

O SMĚRU ČASU

*Paradox mikroskopické vratnosti a makroskopické nevratnosti
přírodního dění*

Josef JELEN

Čas a fyzika

Jedním z nejhluběji ležících problémů současné vědy je nalezení dobrého porozumění asymetrii časového průběhu přírodního dění.

Čas je nepochybně ústředním pojmem našeho vnímání přírodního světa a základem chápání našeho místa v něm. Čas je jevištěm života. Život a čas jsou neoddelitelné. Čas vlastně „žijeme“. Pojem času je jistě jedním z nejzávažnějších pojmů ve filozofii, kultuře i v lidské praxi. Bylo by možno rozebírat jej z mnoha stran a hledisek. Pohled přírodní vědy je však z nejpodstatnějších.

Často jsme přesvědčeni, že čas dobře známe. Minulost je to, co se již stalo, již událo, co neseme v naší paměti, co nemůžeme změnit. Budoucnost je to, co ještě nenastalo, co neznáme, co však můžeme ovlivnit svojí vůlí a činností. Odlišnost obou směrů času je zřetelně vnímána. Přírodní dění na úrovni událostí našeho života je očividně asymetrické. Přírodní děje jsou „nevratné“. „Co se stalo, odestát se nedá“ a „Každý je svého štěstí strůjcem“.

Člověk čas odjakživa poměřoval střídáním dne a noci (tj. otáčením Země), proměnou ročních dob (oběhem Země kolem Slunce) ap. Prostředky k jemnějšímu a přesnějšímu měření času přineslo hlubší poznávání přírodního dění, zvané fyzika. Fyzika sestrojila hodiny, od přesýpacích, vodních a slunečních, přes kyvadlové a jiné, až po nejpreciznější časoměrná zařízení současnosti, založená na vibracích elektronů v atomech.

Čas je pro fyziku jedním z jejích klíčových pojmů. Jako centrální věda v celém systému přírodních věd, vnáší fyzika svůj pojem času do celé přírodovědy. Porozumění přírodním zákonům slučování atomů a molekul je třeba hledat v kvantové fyzikální teorii struktury atomů a jejich elektromagnetických interakcí. Složitější biologické procesy jsou založeny na sřetených a funkčně spjatých biochemických reakcích. Při studiu mnoha rozhodujících jevů, kupř. přenosu energie, předávání genetické informace ap. můžeme fyzikálními metodami sestoupit až na úroveň jednotlivých molekul.

Fyzika je jádrem přírodní vědy i ve své metodě. Je vědou empirickou, vycházející z experimentu a praxe, své pojmy a zákony však formuluje přísně matematickou kvantitativní formou a usiluje o největší možnou míru logické přesnosti a jasnosti formulací, jaké je vůbec člověk svým myšlením schopen. Fyzikální metoda je příkladem racionálního přístupu v našem pořádní smyslové a rozumem zprostředkované zkušenosti při modelování přírodního dění.

Rozvoj fyziky následně „změnil svět“. Využití fyzikálních zákonů, které fyzika „nalezla v přírodním dění“, tj. které „vyvodila ve světě naší zkušenosti“, poskytlo člověku moderní techniku, již člověk užívá a která v rukou lidí (netoliko vědců) je nadějí i hrozbou budoucnosti lidského rodu. Jako příklady uveďme: radiové vlny, televizní techniku a video, letadla a rakety, počítačové čipy a paměti, zdroje energie včetně jaderné, moderní lékařské přístroje atd.

Úspěchy fyzikálního poznání jsou dalekosáhlé, ba kolosální. Téměř banální a zdánlivě nevinně vyhlížející úloha, fyzikálně porozumět asymetrii času a rozdílu mezi minulostí a budoucností, je však stále ještě nedořešena, zůstává tajemstvím a paradoxem a provokující výzvou dalšímu fyzikálnímu poznání a hledání.

První velkou fyzikální teorií byla klasická mechanika. Ta již koncem 17. stol. prokázala, že dynamické zákony, řídící pohyby mechanismů na Zemi i těles ve vesmíru, jsou shodné. Oběh planet kolem Slunce, pohyb kyvadla i vnitřního soukolí kyvadlových hodin, šíření se zvuku v koncertní síni, změna tlaku se

zvýšením teploty plynu, let letadla i rakety, tok vody potrubím ap. lze vysvětlit ze společného základu klasické mechaniky. Její úspěch byl drtivý. Duch Newtonových zákonů, které přinesly plně deterministický pohled na přírodní dění, ovládl fyziku na celá dvě století. Jejich podoba diferenciálních rovnic principiálně umožňuje z daného stavu systému, z tzv. počátečních podmínek, vypočítat kterýkoli stav v budoucnosti i v minulosti. Při obvyklé povaze sil, které se v nich na mikroskopické úrovni objevují, nerozlišují tyto rovnice směr času. Každý děj, který probíhá v čase vpřed, by při inverzi času (a tedy při změně okamžitých rychlostí všech částic systému na rychlosti právě opačné) mohl probíhat stejně dobře i nazpátek.

