

*Ilya Prigogine byl světový odborník na „sebeorganizování systémů“ v přírodě.*

*V roce 1977 získal Nobelovu cenu za své práce v oblasti termodynamiky. Napsal světový bestseller „Order out of Chaos“ (Řád z chaosu). V následné přednášce se zamýšlí nad některými filosofickými aspekty aplikací nejnovějších fyzikálních objevů zejména z oblasti chaosu a sebeorganizace systémů. Ilya Prigogine se měl zúčastnit loňské pražské listopadové konference „Nový prostor pro kulturu a společnost - nové ideje ve vědě a umění“, ale bohužel, pro nemoc nepřijel.*

## Znovuobjevení času

Pamatuji se, že jako mladý muž jsem četl Eddingtonův výrok, který mi navždy utkvěl v paměti: „Při jakémkoliv pokusu přemostit duchovní a fyzickou zkušenost hraje klíčovou roli čas.“

Je to tak. Čas je základním kamenem vědy. Je to také základ naší existence. Čas je křižovatka, s vědou a přírodou na jedné - a myslí na druhé straně. V klasické vědě právě v tomto ohledu panovala vždy podivná dualita.

20. století je pro fyziku dobou velkých a převratných událostí. Začalo to novými teoriemi, jako byla ta o relativitě, a kvantovou mechanikou. Ve druhé třetině století pak přišla série naprosto neočekávaných objevů: např. že hmota je nestálá, že elementární částice se mohou vzájemně přeměňovat, že nerovnovážený stav ve zvrtném systému může být příčinou sebeorganizování. Tyto objevy dnes radikálně mění naše chápání prostoru a času. Dnes se věda snaží tyto objevy nějak zavést do více souvislého obrazu.

### Vševědoucnost

Z hlediska klasické fyziky tu tedy byl rozpor. Vesmír byl podle ní velký mechanismus, který se choval podle neměnných fyzikálních zákonů a který probíhal v (nezvratném) čase. Ale na druhé straně, když uvažuje o svém osobním životě, zjišťuje, že ve světě duchovna a vnitřního chování není nic důležitějšího než tvořivost, improvizace, a fakt, že máme přinejmenším pocit, že z chaosu kolem nás povstává řád, a že z úloмок dneška vznikají myšlenky a ideje zítřka.

Tento způsob nazírání klasické fyziky na svět nebyl náhodný. Hezky je to vyjádřeno ve slavném dialogu mezi Leibnizem a Samuelem Clarkem, který hovořil za Newtona, a ke kterému došlo před více než 200 lety. Leibniz napadl Newtona, řka, že sir Isaac má velmi nízké mínění o Bohu, přikládá-li mu úlohu pouhého hodináře (to proto, že Newton věřil, že Bůh bude muset čas od času svůj vesmírný mechanismus poopravit. Jinými slovy, Newton vlastně podporoval evoluční teorii Vesmíru). Clark opáčil, že Leibnizův vesmír, který byl stvořen najednou, v jednom okamžiku, už Boha víc nepotřebuje: je zbytečný.

To, co je na této diskusi tak důležité, je ukázka, jak tehdy lidé pojímali vědu. Teologové věřili, že Bůh je vševědoucí. Nečinili rozdílu mezi minulostí, přítomností a budoucností. Opravdu, Leibniz tvrdil, že pro dostatečně informovaného člověka neexistuje nic opravdu nového. Pro vědce té doby, který v jistém smyslu reprezentoval Boha, byl čas iluzí. Jinými slovy, vědec té doby se snažil získat Bohu rovnou sumu znalostí.

Myslím si, že jedna z nejdůležitějších věcí tohoto století je zjištění, že dosáhnout takové úrovně vědění není možné. Že můžeme nanejvýš v jistém smyslu pootevřít jedno okno - a další se jen domýšlet. Že pracujeme s tím, co popisujeme.

## **Termodynamika**

Termodynamika je, jak mnozí víte, založena na 2. termodynamickém zákonu, který říká, že v jakémkoliv izolovaném systému vzrůstá entropie. Vypadá to jednoduše a lidé to také tak jednoduše berou. Uvažují asi takto: dobře, vezměme dvě hypotetické krabice, do jedné dejme 100 částic, do druhé 20 částic a spojme je. Po jisté době budeme mít v každé krabici 60 částic. Je to jednoduché, takže se tím už dál nemusíme zabývat.

Dnes už ale víme, že to je úplně jinak. Víme, že nezvratné procesy (např. v chemii a biologii jsou všechny procesy nezvratné) vytvářejí řád a chaos zároveň.

