

# Pokroky matematiky, fyziky a astronomie

---

Ilya Prigogine; Isabelle Stengersová  
Nová aliance

*Pokroky matematiky, fyziky a astronomie*, Vol. 29 (1984), No. 4, 181--195

Persistent URL: <http://dml.cz/dmlcz/137776>

## Terms of use:

© Jednota českých matematiků a fyziků, 1984

Institute of Mathematics of the Academy of Sciences of the Czech Republic provides access to digitized documents strictly for personal use. Each copy of any part of this document must contain these *Terms of use*.



This paper has been digitized, optimized for electronic delivery and stamped with digital signature within the project *DML-CZ: The Czech Digital Mathematics Library* <http://project.dml.cz>

## Nová aliance

První část – Od dynamiky k termodynamice: postupné otvírání fyziky světu přírodních procesů

*Ilya Prigogine, Isabella Stengersová, Brusel*

„Stará aliance se rozpadla; člověk konečně ví, že je sám ve lhostejném a bezedném vesmíru, z něhož se náhodou vynořil“.

*J. Monod*

### 1. Stará aliance

„Vidíte tohle vejce? To vyvrací všechny teologické školy a všechny chrámy na světě. Co to je? Netečná hmota, dokud do ní nevstoupí zárodek... Jak tato hmota přejde k jiné organizaci, ke vnímání, k životu? Teplem. Čím vznikne teplo? Pohybem. Jak bude tento pohyb postupně působit? Místo odpovědi se na chvíli posadte; můžeme to pozorovat okamžik za okamžikem. Nejdřív je to chvějící se bod, očko, které se zvětšuje a zbarvuje; z masa, které se tvoří, vystupuje zobák, konečky křídel, oči, nohy. Je to živočich... chodí, létá, zlobí se, utíká, blíží se, nařiká, trpí, miluje, touží, těší se; zná všechna vaše hnutí a dělá všechno, co vy. Chcete snad tvrdit s Descartem, že je to jen napodobující stroj? Každé malé dítě by se vám vysmálo a filozof namítne, že je-li tohle stroj, nejste ani vy nic jiného. Uznáte-li, že mezi živočichem a vámi je jen rozdíl v organizaci, prokážete smysl pro skutečnost a zdravý rozum, budete upřímný; jenže z toho si každý proti vám odvodí, že z neživé hmoty určitým způsobem uspořádané přidáním jiné neživé hmoty, tepla a pohybu vznikne vnímání, život, paměť, vědomí, vášně, myšlení... Poslouchejte a přijde vám líto sama sebe. Pocítíte, že abyste nemusel připustit jednoduchý předpoklad, který vysvětluje vše, totiž vnímání jako obecnou vlastnost hmoty nebo výsledek organizace, musíte se zřici zdravého rozumu a vrhnout se do propasti záhad, kontradikcí a absurdit.“

---

Our Journal wishes to thank SCIENTIA, International Review of Scientific Synthesis, Via Guastalla 9, 20122 Milan, Italy, for permission to reproduce the above article by Ilya Prigogine and Isabelle Stengers *La Nouvelle Alliance* published in SCIENTIA in issues 5–8 and 9–12, 1977 vol. 112 Annus LXXI.

© SCIENTIA 1977

Jaký je to chrám, který Diderotovo [2] vejce vyvrací? Jakého odpůrce se Diderot snaží přesvědčit? Proti jaké víře, mrtvému a do sebe uzavřenému přesvědčení, se tu dovolává tvůrčí a vynalézavé moci života, vnímavosti a samoorganizující schopnosti hmoty? Diderotův partner není z těch, kteří se ve jménu tmářského spiritualismu stavěli proti silám rozumu, pokroku a svobody ve století světél. Diderotův partner je matematik, fyzik a racionalistický filozof d'Alembert, autor *Předmluvy k Encyklopedii*, a chrám, který je třeba vyvrátit, je ten, kde se uctívá nová modla newtonovské pravdy.

Nedejme se zmýlit. Newtonovská pravda je ta, kterou naše věda zdědila, kterou do dnes střeží, kterou stále hlásá – a které se malé děti stále smějí a filozofové stále namítají: Jaká to je pravda, která nedovoluje pochopit, jak k ní samé mohlo dojít?

Není náhodou, že ateistický materialismus konce 18. století nakonec Diderotovými ústy prohlašuje objektivní spoluvinu abstraktně spiritualistického náboženství na tom pojetí přírody, na němž spočívá věda založená v 17. století.

Připomeňme řadu prací, například Whiteheadovu [9], Koyrého [6] a Needhama [8], které se snaží rozptýlit dosud živou iluzi, podle níž vývoj vědy v 17. století znamená vítězství skromného badatele, podrobujícího se konečnému výroku faktů a vždy připraveného přijmout experimentální ověření nad nadutou pýchou dogmatického metafyzika. Tyto práce ukázaly, že plodné spojenectví teorie a techniky, charakteristické pro soustavné experimentování, jež tvoří moderní vědu, není „přirozeným“ vyvrcholením vývoje lidstva, uskutečněním racionality platné *de jure* vždy a všude, u níž by bylo třeba jen vysvětlit, jak to, že ji Evropa, a pouze Evropa, zjevila sama sobě. Jejich práce obracejí naši pozornost na výrazně paradoxní povahu pojmu „vědeckého zákona“, na specifický, v jiných civilizacích a jiných dobách neslýchaný rys nároku zakladatelů moderní vědy, kteří chtějí přísně konečnými prostředky matematického důkazu, empirického pozorování a kvantitativního měření odkrýt pravdu přírody, samy principy, jimž je podrobena. Neboť samo hledání zákonů v přírodě už implikuje přesvědčení, že příroda *se řídí* určitým počtem srozumitelných principů, které nejenže jsou pro lidský rozum čitelné, ale musí se vždy objevovat už vepsané *v přírodě samé*. V čem tkví nehoráznost tohoto nároku? Nejde tu o to, že by se člověk naslouchající přírodě stával mluvčím nějaké srozumitelnosti, kterou příroda sama ve svém vývoji plodí. Pokud Galilei naslouchal přírodě, neposlušal ji jako žák učitele, nýbrž jako soudce útrpného práva. Jak říká Kant, Galilei podrobil přírodu výslechu. Idealizoval ji, to jest zmrzačil tak, až byla ochotna hovořit jazykem, který chtěl od ní slyšet, totiž jazykem matematiky. Až přiznala, že se odjakživa „řídí“ oněmi jednoduchými principy. Je ovšem třeba dodat, že jednoduchost těchto principů nikterak nepoukazuje k nějakému základnímu zákonu, jehož hledání by bylo jediným cílem vědy, nýbrž vzniká v důsledku záměrného izolování, které je součástí experimentu.

