém neuronálním systému. Stimul tak nepůsobí přidáváním rozsáhlého množství vnějších informací, které je třeba zpracovat (processed), ale amplifikuje vnitřní informace, které jsou výsledkem neuronálních interakcí vybraných a stabilizovaných v paměti skrze dřívější střety s prostředím.<sup>295</sup> Freeman může tuto představu ujasnit pojmy teorie dynamických systémů. Uvádí, že nepředpověditelnost, inherentní v chaotických trajektoriích, přivádí s každým novým stavovým přechodem do konstrukce flexibility a kreativity. Chaos generuje ne-řád (disorder), potřebný pro vytváření nových pokusů v rámci učení metodou pokus-omyl (trial-and-error learning), a pro vytváření nových oblastí přitažlivosti při asimilování nových stimulů. Vysokofrekvenční oscilace chaosu maximalizují pravděpodobnost shody pálení (firing) neuronů. Tato shoda je vyžadována při procesu hebbovského učení. V důsledku toho jsou mozky zaplavené chaosem, který poskytuje optimální rovnováhu mezi flexibilitou a stabilitou a také mezi přizpůsobivostí (adaptiveness) a závislostí (dependability).<sup>296</sup>

Stejně jako Edelman i Freeman se pokouší vytvořit hypotézu o vzniku vědomí, jeho neuronálním základu a evoluční roli, která vědomí umožnila. Na rozdíl od Edelmana však zůstává Freeman u metaforických vyjádření, popisuje vědomí jako globální operátor nebo hemisférický atraktor a poukazuje na jeho integrativní roli.<sup>297</sup> Edelman a Tononi jsou autory hypotézy dynamického jádra (dynamic core hypothesis) představující testovatelnou teorii původu a funkce primárního vědomí (primary consciousness).<sup>298</sup> Všechny klíčové součásti hypotézy dynamického jádra jsou vyjádřeny prostřednictvím pojmů teorie

---

perturbation. There is actually a sequence of basins through which the system passes. Such trajectory reflects chaotic itinerancy.“ Tamtéž, s. 89-90.

295 Srov. Edelman – Tononi (2000, s. 137).

296 Srov. Freeman (1999, s. 90).

297 Srov. tamtéž, s. 37-38, 121-147.

298 „(1) a group of neurons can contribute directly to conscious experience only if it is part of a distributed functional cluster that, through reentrant interactions in the thalamocortical system, achieves high integration in hundreds of milliseconds. (2) To sustain conscious experience, it is essential that this functional cluster be highly differentiated, as indicated by high values of complexity.“ Edelman – Tononi (2000, s. 144).

dynamických systémů a jsou podány v matematicky formalizované podobě, ať už se jedná o definici funkcionálního klastru, vázaného na pojem integrace a reentrování<sup>299</sup> nebo definice neuronální komplexity, poukazující na míru diferenciací funkcionálního klastru.<sup>300</sup>

U vysvětlení primárního vědomí se ale Edelman a Tononi nezastavují, navrhují také rámcový kvalitativní TNGS popis pro vědomí vyššího řádu (high-order conscioussnes). Prostřednictvím teorie dynamických systémů se tak otvírá možnost popsat i tradiční hard problémy filozofie mysli – problém subjektivních mentálních stavů (kválií)<sup>301</sup> a problém sebeuvědomování (self-conscioussnes).

Zdá se, že nad rámec vágních Freemanových prohlášení o hemisférickém atraktoru se povznegli někteří jeho nástupci. Kupříkladu Tsuda a Fujii se snaží teorii dynamických systémů použít pro popis interakce jednotlivých úrovní neuronálních sítí a pro vysvětlení základní báze epizodické paměti.<sup>302</sup> Tsuda sám aspiruje také na propojení takto pojaté nelineární neurodynamiky a některých tradičních oblastí filozofie (fenomenologie a hermeneutiky).<sup>303</sup>

Chaos je však používán na druhé straně i samotnými filozofy mysli. Dokonce už Smith uvažoval o dopadu teorie chaosu na tradiční Davidsonův anomální monismus<sup>304</sup>, dokonce poukazoval na Freemanův dynamický monismus, který je s Davidsonem v nesouladu. Předpokládáme, že to, co vytváří korelaci mezi určitým bodem ve fyzikálním stavovém prostoru a určitým psychologickým stavem, je skutečnost, že se nachází blízko správného podivného atraktoru. Pak podle Smithova předpokladu můžou samozřejmě dva sousedící počáteční body blízko podivného atraktoru poskytovat trajektorie, které navzájem divergují, ale zůstávají obě blízko podivného atraktoru. Tak před sebou máme mikrochaos,

299 Viz tamtéž, s. 120-124.

300 Viz tamtéž, s. 126-136.

301 „We will see that qualia are high-order discriminations among a large number of states of the dynamic core and that, as such, they are both highly integrated and extraordinarily informative. We will also make some forays into how the organization of the dynamic core can determine the phenomenological properties of different qualia.“ Tamtéž, s. 155.

302 Fujii – Tsuda (2005).

303 Tsuda (2002).

304 Srov. Smith (1998a, s. 143-145).

ale zároveň makropsychologickou stabilitu (micro-chaos but macro-psychological stability). a dokonce i přechod z jednoho makrodynamického stavu do jiného může být deterministický, jestliže závisí na změně kontrolních (regulačních) parametrů.<sup>305</sup>

Obdobným způsobem uvažuje také Henrik Walter. Ten chce teorii chaosu využít v rámci své neurofilozofie k popisu svobody vůle člověka.<sup>306</sup> Lidská vůle je sice determinována neuronálními stavy, ale pro vnějšího pozorovatele je přesto chování dotyčné osoby detailně nepředvídatelné.<sup>307</sup>

---

305 Srov. tamtéž, s. 146.

306 Walter (2001).

307 Bishop (2001).

## 6 Meze vědecké a filozofické reflexe myšlení

Svou závěrečnou reflexi bych rád uvedl dvěma provokativními myšlenkami, nad nimiž jsem dlouho uvažoval a které určitým způsobem završují dosavadní bádání neurovědy a filozofie mysli.

Prvními autory, nad jejichž názorem se pozastavím, jsou opět Edelman a Tononi. Ti v závěru své knihy *Universe of Consciousness* píší: „Poté, co se objevil homo sapiens a s ním vědomí vyššího řádu bylo možné vytvořit dostatečně syntakticky bohatý systém symbolů k vytvoření kódů, a dokonce k vytvoření logiky. Nakonec byly také vynalezeny metody vědecké analýzy ústící do formulace přírodních zákonů. Pro nás jsou tyto zákony informacemi. Pro přírodu kolem nás je to energie nebo kódovaná informace, co je vyměňováno? Pochází příroda z bitu, nebo bit pochází z přírody? Co přišlo jako první: biologie, nebo logika?“<sup>308</sup>

Filozof Colin McGinn už před více než dvaceti lety formuloval pojem „kognitivní uzávěry“, vyjadřující neřešitelnost mind-body problému: „Mysl typu M je kognitivně uzavřená vzhledem k nějaké vlastnosti P (nebo teorii T) tehdy a jen tehdy, nelze-li pojmotvorné procedury, které má M k dispozici, rozšířit tak, aby M mohla pochopit P (nebo T).“<sup>309</sup>

Domnívám se, že tato dvě hraniční vyjádření jsou velmi příznačná, neboť (1) vyjadřují stav, v němž se dané oblasti v současnosti nalézají. Neurověda útočí na poslední pevnost tradiční epistemologie a logiky.<sup>310</sup> Filozofie mysli neustále recykluje přístupy a utápí se v technických detailech.<sup>311</sup> (2) Ačkoliv s důrazností ukazují základní současné meze úvah o našem myšlení, tonou přitom v tradičních schématech uvažování.

