

CHAOTICKÝ DIALÓG O CHAOSE

Ján DUBNIČKA - Július KREMPASKÝ

DUBNIČKA, J.: Pán profesor, od nášho interdisciplinárneho sympózia *Chaos a vedecké poznanie* uplynulo už niekoľko rokov a za toto obdobie pojem "chaos" ako vírus epidémie nakazil už celé vedecké poznanie. Dnes už azda neexistuje vedná disciplína, v ktorej by sa neoperovalo týmto pojmom. Pritom, ako vyplýva z neprehľadnej svetovej literatúry, problémov okolo daného pojmu neubúda, ba naopak, množia sa geometrickým radom. Jednoducho povedané chaos okolo chaosu utešene narastá. Nezdá sa vám, že je to zasa určitá módna vlna (boom) "šialenstva", ktorá zachvátila súčasnú vedeckú paradigmu? Má tento pojem vo vedeckom poznaní skutočne taký význam aký mu pripisujú mnohí autori?

KREMPASKÝ, J.: Rozhodne má. Čím ďalej tým nástojčivejšie si totiž vedci uvedomujú, že chaos nemá len negatívne funkcie, že nie je len prípadkový fenomén, ktorý by z pohľadu človeka "najlepšie urobil", keby tu vôbec nebol, ale že je to fenomén "sine qua non". Tým sa chce zdôrazniť, že ak sme doteraz boli presvedčení o tom, že podmienka "sine qua non" sa z hľadiska rozvinutého vesmíru, včítane človečenstva, vzťahuje na štruktúry, t.j. na poriadok, či krajšie povedané, na harmóniu, teraz dospievame k presvedčeniu, že nebyť chaosu, nemal by kto túto harmóniu obdivovať. Nebol by tu totiž život, a teda ani inteligentní pozorovatelia. Prečo, to sa hádam objasní v ďalšej diskusii. Zatiaľ nech nám postačí konštatovanie, že chaos je pre existenciu prírody, a všetkého pozoruhodného v nej, práve taký dôležitý ako poriadok. Harmónia a chaos sú dva nezastupiteľné fenomény nevyhnutné pre našu existenciu a tvoria onú známu, často zvelebovanú i zatracovanú dialektickú jednotu protikladov, ktoré napriek tomu, že sa vzájomne do istej miery vylučujú, paralelne vedľa seba existujú a poskytujú existenčnú bázu pre prírodovedu a všetko, čo je v nej prítomné v neobyčajnej pestrosti, kráse a dokonalosti.

Paradoxom však je, že to všetko o chaose kompetentne tvrdíme bez toho, aby sme vedeli, čo chaos je, a ako ho všeobecne definovať. Ale o tom neskôr.

DUBNIČKA, J.: S tým celkom nesúhlasím. Pojem "chaos" nie je v dejinách ľudského myslenia nový. Stretáme sa s ním už v staroveku. Pritom sa v rozličných obdobiach vývinu ľudskej civilizácie chápe rôzne, nejednoznačne, historicky mení svoj význam.

KREMPASKÝ, J.: Nebolo by vari na škodu, keby sme sa najskôr pozreli na chaos z historického aspektu.

DUBNIČKA, J.: Pokusim sa o to. Filozofi vyčlenili v rámci dejín filozofie šesť interpretácií (aspektov) pojmu "chaos".

1. *Časový* - chaos predchádza poriadku - zákonu, alebo sa s ním periodicky strieda.

2. *Priestorový* - chaos je na periférii kozmu, nižšie alebo vyššie ako kozmos, ktorý je usporiadaným svetom.

3. *Kvalitatívno-kvantitatívny* - chaos ako nekvalitatívny, kvantitatívne nevýrazný stav. Kozmos vystupuje ako harmonické kvalitatívne bytie.

4. *Formálno-obsahový* - chaos je varietou (rozmanitosťou) obsahu, ktorý sa usporadúva formou.

5. *Estetický* - chaos je neusporiadané "škaradé" bytie, kozmos je usporiadaný, krásny.

6. *Etický* - chaos je zlý, hriešny neporiadok, kým zákon je dobrý, božský poriadok.