Také zákony elektrodynamiky, formulované tzv. Maxwellovými rovnicemi, které jsou rovnicemi určujícími časové a prostorové proměny elektromagnetického pole a pohyby nabitých částic v něm, splňují požadavek reverzibility v čase. Téměř veškeré dění kolem nás i v našem těle je podmíněno elektromagnetickými interakcemi mezi nabitými částicemi v atomech a molekulách.

Fyzikální teorií, která patrně nejvíce ovlivnila a změnila naše dřívější chápání času, je teorie relativity. Spojení prostoru a času ve čtyřrozměrném prostoročasu zrelativizovalo pojem současnosti událostí, přineslo objev „dilatace času“ (tj. zpomalení chodu hodin za rychlého pohybu a tím kupř. prodloužení života rozpadajících se částic, pokud se pohybují). Vedlo k formulaci a porozumění tzv. „paradoxu času“ či „paradoxu dvojčat“, tj. ukázalo, že časové údaje dvou zcela identických hodin, které prožily dvě různé dynamické historie nemusí při opětném přiblížení se k sobě souhlasit, tzn. dva, po odlišných životech se setkavší sourozenci-dvojčata nejsou stejně staří. V dalších souvislostech sepětí prostoru a času vedlo k nalezení vztahu mezi hmotností (mírou setrvačných vlastností tělesa) a energií, atd. V pochopení asymetrické povahy času však speciální teorie relativity nepomohla, spíše naopak, čas se v ní jakoby více připodobnil symetrii prostoru.

Nejvlastnější fyzikou konce 20. století, teorií, která umožnila fyzice úspěšně popsat svět atomů a jejich struktur, jež vytvářejí v kondenzovaných látkách ap., a tím položit předpoklady k soudobému bouřlivému rozvoji techniky na úrovni mikročipů a kvantové elektroniky, je kvantová teorie. Základní rovnicí kvantové mechaniky, která popisuje časový vývoj kvantových stavů systému, je tzv. časová Schrödingerova rovnice. Ani to však nerozlišuje mezi směrem času vpřed a nazpět.

Navzdory jmenovaným základním fyzikálním teoriím je průběh přírodních jevů ireverzibilní a asymetrie času mezi minulostí a budoucností je očividná, samozřejmá a všední.

Představme si film, kupř. s prostým dějem: Host vstoupí do restaurace, objednává si pečené kuře, číšník je přinese, host pojí, číšník odnese odložené kosti, host zaplatí a odejde... Anebo mějme ještě jednodušší příběh: Na okraji stolu stojí sklenka červeného vína, při malém otřesu sklenka spadne, víno se rozlije, na zemi zůstanou střepy a mokřý zbarvený koberec... Pusťme tytéž filmy pozpátku. Děje se nemožné; tak to na světě přece nechodí. Všichni diváci se pobaveně usmívají. Přítomný fyzik by však měl odcházet zasmušilý. Proč je to nemožné, proč to tak na světě nebývá? Kterým fyzikálním zákonům to odporuje? Kde vlastně fyzika popisuje nevratnost přírodního dění? Jak tuto nevratnost vykládá a kde nalézá její zdroje a původ?

Druhý princip termodynamiky a růst entropie

Nejznámějším případem nevratného fyzikálního zákona je tzv. druhý princip (zákon, věta) termodynamiky. Ten může být vyjádřen řadou zdánlivě zcela odlišných formulací. „Teplu může přecházet samovolně z tělesa teplejšího na těleso chladnější, nikoli však naopak“. Samovolně dochází vždy k vyrovnávání odlišných teplot. Šálek horké kávy na stole se sám časem ochladí. Ochladit vnitřek chladničky sice můžeme, avšak jedině využitím hodnotné energie z elektrické sítě, za kterou ovšem zaplatíme. „Práce může být zcela přeměněna v teplo. Přeměnit teplo v práci (v cyklickém procesu) lze jen zčásti a jen při ovlivnění okolí systému“. Každá parní elektrárna má jen omezenou účinnost, danou teplotami ohřívací a chladicí lázně, a nutně ohřívá své okolí.