308 „After Homo sapiens and higher-order consciousness appeared, it became possible to create syntactically rich symbols systems, to create codes, and even to create logic. Eventually, methods of scientific analysis were invented, resulting in the formulation of natural laws. To us, those laws are information. To nature, outside of us, is it energy or coded information that is being exchanged? Does it come from bit or bit from it? What came first: biology or logic?“ Edelman – Tononi (2000, s. 212).

309 McGinn (1989, s. 350), viz Hříbek (2008, s. 294).

310 Viz Changeux (2009).

311 Viz Kim (2005).



Jestliže v prvním případě vědci předkládají takovéto dilema, pak v pozadí samozřejmě tušíme, že pro sebe jej už rozhodli. Cesta naturalizace logiky se jim jeví jako přirozená a evoluční předpoklad, který vzali za svůj, nereflektují.

V druhém případě filozof klade soud, který se zprvu jeví jako pokorné uznání neřešitelnosti zkoumaného problému. Filozofická obec mu přiřte k dobru důslednost pojmové analýzy a vědecká obec mu vyčte tradiční filozofickou defenzívu. V pozadí se přitom usmívá tradiční filozofické přesvědčení, že rozum je čímsi definitivním (Úvod).

Jsem dalek invokací „nových druhů myšlení“, protože snahy, které byly v tomto směru vyvinuty, zůstávají u metafor a důsledně vzato zavádějí neplodný bludný kruh spolu s absolutizací evolučního východiska.<sup>312</sup> Použitelnost těchto přístupů pro vytváření modelů je zatím nejasná.

Jestliže představa myšlení jiného myšlení je rozporná, myšlenka ohraničenosti myšlení sama o sobě rozporná není. Tato myšlenka také podle všeho nezavádí nějaké těžko přijatelné předpoklady. Spíše se zdá, že chce odmítnout určitý předpoklad či dogma tradiční epistemologie – dogma rozumu jako definitivního nástroje. Filozof, který důsledně toto dogma zpochybní, pak soustřeďuje síly na promýšlení těchto hranic. Právě tady začíná nový kantovský úkol budoucí filozofie. Nalézat švy a záhyby našeho myšlení. Filozof se zde bude střetávat s několika problémy: (1) nepodlehnout spárům konkrétní vědy (nejspíše neurovědy a evoluční biologie), (2) nenechat se táhnout setrvačností filozofického diskurzu a (3) neupadnout do osidel metaforického vyjadřování, které často ústí do zachycování subjektivního prožitku hranic myšlení.

Cesta asi může skutečně vést udržováním maximální míry sebereflexe při hraničních prožitcích.<sup>313</sup> To je koneckonců to, k čemu nás školí celá tradice západní filozofie. Nový pohled spočívá v tom, že tato tradice neslouží k opatrování „věčných pravd/problémů“, ale k cizelování nástroje uvažování, k bystření sebereflexe.<sup>314</sup>

312 Viz Prigogine (2001, s. 273-276).

313 Příklad takovéto sebereflexe: „Možná je to vše jenom šimrání centra smyslu (důležitosti) – tomu i centrum slasti slouží (jako sluha nejvěrnější, ale podřízený) – když mám pocit, že jsem autentický ... co můžu říci dál ... odvolat se a šalbu slov – mých tvůrců ... vézt se na vlně x poslouchat kritiku 3. osoby ... a pochybovat nad vlastní autenticitou ... hledání exystence.“

314 A jedinou emoci, jež si připouštím, je emoce, která vyvěrá z reflexe tohoto snažení.

Čeho může takto pozorné seberefektování dosáhnout? K tomu velmi rád ocituji závěrečnou větu Wittgensteinova Traktátu: „O čem se nedá mluvit, k tomu se musí mlčet.“ Toto vyjádření Wittgensteinova kantovství nemá ale odkazovat k „mystickému“, které se „ukazuje“. „Mystické“ není tím pravým, „k čemu se mlčí“. A nakolik lze vůbec říci, že se „ukazuje“? Je to něco mimo naše možnosti, tak jako je mimo možnosti hravého psa reflektovat filozofickou hloubku honby za vlastním chvostem. Ale zároveň jsme si toho vědomi a nemusíme si k tomu apriori uzavírat přístup.<sup>315</sup>

---

315 „I must admit that i feel a little bit like someone trying to grapple with quantum-mechanical reality while quantum mechanics was developing but before it had been fully and rigorously established – someone around 1918, someone like Sommerfeld, who had a deep understanding of all the so-called „semiclassical“ models that were then available (the wonderful Bohr atom and its many improved versions), but quite a while before Heisenberg and Schrödinger came along, cutting to the very core of the question, and getting rid of all the confusion. Around 1918, a lot of the truth was nearly within reach, but even people who were at the cutting edge could easily fall back into a purely classical mode of thinking and get hopelessly confused.“ Hofstadter (2007, s. 239).

## Literatura

### **Adams, Ernest W.**

1965 „Elements of a Theory of Inexact Measurement“. *Philosophy of Science* 32 (3/4), s. 205-228.

### **Andres, Jan**

1996 „O nové přírodovědě a nutnosti nové přírodní filozofie“. *Československý časopis pro fyziku* 46 (1), s. 42-50.

### **Andres, Jan – Fürst, Tomáš – Pastor, Karel**

2007 „Period Two Implies All Periods for a Class of ODEs: a Multivalued Map Approach“. *Proceedings of the American Mathematical Society* 135 (10), s. 3187-3191.

2009 „Sharkovskii's Theorem, Differential Inclusions, and Beyond“. *Topological Methods in Nonlinear Analysis* 33 (1), s. 149–168.

### **Balashov, Yuri, V.**

1992 „On the Evolution of Natural Laws“. *The British Journal for the Philosophy of Science* 43 (3), s. 343-370.

### **Barker, Chris**

2002 *Making Sense of Cultural Studies*. London: SAGE Publications Ltd.

### **Barrett, Jeffrey A.**

2003 „Are Our Best Physical Theories (Probably and/or Approximately) True?“. *Philosophy of Science. Proceedings of the 2002 Biennial Meeting of the Philosophy of Science Association. Část I: Contributed Papers* 70 (5), s. 1206-1218.

### **Batterman, Robert W.**

1993 „Defining Chaos“. *Philosophy of Science* 60 (1), s. 43-66.

### **Belot, Gordon**

2000 „Chaos and Fundamentalism“. *Philosophy of Science. Supplement: Proceedings of the 1998 Biennial Meetings of the Philosophy of Science Association. Část II: Syposia Papers* 67, s. S454-S465.

**Bishop, Robert C.**

- 2001 „Chaos, Indeterminism, and Free Will“. In: Kane, Robert (ed.) *The Oxford Handbook of Free Will*. Oxford: Oxford University Press, s. 111-124.

**Bokulich, Alisa**

- 2003 „Horizontal Models: From Bakers to Cats“. *Philosophy of Science* 70 (3), s. 609-627.

**Boumans, Marcel**

- 2003 „How to Design Galilean Fall Experiments in Economics“. *Philosophy of Science* 70 (2), s. 308-329.

**Bricmont, Jean**

- 1995 „Science of Chaos or Chaos in Science?“ *Physicalia Magazine* 17 (3/4), s. 159-208.

**Bricmont, Jean – Sokal, Alan**

- 1998 *Fashionable Nonsense: Postmodern Intellectuals Abuse of Science*. New York: Picador USA.

**Cartwright, Nancy**

- 1983 *How the Laws of Physics Lie*. Oxford: Clarendon Press.  
1999 *The Dappled World: a Study of the Boundaries of Science*. Cambridge: Cambridge University Press.

**Changeux, Jean-Pierre**

- 2004 *The Physiology of Truth: Neuroscience and Human Knowledge*. Cambridge (Mass.): Belknap Press of Harvard University Press.

**Clayton, Philip**

- 2004 *Mind and Emergence: From Quantum to Consciousness*. Oxford: Oxford University Press.