Pokud jde o přesvědčení, že se příroda přes oslňující rozmanitost tvarů přece řídí jednoduchými principy, Whitehead i Needham zdůrazňují podstatnou úlohu náboženského faktoru při vzniku moderní vědy. Jenom racionální a neomylný Bůh, zároveň tvůrce i prozřetelnost, tento podivný produkt středověkého myšlení, mohl stvořit a organizovat svět pole racionálních principů, které tvoří srozumitelný a trvalý základ, zdůvodňující a vysvětlující každou jednotlivou událost i vývoj každé individuální bytosti až do nejmenších podrobností. Toto přesvědčení zároveň opravňovalo vědce,

aby každou jednotlivou událost natahoval na skřípec, aby se z ní snažil vynutit přiznání racionálního principu, kterým se přes zdánlivou nahodilost nakonec řídí. Kdo by jinak měřil něco, co je z povahy věci nepřesné? Kdo by hledal předvídatelnou pravdu v tom, co je podstatně nahodilé? Jaká instance by mohla vynášet platné rozsudky o sublunárním světě?

Toto založení srozumitelnosti světa na Bohu křesťanského racionalismu není ovšem beztestné a idealizace, kterou Galilei vnucuje přírodě, aby ji mohl popsat podle matematických zákonů, není bezvýznamná. Příroda, jak ji chce popisovat člověk 17. století, je ovšem příroda ovládaná Bohem, který je úplně mimo ni: je slepá, nezná intenci ani finalitu, je svou povahou netečná a je podrobena racionalitě, jež je jí cizí. Je to příroda zbavená všeho, co by člověku dovolilo nalézt svoji vlastní totožnost, svoji podstatnou příslušnost k odvěké harmonii přírodního vývoje.

Člověk 17. století stojí na okraji světa jako hmotné tělo, karteziánský automat, duše stvořená k obrazu Božímu: vymyká se z přirozeného řádu a stojí někde mezi, odkud může vyslyšet přírodu a redukovat ji na slepou hru sil a lhostejný pohyb atomů. aniž by se tím zpochybnila jeho specifičnost jako člověka [4].

V 18. století už to tak nejde dál, aspoň pro ty ateistické filozofy, kteří jako Diderot začínají klást otázky newtonovské vědě a vědomě se hlásí ke své příslušnosti k přírodě. Příroda tedy musela být s to je nějak zplodit, musí být s to spontánně se organizovat do stále složitějších forem až po vznik myslícího živočicha.

Tento bod je třeba ještě jednou zdůraznit; vitalistický protest vychází z toho nejradikálnějšího materialismu. Diderot se nedovolává žádné mlhavé spirituality, když žádá, aby se hmotě výslovně přiznala schopnost vlastní smysluplné aktivity, a když pochybuje, zda se matematická fyzika, kráčející ve stopách Galileiho a Newtona, vůbec může zabývat problémem života. Právě naopak, chce tím dodat pravděpodobnosti tomuto revolučnímu tvrzení: člověk patří k přírodě, myšlení je výtvozem citlivé a organizované hmoty.

Podivně převrácená situace pro člověka, který se — jako my — naučil považovat hlasně vytrubované vítězství současné biologie nad vitalismem, tvrzení, že krajně nepravděpodobným vývojem od jednoho statistického zázraku ke druhému mohl vzniknout kybernetický automat člověk, a to bez narušení fyzikálních zákonů, za triumfální vítězství vědecké racionality nad tmářským spiritualismem. Podivný kontrast mezi Diderotovým optimismem a tragikou Monodovou, která tak výmluvně připomíná křesťanskou tragiku Pascalovu: „... člověk se už skutečně musí probudit z tisíciletého snu a objevit svou totální samotu, svou radikální cizotu. Nyní už ví, že je jako cikán na okraji vesmíru, v němž má žít. Vesmíru, který je hluchý k jeho hudbě, lhostejný k jeho utrpení i zločinům“ [7]. Ať do něho bije ateistické či křesťanské kladivo, zvon ulitý Galileiem a Newtonem vydává stále stejný zvuk, zní stále stejnou pyšnou skromností a hrdě přijímanou marginalitou.

Nicméně je zřejmé, že dějiny (věd) nedaly racionalistickému optimismu 18. století za pravdu. Někteří [5] z toho vyvodili, že mezi vědeckou metodou žijící z experimentu a teorie a mezi redukcí přírody na slepý svět atomů a měřitelných sil není jen historické spojení, nýbrž podstatná souvislost. Každý pokrok věd o přírodě spočíval v tom, že zbavil přírodu něčeho z toho, co je nám nejdůvěrněji blízké, z toho, z čeho se spráda

vztahy člověka ke světu. Uznání fyzikálního — to jest vědeckého — statutu života zároveň znamenalo vysvětlení všech specifických rysů živého — spontánní aktivity, autonomní organizace, smysluplného chování — jako důsledků nepravděpodobných stavů netečné hmoty, jak ji popisuje matematická fyzika.

Dějiny věd rozhodně ukazují, že vědecká metodologie není vymezena jen svou velice nápadnou racionalitou, ale zejména *schopností* zahrnovat stále složitější oblasti do idealizace toho typu, který tuto metodologii umožňuje, a to už *nezávisle na jakémkoli výslovném metafyzickém přesvědčení*. Neboť vědecká idealizace je úspěšná — to je problém, nad nímž by se každý filozof měl zamyslet. Věda skutečně odhaluje zákony, kterým je příroda podrobena. Věda má úspěchy a vědec vězící ve své konečnosti stále rozšiřuje a zdokonaluje své popisy, možné jen z božského hlediska. Svět, jak ho zná vědec, je svět, který jeho samého vylučuje, svět, v němž není místo pro toho, kdo jej popisuje. Jak vítězná tažení vědy postupuje, zároveň houstne tajemství, jak je věda možná. Vědec odhaluje svou schopnost vidět a rozumět spoustě věcí, ne však hluboce přirozené existenci žijících a mluvících bytostí.

Tuto epistemologickou situaci moderní vědy, jak jsme ji zde schematicky načrtli, posal Kant v celé její radikální podivnosti. Tím zároveň vyhlásil nevyhnutelné odsouzení každého pokusu o sjednocení lidské zkušenosti, nepřekonatelné rozštěpení lidského vědění na racionální poznání, sdílitelné a empiricky ověřitelné, a na zkušenost mravní, náboženskou a estetickou. Kant dává plný význam naší poznámce: vědecký popis je ve své povaze popisem z hlediska člověku nepřístupného, to jest božského.\*) A skutečně, podle *Kritiky čistého rozumu* je poznatelný svět, který Bůh 17. století stvořil podle několika racionálních principů, konstituován *poznávajícím subjektem* podle těchto principů. Svět, který vědec studuje, je už tím, že je považován za předmět poznání, podroben, konstituován ve své objektivitě, týmiž principy, které se v něm korelativně odhalují jako „přirozené“ zákonitosti (princip dostatečného důvodu, lineární kauzalita atd.). Kant tedy dovoluje porozumět paradoxní epistemologické situaci moderní vědy; konečné lidské poznání konstitutivně plodí iluzi své vlastní nekonečnosti, iluzi o totalizující povaze pravdy, kterou vynáší. Kamkoli se obrátí, nese si s sebou podmínky své možnosti. Cokoli se pokouší pochopit, představit si, popsat, je už tím samým podrobena podmínkám, které je konstituují jako předmět poznání pro lidskou soudnost. Kam až člověk dohlédne, všude se už sám předchází, a nemůže se tedy setkat než s „přírodou“, která se řídí nutnými zákony, objevenými matematickou fyzikou.