Z uvedeného vidíme, že chaos sa kladie vždy do protikladu zákona, poriadku, často aj samému vesmíru.

Pre ilustráciu uvedieme aspoň v skratke niekoľko konkrétnych príkladov z dejín. V mytologických predstavách je chaos nerozlučne spätý s kozmom, zákonom a poriadkom. Interpretuje sa ako východiskový stav kozmického procesu a zároveň ako absolútny protiklad organizovanosti a usporiadanosti. Je stavom absolútnej nekvalitatívnosti, limitným stupňom neusporiadanosti, stavom začiatočnej kvalitatívnej nediferencovanosti bytia (Ovidius - *Metamorfózy*, Hesiodos - *Teogónia*, *Biblia*, mýty starej Číny). Pritom v pojme "chaos" nie je fixovaný nejaký nemenný absolútny stav, ale predovšetkým možnosť prechodu od neusporiadanosti k zákonitej štruktúre vesmíru. V tejto možnosti sú zafixované dve základné idey:

- kvalitatívna určenosť a diferenciácia kozmických prvkov nerozčlenených v chaose,

- prechod od chaotického stavu k zákonite usporiadanej vesmírnej štruktúre sa realizuje prostredníctvom binárnych opozícií, ktoré zabezpečujú tejto štruktúre stabilitu. Napríklad: svetlo-tma, nebo-voda, voda-zem, muž-žena atď.

V mytologickej interpretácii často po kozme nastupuje chaos. Kozmos sa tak stáva stavom bytia medzi dvoma stavmi chaosu. V takejto interpretácii cyklickej výmeny kozmu a chaosu sa ani jednému nepriznávala absolútna prvotnosť. Nachádzajú sa v stave vzájomnej podmienenosti a vzájomného prechodu. V mytologických predstavách má chaos polysémantický a polyfunkčný charakter.

Pojem "chaos" sa široko frekventuje aj v antickej filozofii. Milétski myslitelia sa priblížili k naturfilozofickej interpretácii chaosu. Tak napríklad Ferekydés nazýva chaosom vodu, Anaximandrov *apeirón* vystupuje ako chaos, ako "kvalitatívne neurčitelný materiálny prvopočiatok". Aristoteles vo svojej *Fyzike* chápe chaos ako určitú ontologickú realitu. Ovidius interpretuje chaos ako nerozčlenenú zmes semien vecí rozličných podstát, ktorá tvorí začiatok kozmologického procesu.

V antickom filozofickom myslení pojem "chaos" prechádza tromi vývojovými fázami:

- prazáklad bytia,
- obraz fixujúci priestorovú určenosť bytia,
- chaos ako nejaká disharmónia a neusporiadanosť.

Ukazuje sa, že práve v antike sa sformoval pojem "chaos" so všetkým bohatstvom jeho významov.

V rámci stredoveku sa pojem "chaos" interpretuje najmä v teologickom duchu. Primát získava pojem "zákon". Chaos je niečo nepostihnuteľné, hriešne, diabolské. Sv. Augustín nachádza analógiu antického pojmu "chaos" v biblických termínoch "abysus" a "internum", pod ktorými chápe niečo chaotické, cudzie, nehomogenné, vonkajškové ku kresťanskému svetu. Hmotu pokladá za jeden zo štyroch prvkov chaosu. R. Lullus posunul význam pojmu "chaos" z ontologickej roviny do roviny možnosti. Chaos je podľa formy slobodné, nezávislé, voľné bytie, ktoré obsahuje určité prvky, ktoré ako živé semená sú príčinou zrodu všetkého látkového a živého sveta.

V období renesancie sa pojem "chaos" obohacuje ideou opakovateľnosti, cyklickosti (Machiavelli, Bruno, Paracelsus). V období matematizácie fyziky sa zasa popiera a absolutizuje sa harmónia a zákonitosť (Galileo, Descartes, Leibniz atď.).

V nemeckej klasickej filozofii existujú tri úrovne interpretácie pojmu "chaos". I. Kant prisudzuje neusporiadanosť, neorganizovanosť, chaotickosť rozmanitosti javov. Chaotická rozmanitosť hmoty je východiskový stav existencie prírody. Z chaosu sa tvorí poriadok a harmónia.