**Coveney, Peter – Highfield, Roger**

- 1995 *Frontiers of Complexity*. London: Faber and Faber.  
2003 *Mezi chaosem a řádem. Hranice komplexity: Hledání řádu v chaotickém světě*. Praha: Mladá fronta.

**Curd, Martin – Cover, Jan A.**

- 1998 *Philosophy of Science: The Central Issues*. New York: W. W. Norton & Company.

**Davidson, Donald**

- 2001 *Subjective, Intersubjective, Objective*. Oxford: Oxford University Press.
- 2004 *Subjektivita, intersubjektivita, objektivita*. Praha: Filozofia.

**Devaney, Robert, L.**

- 1989 *An Introduction to Chaotic Dynamical Systems*. Redwood City: Addison-Wesley.

**Dvořáková, Jana – Lampart, Marek – Mířhová, Michaela – Obadalová, Lenka**

- 2009 *Dynamické systémy I*. Opava. [cit. 2010-1-21] Dostupné z: <http://www.math.slu.cz/studmat/DynamickeSystemy/DynSysl.pdf>.

**Edelman, Gerald – Tononi, Giulio M.**

- 2000 *A Universe of Consciousness: How Matter Becomes Imagination*. New York: Basic Books.

**Einstein, Albert**

- 1934 *Mein Weltbild*. Amsterdam: Querido Verlag.
- 1993 *Jak vidím svět*. Praha: Lidové noviny. ISBN 80-7106-078-X.

**Fajkus, Břetislav**

- 2005 *Filozofie a metodologie vědy: Vývoj, současnost a perspektivy*. Praha: Academia.

**Ford, Joseph – Mantica, Giorgio – Ristow, Gerald**

- 1991 „The Arnol'd Cat: Failure of the Correspondence Principle“. *Physica D* 50 (3), s. 493-520.

**Forge, John**

- 1980 „The Structure of Physical Explanation“. *Philosophy of Science* 47 (2), s. 203-226.

**Fraassen, Bas van**

- 1980 *The Scientific Image*. Oxford: Oxford University Press.
- 1989 *Laws and Symmetry*. Oxford: Oxford University Press.

**Freeman, Walter, J.**

- 1999a *How Brains Make Up Their Minds*. London: Weidenfeld & Nicolson.
- 1999b „Consciousness, Intentionality and Causality“. *Journal of Consciousness Studies* 6 (11-12), s. 143-172.

**Fujii, Hiroshi – Tsuda, Ichiro**

- 2005 „Interneurons: Their Cognitive Roles – a Perspective from Dynamical Systems View“. *The Fourth IEEE International Conference in Development and Learning - from Interaction to Cognition* [cit. 2010-1-21]  
Dostupné z: <[http://www.math.sci.hokudai.ac.jp/~tsuda/img/ICDL2005\(Fujii-it\).pdf](http://www.math.sci.hokudai.ac.jp/~tsuda/img/ICDL2005(Fujii-it).pdf)>.

**Galison, Peter**

- 2003 *Einstein's Clocks and Poincaré's Maps: Empires of Time*. New York: W.W. Norton.  
2005 *Einsteinovy hodiny a Poincarého mapy: Říše času*. Praha: Mladá fronta.

**Giere, Ronald N.**

- 1988 *Explaining Science: a Cognitive Approach*. Chicago: The University of Chicago Press.  
1999 *Science without Laws*. Chicago: The University of Chicago Press.  
2003 „A New Program for Philosophy of Science?“. *Philosophy of Science* 70 (1), s. 15-21.  
2004 „How Models Are Used to Represent Reality“. *Philosophy of Science* 71 (5), s. 742-752.  
2006 *Scientific Perspectivism*. Chicago: The University of Chicago Press.

**Gleick, James**

- 1987 *Chaos: Making a New Science*. New York: Viking.  
1996 *Chaos: Vznik nové vědy*. Brno: Ando Publishing.

**Goldstein, Herbert**

- 1950 *Classical Mechanics*. Cambridge (Mass.): Addison-Wesley Press.

**Green, Brian**

- 2004 *The Fabric of the Cosmos. Space, Time, and the Texture of Reality*. New York: Alfred A. Knopf.  
2006 *Struktura Vesmíru: Čas, prostor a povaha reality*. Praha: Paseka.

**Harrell, Maralee – Glymour, Clark**

- 2002 „Confirmation and Chaos“. *Philosophy of Science* 69 (2), s. 256-265.

**Hempel, Carl Gustav**

- 1965 *Aspects of Scientific Explanation*. New York: Free Press.
- 1988 „Provisos: a Problem Concerning the Inferential Function of Scientific Theories“. In: Grünbaum, Adolf – Salmon, Wesley, C. *The Limitations of Deductivism*. Berkeley: University of California Press. s. 37-46.

**Hempel, Carl Gustav – Oppenheim, Paul**

- 1968 „Studie z logiky vysvětlení“. In: Kuchár, Ivan – Procházka, Oldřich – Zeman, Vladimír (eds.) *Filozofie vědy*. Praha: Svoboda, s. 189-247.

**Hofstadter, Douglas**

- 2007 *I Am a Strange Loop*. New York: Basic Books.

**Holt, Lynn D. – Holt, Glynn R.**

- 1993 „Regularity in Nonlinear Dynamical Systems“. *The British Journal for the Philosophy of Science* 44 (4), s. 711-727.

**Horák, Jiří – Krlín, Ladislav – Raidl, Aleš**

- 2003 *Deterministický chaos a jeho fyzikální aplikace*. Praha: Academia.

**Horák, Jiří – Krlín, Ladislav**

- 2004 *Vratnost a nevratnost dynamických systémů*. Praha: Academia.

**Hříbek, Tomáš**

- 2008 *Metafyzika antiindividualismu*. Praha: Filozofia.

**Humphreys, Paul**

- 2002 „Computational Models“. *Philosophy of Science. Supplement: Proceedings of the 2000 Biennial Meeting of the Philosophy of Science Association. Část II: Symposia Papers* 69 (3), s. S1-S11.

**Kant, Immanuel**

- 2001 *Kritika čistého rozumu*. Praha: Oikúmené.

**Kellert, Stephen H.**

- 1993 *In the Wake of Chaos*. Chicago: The University of Chicago Press.
- 2001 „Extrascientific Uses of Physics: The Case of Nonlinear Dynamics and Legal Theory“. *Philosophy of Science. Supplement: Proceedings of the 2000 Biennial Meeting of the Philosophy of Science Association. Část I: Contributed Papers 68 (3)*, s. S455-S466.
- 2008 *Borrowed Knowledge: Chaos Theory and the Challenge of Learning across Disciplines*. Chicago: The University of Chicago Press.

**Kim, Jaegwon**

- 2005 *Physicalism, or Something Near Enough*. Princeton: Princeton University Press.

**Koperski, Jeffrey**

- 1998 „Models, Confirmation, and Chaos“. *Philosophy of Science 65 (4)*, s. 624-648.

**Kronz, Frederick M.**

- 1998 „Nonseparability and Quantum Chaos“. *Philosophy of Science 65 (1)*, s. 50-75.
- 2000 „Chaos in a Model of an Open Quantum System“. *Philosophy of Science. Supplement: Proceedings of the 1998 Biennial Meetings of the Philosophy of Science Association. Část I: Symposia Papers 67*, s. S446-S453.

**Kuhn, Thomas Samuel**

- 1962 *The Structure of Scientific Revolutions*. Chicago: University of Chicago Press.
- 1997 *Struktura vědeckých revolucí*. Praha: Oikúmené.

**Lakatos, Imre**

- 1976 *Proofs and Refutations: The Logic of Mathematical Discovery*. Cambridge: Cambridge University Press.

**Laudan, Larry**

- 1984 *Science and Values*. Berkeley: University of California Press.

**Laymon, Ronald**

- 1989 „Cartwright and the Lying Laws of Physics“.



*The Journal of Philosophy* 86 (7), s. 353-372.

**Lewis-Williams, David**

2002 *Mind in the Cave*. London: Thales and Hudson Ltd.