Za tuto srozumitelnost, kterou Kant nabízí, je ovšem třeba draho zaplatit. Kant sám vyzýval, aby se vědění omezovalo a udělalo místo víře: lidské vědění má přístup jen ke světu fenomenů, nezajímavému a bezvýznamnému. Kant ironicky dává moderní vědě, co jí náleží, když jí jako legitimní pole přisuzuje svět, kde všechny problémy

---

\*) Vědecký popis totiž nevychází z dat bezprostřední lidské zkušenosti, z kvalit, které člověk vnímá, jako jsou barvy, chuti, vůně apod. Vychází naopak z apriorního náhledu matematických zákonitostí, podle nichž byla příroda stvořena, či přesněji zkonstruována (podle racionalistických představ 16.—18. století). Věda tedy nepoznává a nepopisuje přírodu očima „obyčejného člověka“, nýbrž na základě přímého nahlédnutí do dílny jejího „konstruktéra“. Proto je její poznání jisté a její popis přesný — více méně nezávisle na zkušenosti, která s ním buď souhlasí, anebo se musí mýlit. (Pozn. překl.)

jsou nicotné a snadné, a radikálně ji vylučuje ze všech otázek, které se týkají smyslu života a osudu člověka.

Uvnitř Kantova díla se už také ozývá dvojí pojetí času, které působí trvalý rozštěp v soudobém vědění a staví vědecký popis do naprostého rozporu s nezákladnější lidskou zkušeností: původní čas jako podstatná struktura subjektivity, na jehož horizontu se smyslová skutečnost nabízí jako předmět poznání, proti lineárnímu času jako posloupnosti okamžiků „ted“, kterou předpokládají všechny příčinné zákony.

Zřeknutí, k němuž chce transcendentální filozofie vědu přimět, je obtížné, ale obtížná je i úloha, kterou si transcendentální filozofie vyhrazuje sama. Je vnitřně rozdvojena rozlišením transcendentálního a empirického, které musela zavést, aby vyložila úspěšnost vědy přes epistemologickou rozpornost jejího záměru. Transcendentální subjekt nemá pro poznání sebe sama jiné zrcadlo než empirickou zkušenost, a přece musí sám sebe myslet jako něco, co stojí mimo každou jednotlivou empirickou zkušenost, a transcendentálně konstituuje odraz, který nahlíží. Jak se potom vyhne nebezpečí, že transcendentální základ bude pouhou kopií empirického, které měl zakládat? Jak se vyhne nebezpečí, že zredukuje filozofii na pokoutně empirickou antropologii? [3].

Tyto nesnáze ještě ztěžuje rozvoj věd o člověku, které činí člověka „předmětem“ empirického bádání a snaží se ho vysvětlit jako výsledek biologického vývoje, adaptace, dějin a společnosti.

O člověka 20. století se tak přou přírodní vědy, které o sobě tvrdí, že jen ony přesně popisují svět; uznávají sice, že člověk je pro ně dosud předmětem příliš složitým, nicméně radikálně upírají skutečnost tomu, co zakládá jeho existenci, přou se o něho humanitní vědy, které se neustále mezi sebou hašteří o svoji vlastní metodologii, avšak svorně redukuji pravdu přírodních věd na holý pragmatismus, a pře se o něho filozofie, která vědou pohrdá, činí si nárok na původnější pravdu — a přesto je stále v defenzívě. Rozpolcen mezi nimi má člověk 20. století k dispozici horu vědomostí, jakou neměl nikdo před ním, ví však méně než kdokoli před ním, čím je a co zná.

Samotný úspěch galileovské idealizace, průzračnost výsledných popisů, kontrastující s neprůhledností práce, jež k nim vede, přispěl k izolaci vědy, pomohl z ní udělat cizí těleso, předmět hněvu, výsměchu a uctívání. Skandál moderní vědy tkví v tom, že od zrušení staré aliance, která zaručovala možnost vzájemného porozumění mezi Bohem a lidmi, žije z účinnosti, kterou sice nedovede vysvětlit, jejíž působivost však pociťuje příliš hluboce — a to jako vyslovování nových a přesných pravd —, než aby mohla přistoupit na nihilistické interpretace lidí, kteří posuzují její praxi, aniž by ji znali, to jest, aniž by se jí sami účastnili.

Moderní věda, naše věda... je to opravdu ještě naše věda, ta věda, kterou jsme tu právě popsali a která funguje jen díky iluzi, že epistemologické nesnáze, které plodí, jsou něčím mimo ni, co neohrožuje průhlednost jejich výsledků? Několik hlubokých krizí totiž otřásl od konce 19. století základy fyziky, kterou dnes otázka její vlastní možnosti hněte zevnitř. Problém statutu pravd, které produkuje, se pro ni stal problémem vědeckým, který ji nutí, aby se otevřela epistemologickému tázání. Tento vývoj vědy je předmětem našeho článku. Je to zároveň největší naděje těch, kteří se nechtějí smířit se současným rozštěpením, se současnou neprůhledností, se současným mlčením.

## 2. Struktura a disipace

V této kapitole bychom chtěli vysvětlit, jak teoretická fyzika svým vlastním vývojem dospěla ke zpochybnění a překonání té idealizace, na níž je založena. Tím otevřela cestu ze slepé uličky, do níž vítězství vědy zavedlo evropské myšlení.

V klasické fyzice existovala pásma jasu a pásma stínu; právě z těchto pásem stínu vytvořených jasně galileovského poznání, se vynořily některé koncepty, kterým bylo nutno ve fyzice přiznat místo a které potom svou přítomností podryly klasickou fyziku zevnitř.

Budeme hovořit nejprve o nevratnosti a potom o měření. Oba problémy leží na hranici klasického rozdělování na přírodu a člověka. Je nevratnost vlastností přírody nebo pozorovatele? a kam patří měření? Je to jen technická nezbytnost, anebo podstatný rozměr našeho popisu světa? Jak ještě uvidíme, charakteristickým prvkem měření je právě nevratnost. A v samém středu naší diskuse je otázka času ve fyzice, která se tedy klade pokaždé znovu.

Hovořili jsme o pásmech jasu a pásmech stínu. Patrně nejnápadnější pásmo jasu je to, které odpovídá formulaci pohybových zákonů, zejména hamiltonovské formulaci těchto zákonů. Souřadnice  $q$  a hybnosti  $p$  dovolují vytvořit funkci těchto proměnných,  $H(p, q)$ , tzv. hamiltonián, z jehož znalosti plynou přímo pohybové rovnice. Koncept hamiltoniánu má v teoretické fyzice mimořádný význam. Je pozoruhodné, že přežil dvě velké vědecké revoluce tohoto století, relativitu a kvantovou mechaniku.

Hamiltonovská formulace dynamiky může vycházet z různých typů souřadnic a hybností. Jde o zobecnění pojmu změny souřadnic, zahrnující v sobě překonání naivního realismu původní formulace newtonovské fyziky. Z možnosti měnit souřadné soustavy, vztahovat nějaký jev k souřadnicím kartézským nebo polárním, už vyplývá, že musíme rozlišovat mezi fyzikálním jevem a jazykem, který zavádíme volbou souřadnic. Hamiltonovská formulace nám dovoluje, abychom si zvolili tu či onu soustavu kanonických proměnných (souřadnic i hybností).