Vraťme se k příkladu s dvěma krabicemi. Jestliže dáme dovnitř vodík a dusík a jednu krabici zahříváme a druhou chladíme, po chvíli budeme mít v jedné krabici víc vodíku a v druhé víc dusíku. Jinými slovy, vyprodukoval jsem řád. Musel jsem něco dodat - něco „zaplatit“, promrhal jsem něco energie - ale faktem zůstává, že jsem vytvořil řád z chaosu. Podobně se to děje i v jiných oblastech.

Musíme tedy změnit svůj „vzorec“ uvažování, či chcete-li, vědecký světonázor. Už víme, že i ten nejdokonalejší krystal má do „řádu“ daleko: částice se uvnitř pohybují značně chaoticky. Na druhé straně jevy, které jsme donedávna považovali za chaotické, jako např. turbulence, se ukazují jako vysoce „organizované“. V případě turbulence jsou jednotlivé „částice“ organizovány a korelovány na daleko větší vzdálenosti, než např. uvnitř molekul krystalu. Dnes už víme, že nerovnovážné procesy, např. turbulence, zahrnují daleko víc „vyváženosti“ než ty jevy a procesy, o kterých tvrdíme, že jsou rovnovážné.

To ovšem dokonale mění náš pohled na vztah mezi chaosem a řádem, mezi rovnovážným a nerovnovážným. V posledních dobách byly objeveny další fenomény (v hydrodynamice, chemii aj.) podobného charakteru. Je toho už tolik, že se prostě musíme vzdát deterministických popisů: jinými slovy, systém lze popsat pouze v rovině pravděpodobnosti. Nemůžeme předvídat, a už vůbec ne vypočítat, jak se bude vyvíjet. Kvantová mechanika se proslavila tím, že světu představila teorii pravděpodobnosti v mikrosvětě. Nyní se zdá, že totéž existuje i v makrosvětě.

## **Dynamika**

Dalo by se říci, že vše, co jsem až dosud popsal, je zase jen fenomenologický problém systému, který obsahuje částice, které z hlediska dynamiky prostě nelze „vypočítat“. Před několika lety jeden slavný britský matematik napsal: „Rád bych se jménem nás, kteří pracujeme na poli mechaniky, omluvil veřejnosti - Newtonovy zákony jsou asi tak od roku 1960 nesprávné.“

Je to udivující prohlášení. Občas se stane, že se nějaký vědec omluví za svůj omyl, ale aby se někdo omlouval jménem všech, co mají co do činění s mechanikou, a ještě za omyl, trvající tři století, to je něco zcela mimořádného. Lighthill jinými slovy říká, že celá interpretace klasické dynamiky - do jisté míry základ celé naší filosofie prostoru a času, včetně toho, jak na vědu nazírali Kant a Bergson - je špatná.

Co je to za nový typ dynamického systému? Poincaré a Kolmogoroff, který je, myslím, největší matematik tohoto století, zjistili, že existují mnohé nestabilní dynamické systémy, které, ať byla původně vzdálenost mezi nimi zanedbatelná, se posléze exponenciálně rozdělí. Způsob, jakým se dělí, se jmenuje „Lyapounův exponent“, a ten určuje to, čemu říkáme „dočasný horizont“ dynamického systému (po jehož dosažení už nemůžeme hovořit o trajektoriích). Jinými slovy, po určitém čase (průběhu) je koncepce souběžnosti ztracena, ať jsou původní podmínky jakkoliv pevné. Jediný způsob, jak to vyřešit, by vyžadoval znát praprapůvodní podmínky naprosto přesně - a to by byla vlastně vševědoucnost. Jenže ve fyzice nikdy počáteční podmínky přesně neznáme. Můžeme pracovat s konceptem „bodu“, ale ve skutečnosti je to vždy malý úsek prostoru (s jakkoli důkladnou přesností pracujeme).

Při práci s nestabilními systémy je nutno si uvědomit, že pracujeme s malou částí systému a víc už nejsme schopni zakalkulovat. Je tedy značný rozdíl mezi naší, omezenou znalostí, nebo ideální neomezenou znalostí boží. Pro stabilní dynamické systémy to stačilo a vyhovovalo, proto mohou astronomové vypočítat, kde se ta která planeta bude nacházet za pět miliónů let. Nikdo ale nedokáže předpovědět počasí na dva týdny dopředu. Není to proto, že by meteorologové byli hloupější než astronomové, ale proto, že tu jde o různé systémy. Ten nestálý už obsahuje Lyapounův exponent a je nepředpověditelný. Co mne překvapuje je to, že tento nestálý typ systémů převládá! Nalezneme jej všude: v tekutinách, plynech, v kvantové mechanice, všude. Proč?