Častým projevem druhého principu jsou procesy, v nichž vystupuje tření. Pohybující se těleso se posléze třením zastaví, nikdy se však neuvede samovolně do pohybu převzetím tepla od okolního prostředí. Jinou podobou druhé věty je difúze plynů. Plyn uniklý z otevřené láhve se do ní samovolně nevrátí. Kostka cukru se v kávě samovolně rozpouští, atp.

Matematická formulace druhého termodynamického principu pracuje s pojmem entropie. Termodynamická

entropie je funkcí stavu systému a je definována tak, že její přírůstek je dán podílem přijatého tepla a absolutní teploty tohoto systému (je-li proces vratný, tj. dostatečně pomalý). Druhý princip tvrdí, že entropie izolované soustavy nemůže nikdy klesat. Probíhají-li v systému nevratné procesy (ustanovování rovnováhy), pak entropie postupně v čase narůstá.

Mnohdy bývá tzv. termodynamický směr času právě takto definován; kladným směrem času je ten, v němž entropie roste. Jakou váhu pojmu entropie připisoval ve třicátých letech A. Edington, dokládají kupř. jeho výroky: „Entropy is time's arrow“ a „The second law of thermodynamics holds, I think, the supreme position among the laws of nature“.

Entropie je však pojmem nepříliš názorným a nemnoho průhledným. Před pojmem entropie musí být zaveden pojem vnitřní energie a teploty a musíme vědět, co rozumíme prací, teprve poté je vymezen pojem tepla a také entropie. V mechanické podobě je práce dána působením síly po dráze, kupř. působením tlaku při změně objemu pracovní náplně a pohybem pístu v tepelném stroji. Teplo je naopak dáno přechodem energie na vnitřní, mikroskopické stupně volnosti soustavy, popisující detailně polohy a pohyby jednotlivých molekul. Převod práce v teplo je tedy spjat s rozptylováním, disipací a tím i „zhodnocováním“ energie původně soustředěné na několika málo makroskopických stupních volnosti na nekontrolovatelné mikroskopické stupně volnosti spojené s neuspořádaným pohybem velkého počtu částic látky. Počet molekul v obvyklém makroskopickém množství látky činí více než 10^{20} částic.

Z mikroskopického hlediska interpretuje zákony termodynamiky statistická fyzika. To vychází z pravděpodobnostního popisu rozložení stavů systému v tzv. fázovém prostoru, tj. v myšleném mnohorozměrném prostoru souřadnic a složek hybností všech částic. Makroskopický stav, charakterizovaný určitými hodnotami několika makroskopických parametrů, může být na mikroskopické úrovni realizován ohromným počtem, z mikroskopického hlediska různých, avšak makroskopicky nerozlišitelných mikroskopických stavů. Vzhledem k tomu, že počet částic je enormní a počet možných různých rozložení podle jejich poloh a hybností s jejich počtem ještě velice rychle narůstá, je počet mikroskopických stavů odpovídajících danému makroskopickému stavu nepředstavitelně ohromný. Entropie makrostavu je pak dána logaritmem počtu těchto mikrostavů, jenž danému makroskopickému stavu odpovídají. (Tuto formuli má na svém náhrobním kameni ve Vídni po zásluze vytesánu její objevitel L. Boltzmann.) Místo o počtu mikrostavů lze hovořit také o příslušném objemu ve fázovém prostoru, který danému makrostavu, vymezenému hodnotami makroskopických parametrů a jejich přípustnými nepřesnostmi, odpovídá. (Z kvantového hlediska je ovšem třeba vzít v úvahu ještě nerozlišitelnost totožných částic.)

Větší entropie tak přísluší takovému makrostavu, který lze realizovat větším počtem možných mikroskopických stavů systému a kterému odpovídá větší objem ve fázovém prostoru. Entropie bývá proto obvykle charakterizována jako míra neurčitosti. Leckdy je však entropie sugestivně spojována s pojmy neuspořádanosti a nepořádku. To odpovídá představě řádu na makroskopické úrovni, tj. řádu, který je námi kontrolován a řízen. Růst entropie vede k tomu, že se nám tento „pořádek“ ztrácí, energie uniká z možností našeho disponování s ní, tzv. volná energie se snižuje. Vytváří se tak jakoby „nepořádek“. Vše se ovšem, alespoň pokud lze pro popis pohybů mikročástic použít zákonů klasické fyziky, na mikroskopické úrovni děje naprosto spořádaně, zákonitě, ba dokonce striktně deterministicky. Kvantová fyzika sice vnáší v kvantové statistické fyzice do popisu neodstranitelné vnitřní pravděpodobnosti, zdá se však, že ve vztahu mikroskopické a makroskopické úrovně, o kterém teď hovoříme, to není rozhodující. Klasický popis se jeví při studiu řady jevů jako uspokojivý. Závažný je zpravidla ohromný počet částic obsažených v makroskopickém množství látky.