Představme si krystal. Jeho dynamický vývoj můžeme popisovat v pojmech souřadnic částic, z nichž se skládá; můžeme si také místo toho představovat vlny, tzn. koherentní pohyb částic, který v krystalu probíhá. Tyto „dva popisy“ jsou „ekvivalentní“ v tom smyslu, že určitá „kanonická“ transformace dovoluje přejít od jednoho popisu ke druhému. Tyto pojmy ekvivalence a transformace jsou velice důležité, protože právě ony vymezují hranice, v nichž si fyzik může volně vybírat svůj jazyk pro popis téhož fyzického jevu.

Existuje však přesto nějaký jazyk, zvláštní soustava proměnných, která má privilegované postavení? Ano, pokud existuje soustava, při níž se v hamiltoniánu objeví důležité fyzikální charakteristiky částic tvořících systém. Tak v případě krystalu můžeme přejít k takovým proměnným, aby se v hamiltoniánu objevily frekvence těch vlnových jevů, které v krystalu probíhají. V kvantové mechanice je situace obdobná. I zde se určitou kanonickou transformací (které se v kvantovém případě říká unitární) přejde k reprezentaci, která hamiltonián diagonalizuje, to znamená umožní explicitně vyjádřit energetické hladiny, které systém může zaujímat.

Ale ať je zvolená reprezentace jakákoli, důležité je zde to, že všechny procesy, popisující

vané hamiltonovskou fyzikou, jsou *symetrické vůči parametru času*. Ke kterémukoli z nich může fyzika stejně dobře a bez zdráhání za jiných fyzikálních podmínek připustit i proces opačný. Klasická fyzika tedy připouští stejně dobře a bez námitek, aby se různorodá směs homogenizovala i aby se stejnorodá směs disociovala, aby se rozdělení teplot vyrovnávalo i aby se spontánně oddělovala oblast chladu od oblasti tepla.

Právě to však vylučuje druhý termodynamický princip (nebo druhá věta termodynamiky), jak ho inženýři a fyzikální chemici v 19. století definovali a vnutili pozornosti fyziků [12].

Tento druhý princip definuje vlastnosti určité funkce, popisující systémy, v nichž dochází k fyzikálně chemickým transformacím, totiž entropie. Tvrdí, že žádný proces probíhající *uvnitř* systému nemůže entropii systému zmenšit. V průběhu vývoje systému může hodnota entropie, spojená s těmito vnitřními procesy (ne s procesy výměny mezi okolím a systémem), pouze růst nebo zůstat stálá. U izolovaných systémů, kde žádná výměna s okolím není, lze každý systém charakterizovat jistým stavem, kterému odpovídá maximální entropie: stavem rovnováhy, kdy už žádný proces, který by produkoval entropii, není možný.

Druhý princip tedy dovoluje rozlišovat změny dvojího typu: změny, které entropii *zachovávají*, jsou slučitelné se stavem rovnováhy a dají se definovat jako vratné, neboť druhý princip připouští i změny opačné; změny, které entropii *produkují*, v rovnovážném stavu mizí a jsou nevratné, neboť druhý princip vylučuje možnost opačných změn. Symetrické vůči času může tedy podle termodynamiky být pouze chování systémů v rovnováze.

Po celé 19. století zaznívají ozvěny sporu mezi energetisty a mechanisty [11]. Jedni se snažili na základě druhého principu ukázat podstatnou nedostatečnost klasické fyziky. Druzí usilovali tento princip zase „zařadit zpátky“ a ukázat, že *nevratné* chování makroskopických systémů, které studuje termodynamika, nevylučuje, aby se mikroskopické chování složek systému řídilo vratnými zákony.

V pracích Maxwellových a Boltzmanových se ukázalo, že takové zařazení si vyžaduje nějaký nový prvek, který by byl s to sloučit oba popisy, které jsou ve zřejmém sporu. Tímto novým prvkem se stala stochastická povaha, přisouzená fyzikálním zákonům. Pravděpodobnostní interpretace druhého principu udělala z nevratného vývoje chování, které je s dynamikou pouze *slučitelné* a charakterizované tím, že je statisticky nejpravděpodobnější.

Je známo, že v důsledku prací Boltzmanových, Maxwellových, Gibbsových a Ehrenfestových byla pravděpodobnostní interpretace entropie všeobecně přijata, ačkoliv s problémem „zrnitosti“ a navrhovaného ztotožnění entropie a informace stará pozitivistická pochybnost o fyzice ve 20. století znovu ožila uvnitř statistické mechaniky samé [19]. Po takových argumentech, jako uvedl Wigner o nezbytnosti doplnit kvantový formalismus o členy představující „stav ducha“ pozorovatele, nebo Jaynes, který celou dynamiku redukuje na věty o možnosti předvídat a účinně manipulovat, zdá se nakonec celá dynamika ohrožena právě tím zařazením zpátky, které provedla.

Je třeba uznat, že pravděpodobnostní interpretace druhého principu představuje silácký kousek na záchranu klasické fyziky. Jevy dvojího typu se vymykaly jejímu



chápaní: jednak makroskopická aktivita systému, zahrnující spontánní a koherentní organizaci jeho složek, jednak nevratnost jistých fyzikálních změn. Pravděpodobnostní interpretace dovoluje sice dát oběma fyzikální statut, avšak staví je proti sobě. Fyzika nyní připouští, že v důsledku velmi zvláštního rozložení svých složek — které je vzhledem k základnímu stavu ovládanému hamiltonovskou fyzikou nepravděpodobné, a tedy pro fyziku nepředvídatelné, i když s ní slučitelné — může systém vykazovat makroskopickou aktivitu. Existuje *jediný* typ makroskopické aktivity, který je fyzika schopna předvídat a připouští jako reprodukovatelný: tímto jediným legitimním předmětem jejího zkoumání je právě proces vymizení *veškeré makroskopické aktivity*, nevratný vývoj systému k rovnovážnému stavu, definovanému jako nejpravděpodobnější stav za daných podmínek, vnucených systému okolím.

Pravděpodobnostní interpretace tedy ztotožňuje nevratné makroskopické procesy, k jejichž uznání přinutil fyziku druhý princip, s procesem znovunastolení „fyzikální normality“, když nějaká zvláštní interakce, kterou fyzika nemusí vysvětlovat, vyvedla systém až na pokraj zákona, do situace, v níž by se proti všemu očekávání galileovsko-hamiltonovské idealizace přece jen „mohlo něco stát“. Tato interpretace je siláckým kouskem proto, že jediný nevratný vývoj, který se uznává jako zákonný, je ten, v němž si zákon velkých čísel vynucuje vymizení všech nepravděpodobných stavů proto, že jediným fyzikálně předvídatelným stavem zůstává stav rovnováhy, kde už žádná makroskopická aktivita není možná.

Tento silácký kousek přebírá současná biologie, která výklad fungování živé bytosti zakládá na pozoruhodné sérii *nepravděpodobných* událostí, „které fyzika tedy nepotřebuje vysvětlovat“, jako je vznik genetického kódu a příznivé mutace, a na *předvídatelném* vývoji k smrti a k makroskopické nečinnosti, pod něž druhý princip zahrnuje život všeho živého počínaje krajně nepravděpodobnou událostí narození. Život, jako každá organizovaná makroskopická aktivita, stojí tedy na okraji vesmíru, ovládaného zákony, které o něm nic nevědí, vesmíru, v němž se vynořil pouhou náhodou.