Druhá etapa interpretácie pojmu "chaos" je spätá s jeho subjektivizáciou. Podľa Fichteho práve JA-človek vnáša "poriadok do chaosu a plán do všeobecnej deštrukcie".

Podľa Schellinga je chaos prvopočiatok svetového celku, možnosť jeho vzniku. Zahŕňa protirečivú jednotu minulého, súčasného a budúceho. Chaos a harmónia sa vzájomne nahrádzajú. V jednote tvoria cyklus.

Hegel interpretuje chaos ako silu prírody, ktorú utvára jednota troch iných síl: Hei (zem) - pozitívny základ všetkého existujúceho, Tartar a Erebus (tma a nebytie) - negatívny základ a Eros (láska) - spájajúce činné východisko. Chaos nechápe ako negáciu harmónie, poriadku a zákonitosti, ale ho skúma ako živelnosť, rodiaci základ, z ktorého pochádza svet, teda systém a poriadok. V danej interpretácii vystupuje do popredia jednota zákona a chaosu.

Rozpadom nemeckej klasickej filozofie sa aj pojem "chaos" dostáva v transformovanej forme do pojmového systému rôznych filozofických smerov a prúdov.

Z uvedeného vyplýva, že pojem "chaos" bol vždy súčasťou konceptuálneho aparátu počas celého vývinu európskej kultúry, pričom sa pravdaže historicky menil jeho význam. (A to sme nespomenuli iné kultúry, v ktorých mal a má tento pojem nezastupiteľné miesto.)

Teraz by však bolo namieste sa opýtať, ako reflektuje súčasná fyzika uvedené interpretácie?

KREMPASKÝ, J.: Já som už vlastne explicitne formuloval, že poriadok a chaos sú dva protiklady, ktoré majú nezastupiteľný podiel na tej vesmírnej realite, ktorú pozorujeme a skúmame. Chaos sám osebe nie je teda ani dobrý, ani zlý, ani pekný, ani škaredý - jednoducho, nie je to nejaká prechodná vlastnosť, ktorú vesmír môže v určitom časovom intervale mať a v inom sa jej zbaviť, ale je to imanentná nevyhnutnosť. Málokto si asi uvedomuje, že keby bol evolučný proces vybavený len deterministickým mechanizmom, t.j. mechanizmom spontánneho generovania poriadku, bol by tu len veľmi uniformný, a preto nekonečne fádny, jednotvárný svet, v ktorom by síce existovali navzájom sa odlišujúce "prototypy", ale vnútri týchto systémov by bolo všetko rovnaké. Konkrétne: Máme kategóriu základných častíc (protóny, neutróny, elektróny atď.), ale vnútri týchto systémov platí princíp nerozlíšiteľnosti. Napríklad, všetky elektróny sú absolútne identické. Disponujeme kategóriou chemických prvkov a ich zlúčenín, ale vnútri týchto systémov vládne dokonalá uniformita - jednu molekulu vody nemožno odlíšiť od inej. Je to dôsledok "deterministickej technológie". Keby však to isté platilo aj na úrovni komplexnejších systémov, potom by sme mali kopce, stromy, listy, jablká, hrušky, ba aj zvieratá a ľudí, ale všetky tieto "produkty" evolúcie by boli v rámci daného druhu úplne identické. Živé tvory by neboli individuá, ale roboty, a to by bol veľmi jednotvárný a nezaujímavý svet.

Suma sumárum možno teda konštatovať, že prírodné vedy súhlasia s tým, že chaos tvorí "protipól" poriadku, harmónie a pod., ale nemôžu súhlasiť s názorom, že chaos je v protiklade so samým vesmírom. Bez neho by totiž vesmír nebol taký, aký je, bez neho by v ňom nemohli - ako uvidíme v ďalšej diskusii - vykvitnúť také unikátne "kvety", ako je život a človek.