Zřetelně statistický a pouze pravděpodobnostně pojetý přístup k výkladu zákonů termodynamiky se uplatňuje v hojně užívaném a technicky vhodném pojetí souborů, kdy vlastně v teorii nepracujeme s jediným systémem, ale s celým souborem systémů shodně makroskopicky popsanych.

Popis, založený na přesné znalosti reálných čísel, kterých matematický aparát běžně používá, přináší problémy. Reálné číslo je idealizací získanou limitním přechodem do nekonečna; je vlastně nedostupné. Z Liouvilleova teorému z klasické mechaniky lze vyvodit, že tzv. „jemnozrná entropie“ se v čase nemůže měnit a nemůže naplnit termodynamická očekávání. Teprve tzv. „hrubozrná“ hodnota entropie, kterou obdržíme při zprůměrování hodnot pravděpodobnostního rozložení přes sice malé, nikoli však infinitezimální, oblasti fázového

prostoru, s časem narůstá. To je spjato s tím, že při zprůměrování se vlastně vzdáváme detailní informace o pohybech jednotlivých částic, tj. vzdáváme se korelací v těchto pohybech sice obsažených, ale z makroskopického hlediska nezachycených. Z očí tak ztrácíme informaci, která je v mikroskopických korelacích přítomna, na makroskopické úrovni však nevystupuje.

Z tohoto pojetí statistické entropie se tedy nevrátitost dění jeví jako makroskopický jev. Na mikroskopické úrovni zůstává symetrie obou směrů času plně zachována. Fyzikálně odbornou otázkou zůstává, jak přirozeně a fyzikálně zdůvodněně, bychom měli volit a odůvodnit tvorbu oblastí zprůměrování. V předchozích odstavcích naznačený střet mikroskopické vratnosti a makroskopické nevrátitosti přírodního dění v nás sotva vyvolá pocit uspokojení a porozumění, spíše snad pocit zajímavě a konkrétně, formou paradoxu vyjádřeného problému.

Výklad druhého principu, založený na zmíněných, toliko pravděpodobnostních, úvahách, kde se systém vyvíjí od makroskopických stavů méně pravděpodobných ke stavům pravděpodobnějším, navzdory často přijímanému přesvědčení, asymetrii času nevysvětluje, spíše ji pouze konstatuje. Pravděpodobnostní úvahy by mohly být stejně dobře uplatněny v časovém směru právě opačném. Měli bychom očekávat, že každý pozorovaný makroskopický stav také vznikl ze stavu pravděpodobnějšího, tj. ze stavu, který mohl být realizován větším počtem neodlišených mikroskopických možností.

V našem porozumění světu ze zkušenosti známou asymetrii času vlastně aktivně používáme. Nalezne-li plyn stlačený v malé části většího objemu, neočekáváme, že se tam soustředil samovolně, ačkoli by to podle zákonů fyziky možné bylo, ale soudíme, že plyn byl stlačen vnějším zásahem, vnějším působením. Neočekáváme, že šálek horké kávy na stole se ohřál tak, že molekuly okolního vzduchu předaly část své energie molekulám kávy a zvýšily tak její teplotu. Při klouzavém pohybu knihy po vodorovném stole, nepovažujeme za nejlepší vysvětlení, že molekuly desky stolu se „dohodly“ a obráceným třením předaly část své neuspořádané energie uspořádanému pohybu makroskopického tělesa jako celku. Jistě usoudíme, že tento svůj pohyb kniha dostala impulsem vloženým zvenčí, někdo do ní strčil.

Co samovolně probíhá, co pozorujeme a ve svém jednání denně využíváme, jsou procesy spontánní disipace energie z makroskopických na mikroskopické stupně volnosti.