Není pochyb o tom, že pravděpodobnostní „zařazení“ druhého principu do klasické fyziky Boltzmanem a jeho následovníky otevřelo nové cesty plodného bádání. Zároveň je však třeba také uznat, že vedlo k velice vážnému zatemnění, zejména pokud jde o popis stavů vzdálených od termodynamické rovnováhy. Neboť co vlastně znamená slovo „pravděpodobnost“ ve fyzikálním kontextu? V termodynamické rovnováze mají všechny mikroskopické stavy stejnou statistickou váhu, takže se dá mluvit o pravděpodobnosti v klasickém smyslu. To ovšem neplatí, když interakce s vnějším prostředím udržuje nějaký systém mimo stav rovnováhy. Co potom opravňuje k používání pravděpodobnostní terminologie? Co nás v případě, že makroskopické procesy probíhají trvale, opravňuje k používání pojmů, jež popisují tyto procesy jen z hlediska jejich zániku v rovnováze?

Zde znovu vystupuje základní cizorodost termodynamiky vůči klasické dynamice. Termodynamika je věda o procesech. Vytvořena inženýry a fyzikálními chemiky, popisuje fenomenologicky spolu související účinky, chemické procesy, jevy absorpce a emise. Z povahy věci tedy vyžaduje, aby se tyto jevy braly vážně, a nejen ve vztahu k rovnovážnému stavu, v němž podle definice zanikají.

Užívání pravděpodobnostních pojmů, založených na předpokladu reálnosti jisté

vratné úrovně, na níž procesy nemají smysl, bylo možné pro rovnovážnou termodynamiku, pro případy, kdy jediným předvídatelným chováním systému je vývoj k rovnováze. Ale stochastická povaha, kterou bylo nutno přisoudit zákonům vývoje, tento už od počátku podezřelý prvek, který bylo třeba dodat k dynamickým zákonům, začne být něčím hluboce paradoxním, jakmile jde o nevratné procesy, které se odehrávají trvale. Právě tato extrapolace pravděpodobnostních pojmů do oblasti studované nerovnovážnou termodynamikou způsobila podivné připodobnění života k epifenoménu, jehož existenci lze vysvětlit jen odkazem mimo oblast fyzikálních zákonů – k zázračné náhodě.

Dále uvidíme, že v rámci jisté zobecněné dynamiky, v níž pojem procesu má fyzikální význam, je vztah mezi pravděpodobností a dynamikou obrácený. Druhý princip tu dostává statut dynamické věty (teorému), která se nijak zvlášť neopírá o počet pravděpodobností. Naopak dynamika rozhoduje o tom, které systémy se dají popisovat v pravděpodobnostních pojmech. Pravděpodobnostní popis se tu tedy nepřipojuje k dynamickému, který je mu bytostně cizí, nýbrž je co do své možnosti na dynamice založen.

Než se k tomuto bodu vrátíme, musíme popsat poslední úspěchy fenomenologické termodynamiky nerovnovážných stavů. Právě tyto výsledky nejlépe ukazují nezbytnost takové interpretace procesů, pro niž by referenčním stavem nebyl rovnovážný stav, kde nevratné procesy mizí.

Nerovnovážná termodynamika se zabývá systémy, které mají výměnu s okolím, systémy neizolovanými. Změna entropie se v těchto systémech neváže jen k procesům uvnitř systému, jako v systémech izolovaných, nýbrž i k výměně energie a látky mezi systémem a okolím. K určení chování systému pak už nestačí uvažovat pouze entropii, neboť druhý princip neklade žádnou podmínku na změnu entropie, související s výměnami s okolím. Rozhodující veličinou v neizolovaných systémech už není entropie, nýbrž *produkce entropie*, změna entropie, související s procesy *uvnitř* systému, za jednotku času. Druhý princip vyžaduje, aby produkce entropie byla kladná nebo rovna nule.

V neizolovaném systému mohou nevratné procesy probíhat trvale a produkce entropie může být různá od nuly, pokud interakce s okolím udržuje systém ve stavu lišícím se od rovnovážného. Podle toho, jak silný je tento „nátlak“ okolí, rozlišujeme oblast blízkou rovnováze, kde platí věta o minimální produkci entropie, a oblast nelineární, pro niž už žádná věta této obecnosti není možná.

V blízkosti rovnovážného stavu druhý princip dovoluje předvídat, že systém směřuje ke stabilnímu, ustálenému stavu, v němž zůstane, dokud bude trvat jeho interakce s okolím. Na rozdíl od rovnovážného stavu je tedy tento ustálený stav charakterizován jistou fyzikálně chemickou aktivitou produkující entropii. Ustálenost znamená, že produkce entropie, související s nevratnými procesy v systému, i souhrn makroskopických vlastností systému jsou v čase konstantní. Věta o minimální produkci entropie stanoví, že stabilní ustálený stav, k němuž se systém vyvíjí, je ten, v němž nevratné procesy produkují *minimální množství entropie slučitelné s interakcí s okolím*, jež tyto procesy udržuje.

Vlastnosti stabilních ustálených stavů [14] v oblasti platnosti věty o minimální pro-

dukci entropie jsou vlastně prodloužením rovnovážných vlastností: aktivita, produkující entropii, místo aby byla nulová, dosahuje úrovně odpovídající minimální hodnotě této produkce. Tato minimální hodnota se podobně jako extrémní funkce charakterizujících termodynamickou rovnováhu dá odvodit z makroskopické skladby systému a z okrajových podmínek. Ustálený stav je zde tedy úplně determinován proměnnými popisujícími interakci s okolím, které ho definuje. Okolí ovládá systém, který se tedy pojímá jako zásadně manipulovatelný. I v případě, kdy ustálený stav není prostorově homogenní, kdy existují fáze, zůstává situace definována vzhledem k homogennímu rovnovážnému stavu: prostorová rozlišenost umožňuje *nižší* úroveň aktivity, produkující entropii než odpovídající homogenní ustálený stav, a v tomto smyslu je tedy nehomogenní stav rovnováže *bližší*.

Proto produkce entropie je mírou vzdálenosti od rovnováhy. V lineární oblasti se systém, který se do rovnováhy nemůže dostat, chová tak, aby se k ní co nejvíc přiblížil. Má jistou termodynamickou „setrvačnost“, která ho unáší do stavů vnitřně netečných a neuspořádaných. To je nadále význam druhého principu.

Naproti tomu dál od rovnováhy už není situace tak jasná [14, 17]: druhý princip nadále poskytuje kritérium globálního vývoje systému k ustálenému stavu, jehož vlastnosti lze získat extrapolací rovnovážného stavu: *nemůže však už triviálně zaručit stabilitu tohoto ustáleného stavu*. Tato stabilita se musí studovat na úrovni každé fluktuace, která by mohla ustálený stav narušit. Druhý princip umožňuje definovat jistou veličinu charakterizující osud této fluktuace: přebytečnou produkci entropie. Daleko od rovnováhy se tedy druhý princip uplatňuje na dvojí úrovni. Poskytuje kritérium *globálního* vývoje systému a říká, že *pokud* je produkce přebytečné entropie pro všechny *lokální fluktuace* narušující stav, který umožňuje předvídat, *kladná*, je tento stav stabilní. *Neříká však*, že produkce přebytečné entropie *musí být* kladná, a nezaručuje stabilitu ustáleného stavu. Dovoluje naopak předvídat *nestabilitu* tohoto stavu za určitých podmínek, to jest možnost, aby se nějaká fluktuace udržela po makroskopickou dobu, aby se rozvinula a zesílila až do makroskopických rozměrů.