2007 *Mysl v jeskyni*. Praha: Academia.

**Lorenz, Edward**

1963 „Deterministic Nonperiodic Flow“. *Journal of the Atmospheric Science* 20 (2), s. 130-141.

**Mandelbrot, Benoît**

1991 „Fractals and the Rebirth of Experimental Mathematics“. In: Peitgen, Heinz-Otto - Jürgens, Hartmut – Saupe, Dietmar (eds.) *Fractals for the Classroom*. New York: Springer, .

2000 *Les objets fractal. Forme, hazard et dimension*. Paris: Flammarion.

2003 *Fraktály: Tvar, náhoda a dimenze*. Praha: Mladá fronta.

**Markoš, Anton**

2003 *Tajemství hladiny: Hermeneutika živého*. Praha: Dokořán.

**McGinn, Colin**

1989 „Can We Solve the Mind-Body Problem?“ *Mind* 98 (391), s. 349-366.

**Modell, Arnold H.**

2003 *Imagination and the Meaningful Brain*. Cambridge: The MIT Press.

**Morton, Adam**

199 „The Inevitability of Folk Psychology“. In: Bogdan, Radu J. *Mind and Common Sense*. Cambridge: Cambridge University Press.

1993 „Mathematical Models: Questions of Trustworthiness“. *The British Journal for the Philosophy of Science* 44 (4), s. 659-674.

**Mulaik, Stanley A.**

200 „The Curve-Fitting Problem: An Objectivist View“. *Philosophy of Science* 68 (2), s. 218-241.

**Nagel, Ernest**

1961 *The Structure of Science*. New York: Brace&World.

**Nosek, Jiří (ed.)**

1999 *Chaos, věda a filozofie*. Praha: Filozofia.

**Odenbaugh, Jay**

2003 „Complex Systems, Trade-Offs, and Theoretical Population Biology: Richard Levin's „Strategy of Model Building in Population Biology“ Revisited“. *Philosophy of Science. Proceedings of the 2002 Biennial Meeting of the Philosophy of Science Association. Část I: Contributed Papers* 70 (5), s. 1496-1507.

**Ott, Edward.**

1993 *Chaos in Dynamical Systems*. Cambridge: Cambridge University Press.

**Owens, David**

1989 „Levels of Explanation“. *Mind* 98 (389), s. 59-79.

**Parker, Matthew W.**

2003 „Undecidability in  $\mathbb{R}^n$ : Riddled Basins, the KAM Tori, and the Stability of the Solar System“. *Philosophy of Science* 70 (2), s. 359-382.

**Pearce, David – Rantala, Veikko**

1985 „Approximative Explanation Is Deductive-Nomological“. *Philosophy of Science* 52 (1), s. 126-140.

**Peitgen, Heinz-Otto – Jürgens, Hartmut – Saupe, Dietmar**

1991 *Fractals for the Classroom*. New York: Springer-Verlag.

1992 *Chaos and Fractals: New Frontiers of Science*. New York: Springer-Verlag.

**Peregrin, Jaroslav (ed.)**

2006 *Logika 20. století: Mezi filozofií a matematikou*. Praha: Filozofia.

**Popper, Karl, Raimund**

1982 *The Open Universe: An Argument for Indeterminism*. Totowa, N.J.: Rowman & Littlefield.

1994 *The Logic of Scientific Discovery*. London: Routledge.

1997 *Logika vědeckého zkoumání*. Praha: Oikúmené.

**Prigogine, Ilya – Stengersová, Isabelle**

1984 *Order out of Chaos: Man's New Dialogue with Nature*.  
New York: Bantam Books.

2001 *Řád z chaosu: Nový dialog člověka s přírodou*.  
Praha: Mladá fronta.

**Putnam, Hilary**

1982 „Why Reason Can't Be Naturalized“. *Synthese* 52 (1), s. 3-23.

**Railton, P.**

1981 „Probability, Explanation, and Information“.  
*Synthese* 48 (2), s. 233-256.

**Redhead, Michael**

1980 „Models in Physics“. *The British Journal for the  
Philosophy of Science* 31 (2), s. 145-163.

**Rosenberg, Alex**

2005 *Philosophy of Science: a contemporary introduction*.  
London: Routledge.

**Rueger, Alexander – Sharp, David W.**

1996 „Simple Theories of a Messy World: Truth and Explanatory  
Power in Nonlinear Dynamics“. *The British Journal for  
the Philosophy of Science* 47 (1), s. 93-112.

**Sharovsky, A. N.**

1964 „Coexistence of Cycles of a Continuous Map of a Line  
into Itself“. *Ukrainian Mathematic Journal* 16 (1), s. 61-71.

**Schlesinger, George N.**

1987 „Is Determinism a Vacuous Doctrine?“. *The British Journal for  
the Philosophy of Science* 38 (3), s. 339-346.

**Schrödinger, Erwin**

1992 *What Is Life? Mind and Matter. Autobiographical Sketches*.  
Cambridge: Cambridge University Press.

2004 *Co je život? Duch a hmota. K mému životu.* Brno: VUTIUM.

**Singh, Simon**

1998 *Fermat's Last Theorem.* London: Fourth Estate.

2007 *Velká Fermatova věta.* Praha: Academia.

**Smith, Peter**

1998a *Explaining Chaos.* Cambridge: Cambridge University Press.

1998b „Approximate Truth and Dynamical Theories“. *The British Journal for the Philosophy of Science* 49 (2), s. 253-277.

**Smith, Sheldon R.**

2001 „Models and the Unity of Classical Physics: Nancy Cartwright's Dappled World“. *Philosophy of Science* 68 (4), s. 456-475.

**Suárez, Mauricio**

1999 „The Role of Models in the Applications of Scientific Theories: Epistemological Implications“. In: Morgan, Mary, S. – Morrison, Margaret, C. (eds.) *Models as Mediators.* Cambridge: Cambridge University Press, s. 168-196.

2003 „Scientific Representation: Against Similarity and Isomorphism“. *International Studies of Philosophy of Science* 17 (3), s. 225-244.

**Suppe, Frederick (ed.)**

1977 *The Structure of Scientific Theories.* Urbana: University of Illinois Press.

**Suppes, Patrick**

1972 *Axiomatic Set Theory.* New York: Dover Publications.

**Stephan, Achim**

1999 *Emergenz: Von der Unvorhersagbarkeit zur Selbstorganisation.* Dresden: Dresden University Press.

**Stewart, Ian**

1989 *Does God Play Dice?: The Mathematics of Chaos.* Cambridge: Blackwell.

1996 *From Here To Infinity.* Oxford: Oxford University Press, 1996.

2006 *Odsud až do nekonečna.* Praha: Argo.

2009 *Hraje Bůh kostky?: nová matematika chaosu.* Praha: Argo.

**Teller, Paul**

2004 „How We Dapple the World“. *Philosophy of Science* 71 (4), s.425-447.

**Thagard, Paul**

1996 *Mind. Introduction to Cognitive Science*.  
Cambridge: The MIT Press.

2001 *Úvod do kognitivní vědy: Mysl a myšlení*. Praha: Portál.

**Toulmin, Stephen**

1961 *Foresight and Understanding*. Bloomington:  
Indiana University Press.

**Tsuda, Ichiro**

2010 *Plausibility of a Chaotic Brain Theory*. [cit. 2010-1-24].  
Dostupné z: <<http://bbsonline.cup.cam.ac.uk/Preprints/Tsuda/Commentators/>>.

**Turing, Alan**

1936 „On Computable Numbers, With an Application to  
the Entscheidungsproblem“. *Proceedings of the  
London Mathematical Society* 42 (2), s. 230-265.

**Valenta, Lubomír**

1999 „Chaos v epistemologické perspektivě“. In: Nosek, Jirí (ed.)  
*Chaos, věda a filozofie*. Praha: Filozofia, s. 131-145.