Nestabilitu nalezneme všude tam, kde se vyskytují silné rezonance. Jako u dvou oscilátorů se stejnými, nebo hodně podobnými frekvencemi, rezonance vyúsťují do velmi chaotického chování. Proto v přírodě nacházíme tolik nestabilních systémů.

## **Spontaneita v přírodě**

Jak se tedy tyto systémy chovají (například ve srovnání s pohybem planet)? Především nejsou kontrolovatelné. Donedávna jsme ve vztahu k přírodě předpokládali, že pomocí znalostí základních zákonů můžeme vše dominantně ovládnout. Změníme-li zadání, změníme průběh. Změníme-li základní vlnu, změníme samozřejmě také vlnu výslednou. Pro mnohé funkce to platí – dokážeme vypustit umělou družici a kontrolovat její oběžnou dráhu. Jenže to neplatí vždy a všude. Jestliže mám na počátku pokusu např. 100 částic a udělím každé určitou pozici a rychlost, nemohu předpovědět, co se stane. Systém se vymkne mé kontrole a začne se chovat tak, jak chce on a ne jak chci já a jak se jej snažím ovlivnit svými instrukcemi. Namítnete, že stočasticový systém je příliš komplexní. Nedávno se ale mým kolegům podařilo propočítat numerickou analýzu radiové emise. Máte-li nějaký oscilující zdroj, vyzařuje podle klasických elektromagnetických zákonů a vysílá světlo. V kvantové fyzice bychom řekli, že emituje fotony. Ukazuje se ale, že ať se jakkoliv snažíme emisi zabránit, po nějakém čase se systém začne chovat podle sebe a vymkne se naší kontrole.

Rád bych zdůraznil, že všude v přírodě vidíme daleko větší spontaneitu a že pozorujeme výsledky spontánních procesů, které v žádném případě nemůžeme kontrolovat tak, jak jsme si to donedávna představovali na základě fyziky a klasické mechaniky.

To neznamená, že bychom se měli vzdát vědecké racionality. My jsme si tento svět nevybrali. My vědci jsme tu od toho, abychom svět kolem nás popsali takový, jaký jej nacházíme. Zjistili jsme, že náš svět je velmi nestabilní. To vede, dle mého, k docela novým typům strategií, k novým způsobům interakcí mezi systémy.

## Kosmologie

Termodynamika a klasická dynamika jsou samozřejmě součástí klasické fyziky. Je zajímavé, že jsou to právě tyto části fyziky, o nichž se přepokládalo, že jsou konečné a neměnné, které jsou dnes příčinou vsutku revolučních změn ve vědě. Můžeme předpokládat, že změny ve fyzice předznamenávají hlubinné změny v mnoha jiných oblastech.

Nejdramatičtější se role času projevuje v oblasti kosmologie. Moderní kosmologie je vlastně produkt Einsteinovy teorie relativity. První model Einsteinova vesmíru byl ještě stabilní, čas v něm nehrál žádnou roli. Teprve později (Friedmanovy) teorie prokázaly, že Einsteinovy rovnice jsou nestálé, a v roce 1929 bylo zjištěno, že vesmír se vzhledem k nám rozpíná. Statický vesmír tedy nemůže existovat. Tenkrát to lidi příliš nevzrušovalo, říkali, že to je čistě geometrický problém. Jenže potom přišel jeden z největších objevů tohoto století: zbytková radiace. Zjistilo se, že vesmír je plný fotonů, které jsou tu od počátku. Jinak řečeno, vesmír je plný entropie.

Je velmi podivný, ten náš vesmír. Jakoby velmi řídkce plavaly sem tam nějaké částice v moři fotonů. My je nevidíme, protože už „vychladly“, ale kdysi obsahovaly prakticky veškerou energii. To tedy znamená, že se musíme vážně zabývat evoluční teorií vesmíru, a že evoluce vesmíru není evolucí popsitelnou termodynamickými zákony. Podle nich totiž entropie narůstá: začali jsme nízkou entropií a ta roste. Jenže teď víme, že 99 %, a možná víc, tu bylo na začátku. Tepelná smrt je za námi, a ne před námi.

Vesmír tedy vznikl nesmírnou entropickou explozí a započal nesmírný nezvratný evoluční proces. Ještě jinak řečeno - vesmír byl započat vystřelením **šípu času**. Čas a vesmír začaly zároveň.