Sledováním řetězců navazujících procesů se dostáváme hlouběji do minulosti až k samé otázce „počátečního stavu vesmíru“, který by měl být velice uspořádaný a velice speciální. Problém asymetrie času se takto neřeší, ale odsouvá se až do počáteční singularity, do samého vzniku vesmíru ve „velkém třesku“, kdy vznikl také sám čas. Konkrétní otázky spjaté s kosmologickými gravitačními modely jsou nesnadnými problémy soudobé fyziky. Podstatným přínosem je zavedení entropie černé díry. Ta je úměrná velikosti plochy jejího horizontu. Otevřenou otázkou zůstává „asymetrie obou konců času“ v modelech, v nichž konečný vesmír ke konci své existence kolabuje ve velkém „křachu“. Kvantovou teorii gravitace, která by k hlubšímu rozboru dějů v okolí singularit byla nezbytná, se dosud nepodařilo vypracovat.

Vytváření struktur a evoluce

Leckdy se můžeme setkat s tvrzením, že vytváření struktur, samoorganizace, existence života a jeho evoluce nejsou slučitelné s druhým termodynamickým zákonem, tj. s růstem neuspořádanosti a „nepořádku“. Není tomu tak. Můžeme dokonce spíše tvrdit, že život o evoluce jsou naopak produktem působení tohoto principu.

Vznik struktury a organizace je ovšem projevem lokální rostoucí uspořádanosti a entropie v místě takového procesu opravdu klesá. Druhý zákon ovšem netvrdí, že entropie klesat nikdy nemůže. V otevřeném systému je to jistě možné. V širším, izolovaném systému, jehož je otevřený systém sám dílčí částí, však úhrnná entropie již klesat nemůže a při nevrátitých interakcích mezi dílčími částmi systému pak jistě celková entropie roste.

Samozřejmě, ne vždy v těchto procesech velice vzdálených od termodynamické rovnováhy, kde nelze zavést ani pojem teploty, má pojem entropie dobrý smysl. V takovém případě druhou větu nemůžeme ani formulovat ani použít. O rozbor dějů se pak můžeme pokusit prostředky tzv. synergetiky. Tam, kde lze o entropii mluvit, vzniku organizovaných struktur druhá věta však nevadí. Podmínkou je, aby vznik uspořádanosti byl umožněn předchozí nerovnováhou a aby produkovaná entropie mohla být odnášena jinam. Lokálně se tak mohou vytvářet organizované funkční struktury.

Všimněme si života na zemském povrchu. Jeho vznik a vývoj je plně slučitelný se zákony termodynamiky.

Lze říci, že na Zemi přichází ze slunečního povrchu hodnotná energie, nesená zářením s teplotou asi 6000 K, ta je na zemském povrchu zčásti přepracována, také fotosyntézou a dalšími procesy, a posléze je opět vyzářována ve formě záření a teplotou asi 300 K do okolního chladného prostoru, v němž je určující nízká teplota reliktového záření, dosahující asi 3 K. S tokem energie je spjat i tok entropie, přičemž díky nižší teplotě vytékajícího záření výtok entropie převyšuje její vtok. Úhrnný záporný vtok entropie umožňuje existenci procesů vedoucích ke vzniku struktur, ke vzniku a vývoji života na zemském povrchu. V tomto smyslu je sluneční záření dárce života. Také lze říci, že úhrnný kladný odtok entropie od Země umožňuje zbavovat se „nepořádku“, tj. „entropického odpadu“. Expanze vesmíru umožnila vznik vesmírné nerovnováhy s horkými hvězdami a chladným reliktovým zářením. Vesmír slouží jako „odpadkový koš“.

V podobném smyslu představuje každý živý organismus, i člověk sám, lokální otevřený systém, který se vlastně živí zápornou entropií.

Entropie u informace

Asi před padesáti lety vstoupil do přírodní a technické vědy nový, velmi plodný pojem informace. Problematika všech způsobů užívání tohoto slova v různých souvislostech je ovšem velice široká a otevřená. Hovoříme-li o informaci, máme v dalším vždy na mysli množství informace, nikoli její význam, hodnotu ap. Tento pojem byl zaveden v souvislosti s přenosem zpráv.

Informace je chápána jako zmenšení neurčitosti v pravděpodobnostním rozdělení možných výsledků před a po přijetí určitého vzkazu, před a po provedení určitého experimentu či podobně. Neurčitost pravděpodobnostního rozdělení lze nejlépe charakterizovat matematickou formulí, ve fyzice známou již o desítky let dříve ve statistické termodynamice jako výraz pro entropii. Informace tak odpovídá rozdílu dvou hodnot entropie, před a po přijetí zprávy.