Nejjednodušším příkladem takového jevu je v oblasti hydrodynamiky Bénardova nestabilita.

Zahříváme zespod vrstvu kapaliny. Tento vnější vliv vyvede systém z rovnovážného stavu, který znamená, že v celé vrstvě se udržuje stejná teplota. Při malém teplotním gradientu se teplo přenáší vedením, k němuž však od jisté kritické hodnoty gradientu přibude přenos tepla prouděním. Tento přenos se děje v pravidelných trubcích proudění, které mají často šestiboký tvar.

To je typický jev strukturační, odpovídající zvýšené úrovni kooperativity z molekulárního hlediska. Než vznikla Bénardova nestabilita, spočívala veškerá energie systému v energii termického pohybu. Jakmile však k nestabilitě došlo, přesunula se část této energie do uspořádaných makroskopických proudů, které zahrnují velmi velké počty molekul. Pozoruhodné je to, že struktury tohoto typu vznikají a udržují se díky výměnám energie s vnějším světem, za nerovnovážných podmínek. Z tohoto důvodu jsme je nazvali disipativní struktury.

Fyzikální situaci bychom si mohli představit takto: drobné konvektivní proudy se vyskytují stále jako fluktuace, jenže pod jistou kritickou hodnotou teplotního gradientu

zase zanikají. Naproti tomu nad tímto prahem se některé fluktuace zesilují a vytvářejí makroskopické proudy. Vzniká nové uspořádání, které v podstatě odpovídá obrovské fluktuaci stabilizované výměnami energie s vnějším světem.

Hlavní výsledek „zobecněné termodynamiky“, vyvinuté v posledních letech v Bruselu, lze shrnout do nerovnosti vyjadřující podmínku toho, aby se daleko od rovnovážného stavu *mohly objevovat* nestability. Tuto nerovnost lze stejně aplikovat na hydrodynamické systémy (jako je Bénardova nestabilita) jako na systém s chemickými reakcemi. Ukazuje, že u chemických reakcí musí být splněny velice zvláštní podmínky: určité molekuly se musí účastnit reakcí „katalytického“ typu. To znamená, že tyto molekuly jsou nezbytné pro utváření sebe samých („autokatalytický efekt“ nebo pro vytváření jiných molekul, které potom budou produkovat je samé („cross-katalytický“ efekt).

Tento katalytický charakter [15, 16] chemických reakcí, nezbytný pro vznik nestability, je zvláště zajímavý, připomeneme-li si hlavní reakce biochemické (například cyklus glykolózy). Všechny tyto cykly se udržují díky velmi složité regulační síti; všechny rozhodující etapy jsou řízeny aktivačními nebo inhibičními mechanismy nebo dokonce obojími zároveň (mikroskopická kybernetika, jak ji výtečně popisuje Monod [7]).

Systémy, v nichž dochází ke sdruženým chemickým přeměnám, představují velice plodné a rozmanité pole pro studium disipativních struktur. Nejobecnější závěr, který lze z tohoto studia vyvozovat, říká, že zatímco v blízkosti rovnováhy je pravidlem dezorganizace a netečnost, po překročení prahu nestability se pravidlem stává samoorganizace, spontánní výskyt aktivity, diferencované v čase i v prostoru. Formy této disipativní organizace jsou velmi rozmanité. Některé systémy se spontánně diferencují v prostorové nehomogenity, jiné vstupují do periodického časového rytmu a tvoří skutečné chemické hodiny. Některé kombinují prostorové i časové strukturování a některé si konečně vytvářejí skutečné přirozené hranice, jejichž rozměry jsou určovány parametry, jež charakterizují aktivitu systému.

Zde se zřejmě nabízí představa, že biologickou organizaci by bylo možno pochopit v pojmovém rámci termodynamiky nerovnovážných stavů a že makroskopická organizace živých bytostí souvisí s tím, že příslušné chemické mechanismy jim dovolují fungovat *za prahem stability termodynamické větve*.

Toto téma zde nemůžeme rozebírat hlouběji, už dnes se však zdá být jisté, že disipativní struktury hrají důležitou úlohu v biologické oblasti [17].

Zobecněná termodynamika klade úplně nový problém, který nemá v termodynamice rovnovážných stavů obdoby, totiž problém stability. Statisticky deterministické zákony, popisující systém na základě vnějších vlivů, jež ho globálně definují, umožňují předvídat stacionární stav, k němuž se systém bude vyvíjet. Tytéž termodynamické koncepty umožňují také určit produkci přebytečné entropie, která charakterizuje osud fluktuací v systému: zda budou mizet nebo naopak sílit až k makroskopickým rozměrům a makroskopickému trvání. Termodynamický popis však už nemůže zaručit stabilitu systému. Tato stabilita se musí pro každý stav počítat se zřetelem na podrobnosti už existující chemické kinetiky a případné strukturace, to znamená se zřetelem na *historii* systému.

Proces zesilování fluktuace se jako takový zásadně vymyká termodynamickému formalismu. Naše skupina vyvinula popisy v pojmech stochastických procesů k vysvětlení přechodu z destabilizovaného stavu do jiného makroskopického stavu; ukázala význam

procesu *nukleace* [17]: stabilita systému vůči fluktuaci je dána *rozměrem* této fluktuace; pouze fluktuace přesahující určitý kritický rozměr, mohou překonat tlumení vznikající interakcí se zbytkem systému, mohou vzdorovat „integrační schopnosti“ systému. Tak například systém, v němž difúze probíhá velmi rychle, potlačí velice účinně každou lokální poruchu tím, že se homogenizuje dřív, než by ho mechanismy chemické kinetiky, které zesilují fluktuaci, mohly destabilizovat.

Tato lokální teorie fluktuací je výrazem nové situace daleko od rovnováhy: práh nestability systému označuje ten bod, kde se systém *radikálně vymyká* z „řízení“ pomocí okrajových podmínek, které ho ovšem už v případě stabilních stavů daleko od rovnováhy řídily jen zčásti a nepřímo. V tomto bodě nevratný proces, o němž se dalo mluvit jen z hlediska vlády, kterou jsme nad ním měli, ze stanoviska makroskopických vlivů udržujících systém daleko od rovnováhy (věta o minimální produkci entropie) nabývá takové intenzity, že předpoklady makroskopického způsobu popisu už nejsou dále udržitelné. Dalo by se patrně říci, že systém už není řízen, nýbrž naopak sám využívá vlivů, kterými se ho okolí nebo experimentátor pokoušejí makroskopicky definovat jako termodynamický systém.