Súčasná fyzika nemôže akceptovať ani názor, že "kozmos je stav bytia medzi dvoma chaosmi". Chaos jednoducho nemožno vesmíru zobrat' a po uplynutí určitej epochy mu ho opäť vrátiť podľa známeho citátu z Biblie: "Prach si a na prach sa obrátiš". Fyzika však v súlade s uvedenými filozofickými a mytológickými názormi dospieva k záveru, že chaos má naozaj "polyfunkčný" charakter, a že ho treba aj vnútri tejto kategórie diferencovať. Zdá sa, že v súvislosti so súčasnými filozofickými i náboženskými koncepciami vzniku a zániku vesmíru má zmysel diskutovať o chaose aj z fyzikálneho hľadiska. V mnohých z nich sa stretávame s tvrdením, že svet povstal z chaosu a k nemu sa napokon vráti. Takáto predstava nie je v rozpore s existujúcimi fyzikálnymi hypotézami o vzniku a zániku vesmíru, ak máme na mysli celkom konkrétny a špecifický druh chaosu.

"Bifurkačným bodom" fyzikálnych názorov na vznik vesmíru je známy a už dosť často preverený big bang, čiže veľký tresk, ktorý sa odohral pred asi 15 miliardami rokov. V tejto "hodine H" sa narušila stabilita "fyzikálneho vákuua", ktorého stav - ak takéto vákuum bolo naozaj realitou - treba charakterizovať ako "termodynamicky rovnovážny", a teda dokonale chaotický. V takomto chaose vesmír zotrval nepatrný zlomok sekundy ešte aj po začiatku generácie látky z vákuua, konkrétne až do tzv. 1. vesmírneho fázového prechodu vesmíru, sprevádzaného "inflačným rozpinaním", ktorý sa odohral v čase 10^{-35} s. po veľkom tresku. Toto neuveriteľne krátke časové

obdobie predstavuje doslova transformáciu chaosu na poriadok. Možno si ju predstaviť ako usporadúvanie, ktoré sa realizuje, napríklad, pri homogenizácii rozptýleného pohybu (čo do rýchlosti i priestorového rozloženia) malých guľičiek náhodne vrhaných do viskózne kvapaliny (napríklad oleja) v gravitačnom poli. Trenie a gravitačná sila svojím protichodným vplyvom spôsobujú, že všetky rýchle guľičky sa spomalia a pomalé sa urýchlia, takže po určitom čase všetky padajú rovnakým smerom a rovnakou rýchlosťou. Tak sa mohla homogenizovať aj látka vygenerovaná z vákuua po začiatočnom rozpínaní vesmíru, čím sa dosiahlo, že po ukončení "inflácie" sa už celý vesmír rozpínal (a doteraz rozpína) všetkými smermi presne rovnakou rýchlosťou, o čom svedčí neobyčajne vysoká homogenita a izotropnosť tzv. reliktového žiarenia objaveného roku 1965. Tak sa (svojským spôsobom) vytvoril vo vesmíre poriadok z chaosu.

DUBNIČKA, J.: Ale týmto tvrdením sa dostávate do protirečenia so svojou tézou o dialektickej jednote harmónie a chaosu ako dvoch nerozlučných protikladov. Z vášho výkladu hypotetického vzniku vesmíru big bangom z narušenej stability fyzikálneho vákuua vyplýva, že sú to následné fenomény, čím len potvrdzujete interpretácie, ktoré som uviedol vyššie. To je však v rozpore s názorom súčasnej fyziky, že poriadok a chaos existujú v jednote ako "conditio sine qua non" vesmíru.

Podľa môjho názoru, problém spočíva už v interpretácii fyzikálneho vákuua so zreteľom na chaos. Je to určitý typ poriadku (harmónie) alebo, ako ste uviedli vyššie, "jeho stav je dokonale chaotický", a teda ho možno interpretovať ako chaos? Ak by sme prijali interpretáciu - fyzikálne vákuuum je určitý druh poriadku (harmónie), potom v zmysle Heglovej triády: téza - antitéza - syntéza, môžeme interpretovať vznik nášho vesmíru ako triádu poriadok - chaos - poriadok. Fyzikálne vákuuum a súčasný galaktický vesmír ako poriadok a obdobie medzi bifurkačným bodom Big Bangu a utvorením galaktickej štruktúry vesmíru ako chaos.