Formální shoda výrazů pro entropii ve fyzice a v teorii informace navozuje možnosti i hlubších souvislostí. Ukázalo se, že naopak statistickou termodynamiku lze vybudovat prostředky matematické statistiky a teorie informace. Hodnota takto zavedené entropie však nezávisí pouze na stavu systému, ale také na tom, které makroskopické parametry jsou zvoleny k jeho popisu. Pojem entropie tak získá i určitý subjektivní aspekt, podmíněný výběrem těchto parametrů. O makroskopickém popisu lze pak hovořit jako o popisu systému s neúplnou informací. Makroskopický popis stavu pomocí několika málo údajů představuje vždy jen nepatrný zlomek úplného mikroskopického popisu.

V této souvislosti je podstatné hierarchické členění struktur přírody a relativní stabilita jednotlivých úrovní. Na vyšší úrovni můžeme odhlédnout od detailů úrovně hlubší a stačí pracovat se středními hodnotami. Informace uložená v dané knize je dána rozložením černých písmen textu, detaily rozložení jednotlivých atomů v písmenech a v papíru jsou nepodstatné. Z mikroskopického hlediska je informace daná rozložením individuálních atomů nesrovnatelně větší. „Požárem alexandrijské knihovny vznikla nevyčísitelná kulturní škoda, z hlediska fyziky se nestalo nic moc pozoruhodného“; vytápěním v kamnech se ztrácí informace mnohem více. Velikost převodního koeficientu fyzikálních jednotek entropie (informace) 1 J/K a informační jednotky 1 bit ($1 \text{ J/K} \sim 10^{23} \text{ bit}$), vypovídá dostatečně přesvědčivě.

Zajímavý a inspirující příspěvek k informačnímu přístupu v analýze druhého principu termodynamiky představuje celá stoletá historie tzv. Maxwellova démona. Již Maxwell si uvědomil, že kdyby „inteligencí nadaná bytost“ byla schopna průběžně získávat, zpracovávat a vhodně využít znalostí o polohách a pohybech jednotlivých molekul plynu, bylo by možno vhodným otevíráním a zavíráním dvířek (ventilu) mezi dvěma objemy plynu dosáhnout odlišení teplot, tlaků či chemického složení v oddělených částech společného objemu a bylo by tak možno narušovat platnost druhé věty.

Významný příspěvek k analýze činnosti Maxwellova démona přinesl L. Szilard r. 1929, když rozborem práce myšleného „jednočásticového tepelného stroje“ ukázal, jak je možno znalost o polohách částic (tedy informaci) využít k přeměně tepla v práci a ke snižování entropie. Dlouho se soudilo, že činnost démona při narušování druhé věty je omezena potřebou disipace energie nutné k získání potřebné informace (Brillouin). Ukázalo se však, že hlavní překážkou je potřeba úklidu, potřeba vymazání záznamů a paměti démona (Landauer, Bennett).

Do dnešních úvah o asymetrii času a o druhé větě termodynamiky tak vstupují kalkulace o nezbytné míře disipace energie při jakémkoli zpracování informace, tj. při počítání. Dnešní představa démona má ovšem jinou tvářnost než podobu čertíka s ostřížím zrakem či geniální inteligentní bytosti. Má obvykle podobu univerzálního Turingova počítačového stroje a v analýzách vystupuje počítačový pojem tzv. algoritmického informačního obsahu.

S významným příspěvkem do diskusí o vztahu symetrické povahy mikroskopických zákonů a asymetrického chování makroskopické přírody přichází i teorie deterministického chaosu. Dynamické chování nelineárních systémů různé povahy může být v důsledku nelineárních vazeb neobyčejně citlivé k počátečním podmínkám, tj. ke stavu od něhož se systém s plynutím času vyvíjí. I nepatrná změna v počátečním stavu může vést k exponenciálnímu narůstání rozdílů mezi budoucími stavy. Systém může být nestabilní a vykazovat deterministický chaos. I když z matematického hlediska je systém striktně deterministický a jeho vývoj je jednoznačně určen, v praxi tomu tak není. Jednak nelze absolutně přesně stanovit a realizovat počáteční podmínky, jednak sebemenší vnější vliv stejně průběh procesu významně naruší. Reálný vývoj systému tedy neodpovídá přesným, ale spíše zprůměrovaným hodnotám a pravděpodobnostní popis je jediný možný. I kdyby se nám podařilo v daném okamžiku obrátit směry rychlostí všech částic daného systému, jeho vývoj nebude sledovat přesně opačný časový sled stavů. Absolutní izolace je nemožná a sebemenší vliv zvenčí by zpětný vývoj stavů podstatnou měrou ovlivnil a reverzní chování zásadně narušil.