Problém stability, to, že fluktuace není nutně odsouzena k bezvýznamnosti z makroskopického hlediska, nýbrž může dosáhnout makroskopických rozměrů i trvání, si vyžaduje koncepci nového typu objektu, nové objektivity. Nemůže to být objektivita termodynamická, která ztotožňuje poznatelné s ovládatelným, neboť problém stability se začíná klást právě tam, kde se systém z ovládnutí „vymyká“, ale nemůže to být ani objektivita dynamiky, která celý vývoj systému vyvozuje z popisu v nějakém okamžitém stavu. V rámci této dynamické objektivity by totiž nebylo možno rozlišovat mezi systémem a jeho okolím, mezi rovnovážným stavem, kde se proces makroskopicky neprojevuje, a stavem daleko od rovnováhy, mezi makroskopickým determinismem a lokálními fluktuacemi, protože to všechno jsou zde pouhé aproximace bez dynamického smyslu. A tím by se zároveň ztratilo i nové hledisko, které si studium procesů disipujících energií v termodynamice vynutilo, a tedy i problém stability. *Má-li tedy mít koncept stability nějaký smysl*, musí si vnější vlivy, které systém makroskopicky definují jeho vzdáleností od rovnováhy, *zachovat svůj význam*, neboť právě ony kladou problém stability. Makroskopický způsob popisu si musí *zachovat smysl*, aby bylo možno definovat práh, počínaje kterým se tento způsob popisu překračuje, počínaje kterým už fluktuace nejsou nutně odsouzeny k zániku statistickou nutností. Z problému stability tedy plyne, že úroveň makroskopického popisu, v němž se tento problém může klást, nesmí být definována jako pouhá aproximace nějaké základnější úrovně a nesmí být také definována zvládatelnou, manipulovatelnou, říditelnou a předvídatelnou povahou svých předmětů.

V disipativních strukturách se tedy opravdu setkáváme s novým stavem hmoty, s novým typem makroskopického uspořádání, souvisejícím s nevratnými procesy a zahrnujícím organizované a koherentní chování složek systému. Na rozdíl od ostatních fyzikálně chemických systémů, jejichž makroskopické stabilní stavy lze statisticky deterministickým způsobem odvodit z chemického složení a z interakce s prostředím, fungování disipativní struktury nelze vysvětlit bez odkazu k nepředvídatelnému prvku fluktuace, jejímž zesílením a stabilizací struktura vznikla. Statistická nutnost a nahodilost fluktuací se v tomto popisu neodlučně prolínají. Náhodný prvek zde rozhodně neznamená libo-

vůli, indiferentní volnost pro strukturu, která se tvoří. Makroskopická definice systému totiž určuje práh nestability, od něhož počínaje se fluktuace může zesílit, a určuje také, ke kterým stabilním režimům fungování se systém může vyvíjet.

Nahodilý prvek je nicméně neredukovatelný, nutný z nejnvtitnější povahy makroskopického popisu: je-li v sousedství nestabilního stavu několik disipativních stavů, nemůže žádný *makroskopický* popis předvídat, k jaké fluktuaci dojde a k jakému fungování se systém bude vyvíjet.

Poznamenejme, že disipativní struktury samy mohou být nestabilní buď v důsledku nové interakce s prostředím, anebo vůči fluktuacím jiného typu. Strukturu vzniklou *posloupností* zesílených fluktuací lze tedy pochopit jen v souvislosti s její minulostí: žádný popis fyzikálně chemického stavu v určitém okamžiku nemůže vysvětlit její fungování; a tuto minulost složenou z nepředvídatelných událostí musíme brzy považovat za jedinečnou a neopakovatelnou. Proč bychom tedy neřekli, že disipativní struktura je výsledkem individuální *historie*? Daleko od rovnováhy se tedy ve fyzice nerozlučně spojují pojmy struktury, fungování a historie, což klasická fyzika vždycky popírala s odvoláním na vratnost chování základních prvků skutečnosti.

Zatím jsme zkoumali možnost zesílení pouze u fluktuací týkajících se koncentrace aktivních prvků a tvořících systém. Stabilita systému však může být ohrožena i jinak: některé prvky mohou být postiženy „mutacemi“ nebo mohou do systému vstoupit prvky jiného typu, takže v systému vzniknou nové vztahy mezi jeho složkami. Pak dochází ke skutečnému soutěžení mezi různými možnými způsoby fungování systému. Mutantů či vetřelců je zpočátku málo; budou potlačeni a „ortodoxní“ funkce systému zůstane zachována, pokud jejich přítomnost nezpůsobí nestabilitu této funkce. Pokud ji způsobí, nezaniknou, nýbrž se rozmnoží a celý systém přejde na nový způsob fungování – za cenu potlačení těch, které už v něm nehrají žádnou úlohu. V tomto případě se tedy zkoumá stabilita samé struktury systému, stabilita „syntaxe“ operací, které v něm probíhají.

Vezměme jednoduchý příklad populace autoreplikativních makromolekul, jak ho rozebírá Eigen [13]. Populaci v tomto případě ovládají ty makromolekuly, které dokáží nejúčinněji a nejpřesněji katalyzovat svou vlastní syntézu. V důsledku „chyb“ kopírování neustále vznikají „mutanty“, makromolekuly s odlišným pořadím složek. Tyto chyby však zůstanou bez následků. „Zrůdy“ se nerozmnožují, protože se reprodukují méně rychle než dominantní „normální“ molekula. Kdyby se však zrůda reprodukovala rychleji a přesněji, vytlačí ji a stane se sama normou.

Studium strukturální stability dovoluje klást základní otázky o mechanismech a diferenciaci nějakého ekosystému nebo populace: kterým novátorům se podaří zvrátit systém, do něhož vnikli, které systémy dokáží těmto nebezpečným tvůrcům odolat a potlačit je. Začínají se studovat modely z hlediska těch nejrozmanitějších situací. Tak třeba rozdělení druhu do kast: za jakých podmínek soutěžení mezi populacemi může být výhodné, aby se zlomek populace specializoval na bojovou a neproduktivní činnost (vojáci v hmyzích státech). Nebo specializace při lovu kořisti: v jakém typu prostředí bude pro druh výhodné, když omezí paletu svých zdrojů obživy, a v jakém bude lépe, když bude využívat co největší počet zdrojů. Nebo dynamika vývoje populace kořisti a lovců: výskyt kořisti, která dovede lépe unikat, nebo lovce, který účinněji loví, před-

stavují faktory strukturální nestability. Požadavek stability ekosystému dovoluje předvídat dlouhodobé vývojové tendence, které už teď některá empirická data potvrzují [10].

„Uspořádání z fluktuace“ může tak vést ke kladení nových otázek, například k tomu, aby se vztah jedince a struktury považoval za *problém* — místo abstraktního kladení do opozice nebo stejně abstraktního popírání této opozice. Máme tu zejména na mysli diskuse toho typu, které uvažují poměrný význam společensko-ekonomických struktur a revoluční úlohu „velkých mužů“ v dějinných převratech. Domníváme se, že vlastnosti stability, jak jsme je popsali, které spojují neuspořádanou elementární aktivitu s jistou globální organizací, kterou tato aktivita může vytvořit nebo popřípadě zničit, nemají daleko k pojmům, které se považují za základní v jiných disciplínách. Pojmy jako fungování, dysfunkce, krize, mohou nyní nabývat ve fyzice smysl. Tím se fyzika otevírá zkušenostem a konceptům pocházejícím z jiných horizontů, které jí dosud musely být cizí, protože sama teoreticky vůbec popírala dokonce jejich možnost.