**Walter, Henrik**

2001 „Neurophilosophy of Free Will“. In: Kane, Robert (ed.)  
*The Oxford Handbook of Free Will*.  
Oxford: Oxford University Press, s. 565-576.

**Weisskopf, Victor F.**

1972 *Physics in the Twentieth Century: Selected Essays*.  
Cambridge: The MIT Press, 1972.

**Winnie, John, A.**

1992 „Computable Chaos“. *Philosophy of Science* 59 (2), s. 263 – 275.

**Winsberg, Eric**

2001 „Simulations, Models, and Theories: Complex Physical Systems and Their Representations“. *Philosophy of Science. Supplement: Proceedings of the 2000 Biennial Meeting of the Philosophy of Science Association. Část I: Contributed Papers* 68 (3), s. S442 – S454.

2003 „Simulated Experiments: Methodology for a Virtual World“. *Philosophy of Science* 70 (1), s. 105 – 125.

**Wittgenstein, Ludwig**

1993 *Filozofická zkoumání*. 1. vyd. Praha: Filozofický ústav AV ČR.

2007 *Tractatus logico-philosophicus*. 1. vyd. Praha: Oikúmené.

**Yorke, James – Li, Tien-Yien**

1975 „Period Three Implies Chaos“. *The American Mathematical Monthly* 82 (10), s. 985-992.

# Rejstřík věcný

## A

Analýza kvalitativní 25, 48, 52, 65, 80  
 Analýza nejednoznačná 38, 78, 81  
 Astrofyzika 77  
 Atraktor 7, 20 – 23, 27 – 29, 48, 49, 53 – 56, 63, 64, 67, 71, 73, 75, 76, 7 – 80, 84 – 86  
 Atraktor bodový 84  
 Atraktor cyklický 27  
 Atraktor hemisférický 85, 86  
 Atraktor Hénonův 28, 102  
 Atraktor Lorenzův 20, 28, 54, 56, 78, 79  
 Atraktor nízko-dimenzionální 76  
 Atraktor podivný 21–23, 28, 49, 64, 56

## B

Báze atraktoru 23  
 Báze atraktoru děravé 81, 82  
 Bellovy nerovnosti 36  
 Bělousovova-Žabotinského reakce 30, 102  
 Bifurkace 24, 29, 45, 46, 49, 105, 45

Biosémiotika 13  
 Bod Feigenbaumův 29  
 Bod pevný 26  
 Bootstrapping 61

## C

Citlivá závislost na počátečních podmínkách 3, 7, 19, 20, 23, 25 – 27, 31, 44, 61, 65  
 Cross-disciplinarita 10–13

## D

Definice chaosu Devaneyova 19, 22  
 Dekonstruktivismus 40  
 Determinismus 7, 18, 31, 35 – 38, 103, 109  
 Determinismus lokální 45  
 Determinismus metafyzický 35, 38  
 Determinismus metodologický 38  
 Diachronie 39, 40, 45, 46  
 Diagram bifurkační 44  
 Dimenze box-counting 21, 28, 49  
 Dimenze fraktální 20, 28  
 Dimenze topologická 21  
 Disipace 25, 75, 83  
 D-N model vysvětlení 50  
 Doktrína o determinismu 35  
 Doména fyzikální 15  
 Dynamics 22, 29, 56, 63, 76, 117

Dynamika chaotická 8, 15, 19,  
24, 28, 30, 49, 56, 74, 76, 78, 84  
Dvojité kyvadlo 41  
Dynamika deterministická 17  
Dynamika diferenciální 36, 73, 75  
Dynamika lineární 88  
Dynamika nelineární 17, 71, 72,  
75, 77, 78  
Dynamika neuronové sítě 8, 83  
Dynamika sluneční soustavy 77

## E

Emergentismus 6  
Entropie topologická 20  
Epistemologie chaosu 31, 77  
Epistemologie simulace 70  
Epistémická ohraničenost  
mediujícího modelu 66  
Experimentalismus 39, 40, 43,  
59, 74, 75  
Explanace 18, 67, 109

## F

Fachidiocie 10  
Fáze laminární 30  
Fázový portrét 63, 64  
Feigenbaumovy konstanty  
chaosu 24, 29  
Filozofie analytická 7  
Filozofie matematiky 78

Filozofie mysli 13, 77, 86, 88  
Filozofie vědy 6, 7, 10, 15, 17, 22,  
37, 39, 53, 59, 69, 70, 77, 78,  
Flexibilita systému 85  
Fraktál 20, 21, 29, 56  
Fundamentalismus vědecký 14  
Funkce kvadratická 26  
Funkce nelineární 25  
Fyzika klasická 15, 16  
Fyzika kvantová 15, 16, 80  
Fyzika relativistická 16

## G

Geometrie eukleidovská 54  
Geometrie fraktální 7, 20,  
21, 54, 55  
Gravitace kvantová 6

## H

Hodnotová determinovanost  
36, 104  
Holismus metafyzický 39, 41, 43  
Holismus metodologický 39,  
40, 41  
Horseshoe množina 20  
Hranice poznání vědeckého 34  
Hustota periodických bodů 19  
Hyperbolická 8, 44, 78, 80, 108, 117  
Hypotéza dynamického jádra 85  
Hypotéza pomocná 72



Hypotéza teoretická 41, 48,  
50, 51  
Hystereze 44, 45

## CH

Chaos<sub>d</sub> 20  
Chaos<sub>n</sub> 20  
Chaos<sub>te</sub> 20  
Chaos deterministický 17  
Chaos Devaneyho 19  
Chaos klasický 15, 81  
Chaos kvantový 15  
Chaos mnohoznačný 18  
Chaos spočítatelný 22  
Chaos stochastický 23  
Chaos střídavý 30  
Chaotické přecházení z místa  
na místo 84  
Chaotické přechodové jevy 30  
Chování nepředpověditelné 83  
Chování nevypočítatelné 82  
Chování systému dlouhodobé  
27, 30, 47, 81  
Chování systému krátkodobé 27  
Chování systému nestabilní 26 – 29  
Chování systému stabilní 26, 28

## I

Idealizace fraktální 28  
Idealizace vědecká 32

Indeterminismus 34  
Index řádu bifurkace 49  
Induktivní matematika 43  
Integrovatelnost modelu 41, 42  
Interdisciplinarita 9–11  
Intermitence 30  
Invariant fraktální 28, 56  
Invariant topologický 49  
Invariant stretch-fold transforma-  
ce 23, 56  
Invariant transformace 20  
Iterace 25 – 27, 30

## J

Jednoduchá rovnice s kom-  
plexním chováním 42, 43

## K

Kategoriální chyba 6  
Kauzalita mentální 77  
Klaster funkcionální 86  
Kognitivní archeologie 5  
Kognitivní uzávěra 5, 88  
Kognitivní věda 10  
Kochenův-Speckerův paradox 36  
Kochova křivka 20, 21  
Komplexita neuronální 86  
Komplexita reality nekonečná  
20, 35  
Konečná bytost 33, 35, 44

Kontext justifikace 12  
 Kontext objevu 12, 18  
 Kontext soutěžení 12  
 Kontingence 52  
 Konvergence modelu 61  
 Krize 30  
 Kvárium 86

## L

Laplaceův démon 34  
 Liouvillovův teorém 22, 23  
 Ljapunovův exponent 20, 23,  
 27, 32, 49, 65, 71 – 74  
 Limitní cyklus 27

## M

M-teorie 6  
 Marxismus 13  
 Matematická analýza 18  
 Maxwellův démon 33  
 Mechanický oscilátor 60  
 Mechanika klasická 14, 15, 37, 83  
 Mechanika kontinua 57  
 Mechanika kvantová 6, 15, 16,  
 35 – 38, 78  
 Mechanismy geometrické 46  
 46, 50, 52  
 Mechanismy kauzální 50, 73  
 Metafora „kritické opa-  
 lescence“ 78