Vedle dosud rozebírané makroskopické povahy nevratnosti bychom měli alespoň zmínit i dlouholeté programové úsilí I. Prigogina a jeho spolupracovníků o vyjádření nevratného dění už na úrovni mikroskopické jakýmsi přenesením asymetrie z termodynamického popisu již do popisu mikroskopického. Zatím však nelze tento záměr označit za úspěšně naplněný.

Jiné „směry času“

Vedle termodynamického a statistického směru času zná fyzika i další asymetrii ve fyzikálním dění. Tento „odlišně založený“ směr může být označen za elektrodynamický či zářivý. Maxwellovy rovnice elektrodynamiky, jak jsme se již zmínili, jsou ve své povaze vůči směru času symetrické. Změníme-li směry rychlostí všech nabitých částic a směr magnetického pole (které samo je vlastně podmíněno pohyby nabitých částic) na opačné, veškeré děje klasické elektrodynamiky mohou probíhat i obráceně.

Potíž se však objeví v tom, že zrychleně se pohybující nabitá částice září, tj. emitují elektromagnetické záření (vlnění), které se šíří všemi směry a posléze uniká do nekonečna. Při výpočtech polí bereme v úvahu vždy jen odcházející, zpožděné, retardované vlny. Druhou část, kterou by, důsledně vzato, matematické řešení mělo rovněž obsahovat a jež odpovídá tzv. advancovaným, předcházejícím vlnám, tj. vlnám přicházejícím ve vhodný čas z nekonečna k pohybujícímu se náboji, tj. jakoby emitovaným do záporného času, v úvahu nebereme. Narušilo by to naši představu o kauzalitě vztahu příčiny a účinku.

Jiný než praktický a zkušenostní důvod k tomu nemáme. Z čistě formálního matematického hlediska je to vlastně nedůslednost.

Elektrodynamická interakce je však podstatou sil, které váží struktury atomů, molekul i stavbu kondenzovaných látek. Tyto síly stojí v pozadí chemických procesů slučování látek. Kauzalita v těchto procesech je tedy patrně kauzalitou elektrodynamickou.

Někdy se nezávisle uvažuje i o „směru času biologickém“, evolučním. Subjektivně přesvědčivěji se nabízí „směr psychologický“, vázaný na jevy paměti a svobodné vůle. Vzhledem k tomu, že tyto jevy se váží na biologické systémy a ty pak svojí své vazby na procesy biochemické, není neopodstatněné připustit, že společným základem směru času je směr shodný pro celou přírodní vědu. V jeho základech a kořenech se jej pak snaží analyzovat bádání na úrovni fyzikální. Nelze ovšem prohlásit, že takovéto propojení je zcela zřejmé, prokázané a průhledné. Spíše jde o to, hledat a sledovat možné fyzikální zdroje a souvislosti společného přírodovědného směru času.

Tento směr je patrně závažně spjat se směrem času daným vývojem vesmíru jako celku a jeho expanzí, jak ji popisuje kosmologie. Tento směr by byl schopen sjednotit směry určené procesy disipace (tím, že expandující vesmír vstřebává produkovanou entropii) i procesy vyzařování (tím, že absorbuje odcházející záření, neposkytuje však reciproční záření přicházející).

Stranou, ve stínu, snad poněkud „zálužně“, zůstává zatím ne dobře pochopený jev nezachování tzv. kombinované parity (CP) v některých projevech tzv. slabé interakce. Jsou známy samovolné rozpady K_0 mezonů, které narušují pravolevou symetrii prostoru a symetrii procesů mezi částicemi a antičásticemi. Ačkoli se jedná o jev velice slabý a vzácný, je potenciálně závažný. Vede totiž k narušení časové symetrie fyzikálního zákona (T invariance). Zatímco jiné projevy narušení této symetrie, které byly diskutovány, mají povahu faktů, např. speciální volby počátečních podmínek, zde by se jednalo o asymetrickou interakci, tj. o asymetrický zákon sám. Víme, jak se to mohlo projevit v některých procesech v rané fázi vývoje vesmíru (a tím kupř. způsobit dnes převládající drtivou převahu částic nad antičásticemi ap.), neumíme si však představit, jak by tento slabý a poněkud výlučný jev mohl souviset s naší každodenní zkušeností s asymetrií dění na makroskopické úrovni.