Podľa synergetiky je chaos práve tým časovým intervalom, keď sa mení kvalita fyzikálneho vákuua (aspoň jeho časti) a generuje sa nová kvalita - vesmír, ktorý vo veľkoškálových rozmeroch je homogénny a izotropný.

Takáto interpretácia však podľa môjho názoru veľmi zjednodušuje daný problém, pretože nevyjadruje jeho podstatu, ale skôr iba javovú stránku. Preto sa mi zdá prijateľnejšia interpretácia vychádzajúca z dialektickej jednoty poriadku a chaosu aj s ich vnútorným zápasom (bojom) ako protikladov. V takomto prístupe poriadok a chaos sú trvalou súčasťou jednoty, ale v každom určitom časovom intervale má prevahu, ako tendencia, jeden z nich. Ak tento metodologický prístup aplikujeme na vesmír ako celok, potom v časovom intervale od big bangu až po vytvorenie vesmírnej galaktickej štruktúry prevládala tendencia chaosu, v rámci ktorej sa uskutočnila radikálna štruktúrna prestavba fyzikálneho vákuua (presnejšie jeho časti) - realizoval sa proces vzniku novej kvality - nášho vesmíru.

Ďalší problém, ktorý pritom vyvstáva je problém diferenciacie (typologizácie) chaosu. Existuje iba jeden univerzálny druh chaosu, ktorý sa prejavuje na všetkých štruktúrnych úrovniach reality, alebo každú štruktúrnú úroveň organizácie a pohybu

hmoty charakterizujú špecifické formy poriadku a chaosu? Prikláňam sa k názoru, že rôzne štruktúrne úrovne (formy) pohybu hmoty majú špecifický typ poriadku a chaosu, ako aj charakter ich vzájomného vzťahu. Presnejšie vyjadrené, na každej štruktúrnej úrovni reality sa chaos transformuje do špecifickej formy, charakteristickej pre danú úroveň. Takýto prístup nám umožňuje hľadať vzájomné vzťahy medzi horizontálnymi a vertikálnymi materiálnymi štruktúrami a ich špecifickými charakteristikami poriadku a chaosu.

KREMPASKÝ, J.: Myslím si, že ste vzhľadom na pojem chaos "uderili kliniec po hlave". To je práve ten problém, na ktorý som upozornil už skôr, že totiž aj chaos treba vnútorne diferencovať a že, ľudovo povedané, "nie je chaos ako chaos". Chaos, o ktorom sme hovorili v súvislosti s chápaním vzniku vesmíru ako prechodu z chaosu na poriadok, je len jeden z jeho aspektov. Je to chaos, ktorý sa odborné nazýva "termodynamický" alebo "stochastický" chaos a o jeho genéze sa ešte dozvieme viac. V súčasnosti už však bezpečne vieme, že iný chaos tu bol pred big bangom a po ňom tu aj zostal a vesmír nemá šancu sa ho zbaviť. Je to tzv. kvantovomechanický chaos, alebo presnejšie, sú to tzv. kvantovomechanické fluktuácie, o ktorých určite vieme iba jedno, a to, že objektívne existujú. Majú na svedomí záhadné správanie sa mikrosвета, ale ukazuje sa, že neobchádzajú ani náš makrosvet, ba ani megasvet. Dokonca možno tvrdiť, že jestvujú len vďaka nemu. Keby totiž v dôsledku procesov, ktoré sprevádzajú inflačné rozpínanie vesmíru chaos vo vesmíre úplne zanikol, nemohli by existovať fluktuácie, ktoré podmienili vznik galaxií a hviezd. Bez nich by sa vesmír jednoducho neštrukturalizoval. Náročné a dôkladné prieskumy homogenity a izotropnosti reliktového žiarenia, uskutočnené medzinárodným programom COBE v roku 1995, spoľahlivo dokázali existenciu nehomogenít postačujúcich na vznik galaxií. Aká je ich genéza? Najpravdepodobnejšou a všeobecne prijímanou verziou je, že sú produktom mikrofyzikálnych kvantovomechanických fluktuácií, ktoré sa počas inflačného rozpínania vesmíru "nafúkli" do makrofyzikálnych dimenzií a poslúžili ako iniciátory štrukturalizácie vesmíru.