Metafyzika 5, 6, 35, 41  
 Metodologie 7, 44, 93  
 Mikrochaos 86  
 Mikroredukcionismus 41–43  
 Míra matematická 20  
 Množina Cantorova 29  
 Množina fraktální 21  
 Množina modelů 38, 62, 64, 74  
 Modalita smyslová 48, 49, 83, 84  
 Model abstraktní 51, 70  
 Model ad hoc eliminativní 68  
 Model ad hoc kreativní 68  
 Model atomu planetární Ruther-  
 fordův 80  
 Model atomu vodíku Bohrovův 80, 90  
 Model autonomní 70  
 Model bottom-up 4, 51, 59, 66  
 Model dynamický 40, 49, 55,  
 56, 80  
 Model fenomenologický 63  
 Model horizontální 15  
 Model klasický 15  
 Model počítačový 68, 70  
 Model konkrétní 14, 70  
 Model kvantový 15  
 Model Lorenzův 24, 55, 63  
 Model mediující 4, 65, 66, 70, 74  
 Model přirozeného fázového  
 prostoru 62, 63  
 Model semiautonomní 70  
 Model Sommererův-Ottův 81  
 Model statistický 10

Model top-down 59  
 Model vysvětlení deduktivně-  
 -nomologický 46, 50  
 Model vývoje populací 24  
 Model zjednodušující 60, 61  
 Modelování 7, 8, 11, 13, 18, 39,  
 48, 54, 59 – 69, 71, 74 – 76, 79  
 Modelování ad hoc 68  
 Monismus anomální Davidso-  
 nův 86  
 Monismus dynamický Freema-  
 nův 86  
 Monotónní konvergence před-  
 povědí 61  
 MOT 7, 40, 41, 58, 59  
 Multidisciplinarita 10, 11

## N

Náhoda 27, 96  
 Náhodnost 52  
 Nárůst chyby exponenciální  
 31, 32  
 Naturalismus 6  
 Neintegrovatelnost modelu 41  
 Nekompatibilita mediujícího  
 modelu 66  
 Nekonečná přesnost 21 44, 54  
 Nelinearita 3, 7, 25 – 27, 78, 107  
 Nemožnost logická 32  
 Nemožnost praktická 32, 33

Nemožnost principiální 32, 34  
 Nemožnost teoretická 32  
 Nemožnost transcendentální  
 31, 33, 35, 57, 58, 77  
 Nepředpověditelnost 34, 39,  
 50, 61, 81, 83, 105  
 Neredukovatelnost 43  
 Nerozhodnutelnost 82  
 Ne-řád 85  
 Nestabilita lokální 26  
 Neurčitost 6, 32, 83  
 Neurčitost kvantová 83  
 Neurodynamika nelineární 77,  
 80, 83, 86  
 Neurofilozofie 87  
 Neuronová síť 24  
 Neurověda 13, 88, 107  
 Neuspořádanost 84  
 Nevratnost dynamického sys-  
 tému 46  
 Noise 17, 84  
 Numerické experimenty 43

## O

Okno řádu 29, 30, 45  
 Omezená racionalita 35  
 Omezení prediktivní 32, 47  
 Operátor globální 85  
 Orbita neperiodická 29  
 Orbita periodická 19, 30

**P**

- Paměť aktuálně nekonečná 34  
 Paměť epizodická 86  
 Parametr kontrolní 53, 87  
 Parametr regulační 23, 29, 30, 45, 49, 61, 65, 73  
 Parametr řídicí 25, 45  
 Perioda tři 17  
 Pervaze explanační 9  
 Pervaze kauzální 9  
 Pestrý svět 13  
 Planckova délka 57, 108  
 Pluralismus epistemický 16  
 Pluralismus fyzikální 16  
 Pluralismus vědecký 14  
 Podmínka hyperbolicity 8, 44, 78, 80  
 Podmínky Devaneyho 19, 20, 22  
 Podmínka okrajová 37  
 Podmínka počáteční 3, 7, 19, 20, 23, 25 – 27, 31, 32, 43, 44, 51, 58, 61, 65, 72, 73, 75  
 Podobnost 11, 12, 41, 48, 50, 70  
 Podobnost kvalitativní (topologická) 48  
 Pojetí teorií modelově založené 7  
 Pojetí teorií sémantické 7  
 Pojetí teorií syntaktické 88  
 Porozumění dynamické 40, 52, 53  
 Porozumění kvalitativní 47 – 49, 63  
 Porozumění kvantitativní 48  
 Porozumění vědecké 39 – 41, 46  
 Porucha 84  
 Postmoderna 6, 5, 18, 17, 40  
 Postdisciplinarita 10, 11  
 Postuláty racionality 5  
 Potence kauzální 9  
 Pravdivost aproximativní 14, 56, 57  
 Predikce 18, 26, 31 – 34, 46 – 49, 52, 57, 61, 63 – 66, 74, 79  
 Predikce dlouhodobá 34  
 Predikce krátkodobá 27  
 Predikce kvalitativní 26, 32, 47, 48, 52, 61, 63 – 65  
 Predikce kvantitativní 26, 32, 47, 48, 63 – 65  
 Prediktivní beznadějnost 31  
 Prefraktál 21, 54, 56  
 Prigoginismus 18  
 Princip dynamický 75  
 Princip korespondence 15  
 Princip odpovědnosti 31  
 Program Langlandsův 18  
 Prostor fázový 3, 4, 7, 22 – 24, 27, 28, 54 – 56, 60, 62 – 65, 69, 74 – 76, 80  
 Prostor fázový experimentálně konstruovaný 62  
 Prostor fázový přirozený 62, 63, 107  
 Prostor rekonstrukční 62, 63  
 Prostor stavový 23, 37, 86  
 Předpověditelnost kvalitativní 26, 47, 48, 52, 61, 63, 64, 65

Předpověditelnost kvantitativní  
46, 82  
Předpověditelnost úplná 36  
Přechodnost modelů 4, 77, 81  
Přesnost nekonečná 32  
Psycholingvistika 13

## Q

Q-strategie vysvětlení 52, 53

## R

Redukcionismus metafyzický  
9, 41  
Redukcionismus metodologický 41  
Reentrování 86  
Rekonstrukce fázového prostoru 4, 60, 62 – 65, 74 – 76  
Relevance kauzální 9  
Revoluce epistemologická 77  
Revoluce vědecká 40  
Rovnice diferenční 23 – 25, 27, 36  
Rovnice dynamická 23 – 25, 27, 65  
Rovnice Navierova-Stokesova 62  
Rovnice obyčejné diferenciální lineární 24  
Rovnice obyčejné diferenciální nelineární 24  
Russelova teze o determinismu 36

## Ř

Řád 17, 26, 27, 29, 30, 36, 39, 45, 46, 51, 52, 85, 86, 88  
Řešení rovnice analytické 25  
Řešení rovnice numerické 25

## S

Samoorganizace 81, 84  
Samoorganizace neuronové sítě 84  
Sebeuvědomování 86  
Sekvence aperiodická 26  
Sekvence náhodná 36  
Sekvence periodická 26  
SET 48, 69  
Sharkovskyho teorém 18  
Simulace počítačová 4, 68, 43, 71, 74, 79  
Složitost nekonečná 21, 28, 35, 54, 55  
Soběpodobnost 20  
Sociobiologie 13  
Soustava rovnic 24, 68  
Stabilita globální 26  
Stabilita makropsychologická 87  
Stabilita sluneční soustavy 8, 81  
Stav systému jednoznačný 36  
Stabilita systému 26  
Stavový přechod 84, 85  
Stínové lemma 8, 44, 78, 79, 80