Kvantové měření

Zcela samostatnou, velice obtížnou, v současnosti živě diskutovanou oblastí fyziky, která může mít závažný, ba možná i rozhodující a klíčový vliv na pochopení asymetrické povahy času, je problematika interpretace kvantové mechaniky (a kvantové teorie vůbec). Rozsah příspěvku neumožňuje zabývat se kvantovou fyzikou a problémy její interpretace, ani jen v informativní podobě. Omezme se letmo jen na několik poznámek a náznaků.

Ačkoli je kvantová fyzika nejvlastnější fyzikou dvacátého století a kvantová mechanika existuje ve vypracované a ustálené podobě již sedmdesát let, znovu se naléhavě vrací otázky její interpretace a otázky filosofického zhodnocení jejích základů. Nejproblematičtější částí její interpretace je pochopení tzv. procesu měření.

Zatímco časový vývoj stavu podle časové Schrödingerovy rovnice je reverzibilní, je proces měření v čase nevratný. Tzv. stavová funkce systému se při měření, tj. při interakci s vnějším makroskopickým měřicím přístrojem a subjektem, který registruje výsledek, mění skokem, s výsledkem předpověditelným pouze pravděpodobnostně.

Povaha existence kvantového objektu je nepodobná klasickému pojetí existence v nekvantové fyzice, kdy předmět existuje a vyvíjí se spojitě v čase a v prostoru. Kvantová teorie zná jevy komplementarity, superpozice, koherence a nelokálnosti (paradox Einsteina, Podolského a Rosena), které jsou klasickým představám zcela cizí. Měření není nezúčastněným sledováním z hledišť, ale také nevyhnutelným vystoupením na jevišti s výsledkem ne zcela jistým a s vlivem, který ani dodatečně nelze vyjádřit a vzít v úvahu. Živá je problematika tzv. dekoherence, podmíněná vazbami mikroobjektu s makroskopickým okolím.

Někteří fyzikové dokonce usilují o vystižení nové podoby sepětí subjektu a objektu a hledají i možné paralely ve východním myšlení. Tyto pokusy však dosud nepřekračují povahu spekulací, námětů a úmyslů. Pojem informace v nich získává na ještě větším významu a důležitosti, než ve dříve zmíněných analýzách činnosti Maxwellova démona, spojenými s teorií počítání, s algoritmickým informačním obsahem ap. Objevují se i pokusy chápat dokonce informaci jako primární fyzikální pojem, kupř. J. A. Wheeler: „It from bit“; C. F. von Weizsäcker a další. Za zmínku jistě stojí i hledání fyzikálního přínosu k přírodovědnému uchopení pojmu vědomí R. Penrose. Je dobře možné, že základ nevratnosti přírodního dění a asymetrie času bude nalezen právě zde, v prodloužení směru těchto úvah. Je možná obsažen již ve formulaci problému.

Inspirující paradox

Záměr příspěvku byl ovšem mnohem skromnější. Chtěl poukázat na překvapující skutečnost, že přes grandiózní rozvoj, kterým fyzika zprostředkovaně změnila život lidí a ovlivňuje osudy společnosti, nedokázala se zatím uspokojivě vyrovnat s tou nejjednodušší zkušeností, že totiž minulost a budoucnost jsou dvě podstatně odlišná směrování času. Tento obtížný a hluboký problém na sebe dnes do značné míry bere podobu paradoxu mezi makroskopickou nevratností přírodního dění a mikroskopickou vratností většiny známých fyzikálních zákonů a teorií.

Fyzika je však tvořivým, živým a měnícím se organizmem, je „dobrodružstvím poznání“ a lze jistě vyjádřit přesvědčení, že právě fyzika pronikne k potřebnému hlubšímu poznání tohoto problému. Lze očekávat, že fyzika řešením zmíněného inspirujícího, vzrušujícího a provokujícího paradoxu nalezne fyzikální kořeny a fyzikální zdroje asymetrie přírodovědného pojetí času.

Literatura:

1. Davies P. C. W.: The Physics of Time Asymmetry, Surrey Univ. Press, 1974
2. Z Brillouin L.: Science and Information Theory, Academic Press, N. Y. 1962
3. Denbigh K, Denbigh J.: Entropy in Relation to Incomplete Knowledge, Cambridge Univ. Press, 1985
4. Penrose R.: The Emperor's New Mind, Oxford Univ. Press, 1989
5. Benett C. H.: The Thermodynamics of Computation, Int. J. Theor. Phys. 21, 905-940, 1982