Stephen Hawking (známý vědec na invalidním vozíku) publikoval velmi zajímavou knihu *Stručné dějiny času*, ve které operuje tím, že černé díry (které jsou, podle něho, z 95 % reálné) nejsou až tak docela „černé“, že emitují radiaci. Pomáhá si termínem kvantové vakuum - tvrdí tedy že prázdnota je jen zdánlivá, že obsahuje páry částic a antičástic, které neustále zároveň vznikají a anihilací zanikají. Tyto částice mohou nějak reagovat s černými dírami a to způsobuje radiaci. Domyslíme-li tyto koncepty dále, dojdeme až k představě jednoduchého mechanismu stvoření vesmíru, která zahrnuje koncepci šípu času na samém počátku, a ve kterém se časoprostor mění v hmotu.

Dovolte mi dvě poznámky. Newtonovská fyzika říká, že časoprostor a hmota jsou odděleny. Časoprostor je podle ní jakýsi rezervoár, ve kterém pluje hmota. Ve vesmíru podle Einsteina to tiká podle proslavené rovnice - na jedné straně tu máme geometrii světa (popisující čas a prostor), na druhé straně hmotu. Co je nového, je to, že tady jsou čas a prostor s hmotou spojeny, vytvářejí jakousi jednotku.

Odvážím se udělat další krok. Protože víme, že vesmír není jen komplexní systém, ve kterém bychom rádi našli nějakou harmonii, pro který bychom měli rádi nějakou vše sjednocující teorii, ale je také vyvíjejícím se systémem. A o tom máme geologické, lidské, kulturní, kosmické a jiné důkazy. Mohli bychom předpokládat, že časoprostor může vyprodukovat hmotu, ale hmota nemůže vyprodukovat časoprostor. Jak podotkl přítel, je to jako když na hřbetu vlny vznikne pěna, ale z pěny nevznikne vlna.

Mechanismus vzniku vesmíru by mohl být velmi jednoduchý. Na počátku nebylo nic, protože z ničeho nemůže vniknout něco, ale vakuum, ve kterém se shlukují, sem tam, zárodečné částice. Nějak se dostanou k sobě a vytvoří černou díru (víme, že je k tomu potřeba  $10^{23}$  fotonů). Jakmile existuje černá díra, částice se stanou stabilní a černá díra funguje jako membrána: brání částicím ve fluktuaci. Jedinou možností emise je radiace (jako podle Hawkinga), a dojde-li k ní, emituje hmotu.

V tomto modelu prvních chvil našeho vesmíru by existovaly: kvantový prostorčas (nebo kvantové vakuum), vytvářející černou díru, která se mění v hmotu. Zní to podivně, ale výpočty souhlasí.

Tento proces je ale nezvratný, a to nejdůležitější, co z toho plyne, je zjištění, že místo aby vesmír vznikl ze singularity, vznikl z nestability.

A jsme opět tam, kde jsme už byli: na jakési prvotní úrovni světa, okolo sebe, v přírodě, v plynech, ve vodě, v atomech existují simultánní procesy, které produkují zároveň baryony (nezbytné pro vznik hmoty, galaxií a života) a fotony (které jsou hlavním odpadem vesmíru). Nezvratnost v podobě šípu času je tu od samého začátku.

Dokonce jsem v pokušení tvrdit, že čas tu byl už dříve: musel tu být, ale nebyl manifestován.

## Důsledky

Rád bych skončil dvěma poznámkami.

Za prvé, že v modelu, který jsem zde načrtl, se nalézáme právě mezi časem a věčností, tedy že nezvratnost a věčnost se navzájem limitují. Funguje-li totiž náš model, pak je tu od samého počátku šíp času a my i vesmír máme směr. Můžeme hovořit o stáří vesmíru, řekněme tak 15 miliard let, ale nemůžeme mluvit o absolutní věku - protože tento fenomén může znovu a znovu začínat. Můžeme hovořit o nezvratnosti, to je o relativitě času, ale nemůžeme hovořit o absolutním čase. Jakoby ona nezvratnost byla věčným majetkem, vybavením vesmíru.

Mne samotného nesmírně udivuje, že tato změna našeho vnímání času přichází právě v době, kdy i lidstvo samotné prochází fází radikální změny. V době, kdy se nestabilita, fluktuace a chaos zdánlivě nacházejí v každé naší činnosti.

Teorie chaosu se svými praktickými aplikacemi zpopulárněla právě po 19.10.1987, po „černém“ burzovním pondělí.

Zdá se, že právě probíhá jakási celoplanetární změna, nejen ve vědě nebo v lidské společnosti.

Jak jsem se zmínil na začátku, v klasické vědě jsme pozorovali, podle toho, jestli jsme se dívali zvnějšku nebo zevnitř, protiklady. Dnes se zdá, že obrazy splývají. A to je událost, jejíž důsledky vědu přesahují.

*(Přednášku ze symposia Mysl a příroda, Hannover 1990, přeložil V.M.)*