*Zbývající druhou část článku otiskneme v příštím čísle. Redakce.*

## Literatura a poznámky

### Všeobecné

- [1] DELEUZE, G.: *Différence et répétition*. Paris PUF 1972; — *Proust et les signes*. Rozšířené vyd., Paris PUF 1972.
- [2] DIDEROT, D.: *Oeuvres*. Paris, Pléiade 1935 str. 670—671.
- [3] FOUCAULT, M.: *Les mots et les choses*. Paris, Gallimard 1966.
- [4] GUSDORF, G.: *La révolution galiléenne*. Paris, Payot 1969;  
— *Dieu, la Nature, l'Homme au siècle des Lumières*. Paris, Payot 1972.
- [5] Nemůžeme přijmout ten iracionalismus, na němž je podle našeho názoru založeno toto tvrzení o podstatné souvislosti mezi vědou a redukcí, jak je zastává např. M. HEIDEGGER, *Das Ding*.
- [6] KOYRÉ, A.: *Etudes galiléennes*. Paris, Hermann 1938;  
— *Etudes newtoniennes*. Paris, Gallimard, 1968 (str. 42—43).
- [7] MONOD, J.: *Le hasard et la nécessité*. Paris, Seuil 1970.
- [8] NEEDHAM, J.: *La science chinoise et l'Occident, le grand titrage*. Přel. E. JACOB, Paris, Seuil 1973.
- [9] WHITEHEAD, A. N.: *Science and the Modern World*. Cambridge, CUP 1927.

### Termodynamika

- [10] ALLEN, P.: *Darwinian Evolution and Predator-prey Ecology*. V Bulletin of Mathematical Biology, 37, 1975.
- [11] BRUSH, S.: *Thermodynamics and History*. V The Graduate Journal, sv. 7, č. 2, str. 477—565, Austin 1967;  
— *Kinetic Theory, sv. 1, the Nature of Gases and Heat*. Oxford, Pergamon 1965: sv. 2, *Irreversible Processes*, tamtéž, 1966.
- [12] CARDWELL, D.: *From Watt to Clausius*. London, Heinemann, 1971.
- [13] EIGEN, M.: *Self organization of Matter and the Evolution of Biological Macromolecules*. V Naturwissenschaften, sv. 58, 1971, str. 465—523.
- [14] GLANSDORFF, P., a PRIGOGINE, I.: *Structure, stabilité et fluctuation*. Paris, Masson 1971.
- [15] PRIGOGINE, I.: *La thermodynamique de la vie*. V La Recherche, sv. 3, č. 24, str. 547—562, 1971.
- [16] PRIGOGINE, I., NICOLIS G., BABLOYANTZ A.: *Thermodynamics of Evolution*. Ve Physics Today, I., sv. 25, č. 11, str. 23—28, II. sv. 25, č. 12, str. 38—44, 1972.
- [17] PRIGOGINE, I., a NICOLIS, G.: *Self Organization in Non Equilibrium Systems*. New York, Willey, 1977.

## Epistemologie kvantové mechaniky

- [18] BOHR, N.: *Physique atomique et connaissance humaine*. Paris, Gauthier-Villars 1972.
- [19] D'ESPAGNAT, B.: *Conceptions de la physique contemporaine*. Paris, Hermann 1965;  
— *Logique quantique et non-séparabilité*. Ve *The Physicist's Conception of Nature*, vyd. J. MEHRA, Dordrecht, Holland, Reidel 1973.
- [20] HEISENBERG, W.: *Physics and Philosophy*. 3. vyd., London, Allen and Unwin 1971.
- [21] JAMMER, M.: *The Conceptual Development of Quantum Mechanics*. New York, McGraw Hill 1968.
- [22] KÖRNER, S. (vyd.): *Observation and Interpretation*. Butterworth's Scientific Publications, London 1957.
- [23] PETERSEN, A.: *Quantum Mechanics and the Philosophical Tradition*. MIT Press, 1968.
- [24] ROSENFELD, L.: *L'évidence de la complémentarité*. V LOUIS DE BROGLIE: *Physicien et Penseur*, Paris, A. Michel 1953;  
— *The Measuring Process in Quantum Mechanics*. C Supp. of the Progress of Theoretical Physics, 222, 1965.
- [25] TOULMIN, S. (vyd.): *Physical Reality, Philosophical Essays on 20th Century Physics*. Harper, New York 1970.

## Nevratnost a porušení symetrie

- [26] GEORGE, C., PRIGOGINE, I. a ROSENFELD L.: *The Macroscopic Level of Quantum Mechanics*. V Det Kong. Danske Vidensk. Selks. Math. Phys. Medd. 38, 12, 1972.
- [27] PRIGOGINE, I.: *The Statistical Interpretation of Non-Equilibrium Entropy*. Acta Physica Austriaca, Supp., X, 401—450, 1973;  
— *Time, Irreversibility and Structure*. V *The Physicist's Conception of Nature*, Dordrecht, Reidel 1973.  
— *Measurement Process and the Macroscopic Level of Quantum Mechanics*, id *La naissance du temps*. Acad. Roy. Belg., Bull. Cl. Sci., 1973  
— *Irreversibility as a Symmetry-breaking Process*. V *Nature* 248, 67—71, 1973;  
— *Physique et Métaphysique*. Acad. Roy. Belg., Bulletin spécial du Bicentenaire 1974.
- [28] PRIGOGINE, I., GEORGE, C., HENIN F. a ROSSENFELD, L.: *A Unified Formulation of Dynamics and Thermodynamics*. V *Chemica Scripta*, sv. 4, str. 5—32, 1973.

Přeložil Jan Sokol

V biologii existuje vedle obrovského množství čistě popisného materiálu také mnoho různých dostatečně přesných a logicky dokonalých modelů, i když jsou vyjádřeny jazykem, který se od jazyka matematiky liší. Přímý „překlad“ do matematického jazyka je přitom často nemožný. V tom měla zřejmě výjimečné štěstí genetiky. Mendelovy genetické zákony lze zapsat matematickým jazykem, například pomocí formálních algebraických struktur. V teorii mikroevoluce se zase uplatňuje čistě matematický myšlenkový postup, který se krásně dá vyjádřit prostředky jistého formálního axiomatického systému. Matematická genetika a teorie mikroevolučních procesů dosáhly čistě matematickými prostředky řady vynikajících výsledků, a zřejmě

proto také dnes patří k nejpokročilejším oborům v biologii.

V ostatních oblastech biologie jsou úspěchy matematického modelování mnohem skromnější. Modely čistě fyzikálních a chemických procesů probíhajících v biologických systémech zde ponecháváme stranou, protože v těchto modelech se užívá běžně známých zákonitostí a už dostatečně propracovaného „jazyka“. Pravda je, že můžeme v biologii vytvářet tzv. fenomenologické modely: dosud známá fakta se popíší novým jazykem a existující informace se tím ukáže ve vhodnější i výhodnější podobě, z níž se dá ledačco poznat. Je-li totiž fakt příliš mnoho, pak někdy obrazně řečeno, pro stromy nevidíme les.

J. M. Svirežev