- Struktura bifurkační 29, 30  
 Struktura fraktálu nekonečně složitá 21, 56  
 Subjektivní mentální stav 86  
 Subvenience 9  
 Supervenience 9  
 Svět možný 14  
 Svět aktuální 14  
 Svoboda vůle 87  
 Symetrie explanace-predikce 46  
 Synchronie 44, 84  
 Systém disipativní 75, 76  
 Systém diskrétní 24, 28  
 Systém dynamický 4, 6 – 8, 10, 16, 17, 23, 24, 28, 29, 38, 47, 52, 54, 56, 61, 66 – 68, 75 – 81, 83 – 86  
 Systém dynamický vysoko-dimenzionální 76  
 Systém dynamických rovnic 24, 25, 27  
 Systém hamiltonovský 19, 22, 23  
 Systém hyperbolický 19  
 Systém chaotický 47, 67  
 Systém konzervativní 22  
 Systém Lorenzův 25, 29, 43, 44  
 Systém planetární 4, 80, 81  
 Systém reálný 8, 24, 68, 70, 71, 78, 79, 82  
 Systém spojitý 22, 24  
 SYT 69
- T**  
 Taniyamova-Šimurova domněnka 18  
 Templát počítačnický 10, 11  
 Teorem stínový 79  
 Teorie čísel 18  
 Teorie dynamických systémů 6, 8, 10, 16, 17, 38, 47, 61, 67, 75, 76, 78, 80, 81, 83 – 86  
 Teorie fenomenologická 73, 74  
 Teorie fundamentální 15, 16, 37, 83  
 Teorie fyzikální 9, 13, 14  
 Teorie chaosu 2 – 4, 6, 7 – 9, 12, 13, 17 – 19, 21 – 24, 26, 27, 30 – 32, 35 – 42, 44, 46 – 54, 56, 57, 59, 60, 64, 65, 67, 73, 75 – 80, 86  
 Teorie neúprosně nerevidovatelná 56  
 Teorie neuronální skupinové selekce 83  
 Teorie relativity 78  
 Teorie systémů 80  
 Teorie vědecká 6, 7, 65  
 Termodynamika 33, 35, 50  
 TNGS 83, 85, 86  
 Trajektorie ve fázovém prostoru 28, 56, 69, 76  
 Transdiletantství 10  
 Transdisciplinarita 10, 13  
 Transformace Arnoldova kvantová 15

Transformace střechn-fold 56  
 Tranzitivita topologická 19

## U

Učení hebbovské 85  
 Událost fyzikální 9  
 Událost mentální 9  
 Univerzalita chaosu 3, 7, 29, 30  
 Určení počátečních podmínek  
 precizní 81  
 Určení počátečních podmínek  
 velmi přesné 81  
 Uspořádání věd hierarchické 9  
 Účelovost mediujícího modelu 66  
 Uzávěra kognitivní 5, 88

## V

Vědomí primární 85, 86  
 Vědomí vyššího řádu 86, 88  
 Velká Fermatova věta 18  
 Vídeňský kruh 7  
 Výpůjčky metaforické 12  
 Výpůjčky pojmové 12  
 Vypůjčování vědění 12  
 Vysvětlení epistémické 46  
 Vysvětlení kauzální 9, 50  
 Vysvětlení kontrastní 67  
 Vysvětlení modální 46  
 Vysvětlení ontické 46

Vysvětlení vědecké 6, 39, 46,  
 47, 50  
 Vývoj jednoznačný 36 – 38, 77

## Z

Zákon deterministický 35  
 Zákon přírodní 32, 34  
 Zákon statistický 36  
 Zákon vědecký 18  
 Zákonná nutnost 51  
 Zdokonalitelnost modelu 61  
 Zdvajování periody 29, 44  
 Zobrazení diskrétní 25, 29  
 Zobrazení chaotické 20, 21  
 Zobrazení jednodimenzionální  
 29, 73  
 Zobrazení kvantové 15  
 Zobrazení logistické 24, 25, 29,  
 45, 63, 64, 73  
 Zobrazení spojitě 25  
 Zobrazovací relace 62  
 Zpožděná konstrukce atraktoru 76

## Rejstřík jmenný

### A

ADAMS, Ernest, W. 54, 91  
 ANDRES, Jan. 18, 28, 38, 44, 65,  
 78, 80 – 81, 91

### B

BALASHOV, Yuri, V. 91  
 BARKER, Chris. 11, 91  
 BARRETT, Jeffrey, A. 14, 91  
 BATTERMAN, Robert, W. 19, 91  
 BELOT, Gordon. 15 – 16, 91  
 BISHOP, Robert, C. 87, 91  
 BOGDAN, Radu, J. 97  
 BOHM, David. 6, 111  
 BOKULICH, Alisa. 15, 92  
 BOUMANS, Marcel. 78, 92  
 BRICMONT, Jean. 17, 18, 92, 111

### C

CARTWRIGHT, Nancy. 13 – 14,  
 16, 72, 92, 96, 99, 111  
 CHANGEUX, Jean-Pierre. 88, 92  
 CLAYTON, Philip. 6, 92  
 COVENEY, Peter. 92  
 COVER, J.A. 92

### D

DAVIDSON, Donald. 86, 92, 107  
 DEVANEY, Robert, L. 19, 20,  
 22-23, 93, 104, 108  
 DVOŘÁKOVÁ, Jana. 80, 93

### E

EDELMAN, Gerald, M. 77, 83, 85  
 – 86, 88, 93  
 EINSTEIN, Albert. 93, 94

### F

FAJKUS, Břetislav. 93  
 FEYERABEND, Paul, K. 10  
 FORD, Joseph. 14 – 15, 19, 93  
 FORGE, John. 50, 93  
 FRAASSEN, Bas van. 40, 93  
 FREEMAN, Walter, J. 11, 35, 77,  
 83 – 86, 93, 107  
 FUJII, Hiroshi. 86, 93  
 FÜRST, Tomáš. 18, 28, 38, 78, 91

### G

GALISON, Peter. 25, 78, 81, 94  
 GIERE, Ronald, N. 6, 11, 40 – 41, 94  
 GLEICK, James. 17 – 18, 25, 78, 94  
 GLYMOUR, Clark. 61, 71 – 74, 94  
 GOLDSTEIN, Herbert. 49, 94



GREEN, Brian. 94

GRÜNBAUM, Adolf. 94

## H

HARRELL, Maralee. 61, 71 – 74, 94

HEMPEL, Carl, Gustav. 44 – 46, 94

HIGHFIELD, Roger. 92

HOFSTADTER, Douglas. 90, 95

HOLT, D., Lynn. 25, 48, 95

HOLT, R., Glynn. 25, 48, 95

HORÁK, Jiří. 17, 23, 46, 95

HŘÍBEK, Tomáš. 88, 95

HUMPHREYS, Paul. 10, 95

## J

JÜRGENS, Hartmut. 20, 23 – 25,  
27 – 30, 36, 43, 54, 96, 98

## K

KANT, Immanuel. 5, 34, 89, 90, 95

KANE, Robert. 91, 100

KELLERT, Stephen, H. 7 – 8, 11 – 13,  
17 – 19, 23, 31 – 53, 57 – 59, 77 – 78,  
95, 117

KIM, Jaegwon. 9, 88, 95

KITCHER, Philip. 39

KOPERSKI, Jeffrey. 60 – 65, 69,  
71-75, 95

KRLÍN, Ladislav. 17, 23, 46, 95

KRONZ, Frederick, M. 96

KUHN, Thomas, Samuel. 96

KUCHÁR, Ivan 45, 94

## L

LAKATOS, Imre. 20, 96

LAMPART, Marek. 80, 93

LAUDAN, Larry. 7, 96

LAYMON, Ronald. 61, 96

LEWIS-WILLIAMS, David. 5, 96

LI, Tien-Yien. 17, 101

LORENZ, Edward. 20, 24 – 25, 28 –  
29, 43 – 44, 54 – 56, 63 – 64, 78 – 79,  
96, 102, 107

## M

MANDELBROT, Benoît. 20, 43, 54,  
96

MANTICA, Giorgio. 93

MARKOŠ, Anton. 13, 96

McGINN, Colin. 5, 88, 97

MLÍCHOVÁ, Michaela. 80, 93

MODELL, Arnold, H. 77, 97

MORGAN, Mary, S. 99

MORRISON, Margaret, C. 99

MORTON, Adam. 8, 52-53, 60,  
65 – 67, 69, 74 – 75, 97, 117

MULAIK, Stanley, A. 97

**N**

NAGEL, Ernest. 97  
 NOSEK, Jiří. 97, 100

**O**

OBADALOVÁ, Lenka. 80, 93  
 ODENBAUGH, Jay. 78, 97  
 OPPENHEIM, Paul. 94  
 OTT, Edward. 23, 81 – 82, 97  
 OWENS, David. 9, 97

**P**

PARKER, Matthew, W. 26, 77,  
 81 – 83, 97  
 PASTOR, Karel. 18, 28, 38,  
 78, 91  
 PEARCE, David. 50, 98  
 PEITGEN, Heinz-Otto. 20,  
 23 – 25, 27 – 30, 36, 43, 54,  
 96, 98  
 PEREGRIN, Jaroslav. 13, 98  
 POINCARÉ, Henri. 25, 27, 48,  
 65, 80, 81, 94  
 POPPER, Karl, Raimund. 31, 78, 98  
 PRIGOGINE, Ilya. 18, 34, 38, 41,  
 46, 89, 98  
 PROCHÁZKA, Oldřich. 94  
 PUTNAM, Hilary. 98

**R**

RAIDL, Aleš. 17, 23, 95  
 RAILTON, P. 50, 98  
 RANTALA, Veikko. 50, 98  
 REDHEAD, Michael. 36, 98  
 RISTOW, Gerald. 93  
 ROSENBERG, Alex. 6, 98  
 RUEGER, Alexander. 71 – 75, 98

**S**

SALMON, Wesley, C. 39, 94  
 SAUPE, Dietmar. 20, 23 – 25,  
 27 – 30, 36, 43, 54, 96, 98  
 SHARKOVSKY, A., N. 18, 109  
 SHARP, W., David. 71 – 73, 75  
 SCHLESINGER, George, N. 36, 99  
 SCHRÖDINGER, Erwin. 90, 99  
 SINGH, Simon. 18, 99  
 SMITH, Peter. 7–8, 13–14, 18–21, 23–24,  
 27–31, 35–36, 40, 42–44, 48–49,  
 52–59, 74–77, 79–80, 86, 99, 117  
 SMITH, Sheldon, R. 14  
 SOKAL, Alan. 17, 92  
 STENGERSOVÁ, Isabelle. 18, 34,  
 38, 41, 46, 98  
 STOJAN, Petr. 6  
 SUÁREZ, Mauricio. 99  
 SUPPE, Frederick. 40, 99  
 SUPPES, Patrick. 99  
 STEPHAN, Achim. 99  
 STEWART, Ian. 100

**T**

TELLER, Paul. 100  
THAGARD, Paul. 100  
TOFFLER, Alvin. 46  
TONONI, Giulio. 77, 83, 85, 86, 88, 93  
TOULMIN, Stephen. 47  
TSUDA, Ichiro. 86, 93, 100  
TURING, Alan. 34, 100

**V**

VALENTA, Lubomír. 17, 100

**W**

WALTER, Henrik. 83, 87, 93, 100, 111  
WEISSKOPF, Victor, F. 80, 100  
WHITEHEAD, Alfred, N. 6  
WINNIE, John, A. 22, 100  
WINSBERG, Eric. 8, 60, 68, 69, 70,  
71, 74, 75, 101, 117  
WITTGENSTEIN, Ludwig. 6, 90

**Y**

YORKE, James. 17, 101

**Z**

ZEMAN, Vladimír. 94



## Resumé

### Filozofické aspekty teorie chaosu

Autorovým hlavním záměrem je prozkoumat různé koncepty modelů používaných v teorii dynamických systémů. Získané poznatky jsou využity při zkoumání a korekcích různých konceptů vědeckého modelování a také při hodnocení aktuálních kritérií životaschopnosti těchto modelů.

Kapitola 1 popisuje problematiku vztahů mezi vědeckými disciplínami, ale i dílčími disciplínami fyziky. Kapitola 2 předkládá základní charakteristiky teorie chaosu. Kapitola 3 pak získané poznatky využívá ke zhodnocení hlavních filozofických reflexí teorie chaosu navržených v textech Stephena Kellerta a Petera Smitha. Toto zkoumání je vystavěno konfrontačně (Kellert x Smith) a autor kriticky hodnotí a rozvíjí některé z Kellertových a Smithových klíčových postřehů. Kapitola 4 analyzuje použití modelů v teorii chaosu a hodnotí rozdíly mezi top-down a bottom-up modelováním, především v textech Jeffreyho Koperskyho, Adama Mortona a Erica Winsberga. Závěrečná kapitola se zabývá limitami vědeckého modelování, zejména podmínkami uplatnění modelů teorie chaosu při popisu reálných systémů (stínové lemma a podmínka hyperbolicity).

Odkazy na problémy současné teorie dynamických systémů, v astrofyzice (stabilita sluneční soustavy) a neurovědě (chaotická dynamika neuronové sítě lidského mozku), slouží jako odrazový můstek pro filozofické zhodnocení.

### Philosophical Aspects of Chaos Theory

The author's main intention is to explore various concepts of models used in dynamical systems (chaos) theory. The knowledge gained in this exploration is applied to examine and correct various concepts of modelling in science and to ascertain the current parameters of the viability of using scientific models.

Chapter 1 outlines the issue of the relations both between scientific disciplines and sub-disciplines of physics. Chapter 2 adumbrates the essential characteristics of chaos theory. Chapter 3 then uses the knowledge gained to

evaluate some major philosophical reflections of chaos theory proposed in texts by Stephen Kellert and Peter Smith. This exploration is pursued contradistinctively (Kellert x Smith) and the author critically evaluates and develops some of Kellert's and Smith's key insights. Chapter 4 analyses the status of the model in chaos theory and evaluates the differentiation between top-down and bottom-up modelling, above all in Jeffrey Kopersky's, Adam Morton's and Eric Winsberg's texts. The final chapter examines the limitations of modelling in science, in particular the conditions of the applicability of chaos theory models to depict real systems (shadowing lemma and the conditions of hyperbolicity).

References to the problems of contemporary dynamical systems theory, in astrophysics (the stability of the solar system) and in neuroscience (the chaotic dynamics of the neural networks of the human brain), serve as the springboard for the philosophical evaluation.

## **KATALOGIZACE V KNIZE - NÁRODNÍ KNIHOVNA ČR**

Zámečník, Lukáš Hadwiger

Filozofické aspekty teorie chaosu / Lukáš Hadwiger Zámečník --

1. vyd. -- Olomouc : Univerzita Palackého v Olomouci, 2012. -- 118 s.

-- (Qfwfq ; sv. 1)

Anglické resumé

ISBN 978-80-244-3386-8 (brož.)

124.1 \* 530.162 \* 519.86/.87 \* 004.94 \* 101 \* 001.11

- chaos -- teorie

- modelování a simulace -- filozofické aspekty

- filozofie vědy

- monografie

00 - Věda. Všeobecnosti. Základy vědy a kultury. Vědecká práce [12]

### **Filozofické aspekty teorie chaosu**

Lukáš Hadwiger Zámečník

1. svazek Edice Qfwfq

Výkonný redaktor: Jiří Špička

Odpovědné redaktorky: Zuzana Indrová, Hana Pochmanová

Sazba a obálka: Martina Šviráková

Vydala a vytiskla Univerzita Palackého v Olomouci.

Křížkovského 8, 771 47 Olomouc

[www.upol.cz/vup](http://www.upol.cz/vup)

email: [vup@upol.cz](mailto:vup@upol.cz)

Olomouc, 2012

1. vydání, 118 stran

čz 2012/823

ISBN 978-80-244-3386-8

Publikace neprošla redakčním zpracováním ve vydavatelství.

Publikace je neprodejná.