Tento chaos je súčasne aj najväznejším kandidátom na "post" dialektického protikladu poriadku, pretože je vo vesmíre vždy a všade prítomný a má okrem práve zdôraznenej funkcie aj viacej iných, nemenej dôležitých funkcií. To je práve ten chaos, ktorý si vynútil formuláciu slávneho "princípu neurčitosti" W. Heisenberga. Ním sa do filozofie a vedy vôbec dostal princíp indeterminizmu, ktorý limituje poznateľnosť sveta. Je to ten chaos, alebo, ak chceme chaos chápať ako jednu celostnú autonómnú kategóriu, ten aspekt chaosu, ktorému treba priznať "ontologický štatút".

DUBNIČKA, J.: Ak hovoríte o indeterminizme, dúfam, že nemáte na mysli indeterminizmus, ktorý odmieta objektívnu zákonitosť, nevyhnutnosť a príčinnosť, čím by sa aj chaos zaradil pod kategóriu absolútnej náhody. V diskutovanom prípade by som navrhoval použiť Hegelovu kategóriu "dialektický determinizmus", podľa ktorého všetky javy, procesy, udalosti objektívnej reality navzájom súvisia,

podmieňujú sa, vzájomne na seba pôsobia. Tým by sme sa jasne distancovali na jednej strane od "mechanického determinizmu", ako to urobili niektoré súčasné filozofické smery, a pravdaže aj väčšina fyzikov, a na strane druhej od absolútneho indeterminizmu. Pri takejto interpretácii majú dôležitú úlohu v poznávaní objektívnej reality aj stochastické zákonitosti, pravdepodobnosti, náhody atď. a môžeme ich adekvátne opísať kategóriami: "nevynutnosť", "náhodnosť", "príčinnosť", "zákonitosť", "možnosť", "skutočnosť" atď. Ale to iba poznamenávam na okraj daného problému.

Z vášho doterajšieho výkladu vyplýva, že na existencii nášho sveta a jeho štruktúre majú nezastupiteľný podiel dva druhy chaosu, respektíve dve základné charakteristiky chaosu ako univerzálneho fenoménu: stochastickosť a kvantovosť (stochastický chaos a kvantovomechanický chaos). Ale ak vidíme tú úžasnú rozmanitosť materiálnych štruktúr a ich foriem v našom vesmíre, asi ju úplne nevysvetlíme len týmito dvoma základnými charakteristikami chaosu. Ako ukazujú špeciálnovedné výskumy, nimi sa špecifiká chaosu nevyčerpávajú. Môžeme na základe súčasného vedeckého poznania vyčleniť ďalšie charakteristiky, prípadne očakávať aj objavenie iných, zatiaľ neznámych typov chaosu alebo špecifických aspektov chaosu?

KREMPASKÝ, J.: V súčasnosti už možno pomerne ľahko ukázať, že len spomenuté dva aspekty chaosu by naozaj nestačili na pochopenie celého komplexu reality a že tu musí jestvovať prinajmenšom ešte jeden zvláštny aspekt, ktorý je zodpovedný za to, že príroda v jej konkrétnom "imidži" vyzerá tak ako vyzerá. Osobitosť tohto tretieho aspektu chaosu, v porovnaní s predchádzajúcimi dvoma, spočíva v tom, že je produktom vývoja, že teda zrejme "boli časy, keď ho tu nebolo". Je to chaos, ktorý si začala generovať sama príroda, keď sa dostatočne skomplexnila. Tento chaos sa nazýva deterministický, čo odráža fakt, že vzniká na pôde deterministických systémov, t.j. v systémoch, ktorých vývoj je jednoznačne určený deterministickými rovnicami. Aj o tomto chaose bude treba neskôr podrobnejšie pohovoriť, pretože je nesmierne zaujímavý a jeho objav bol pre vedu veľkým prekvapením. Na tomto mieste sa žiada podčiarknúť, že ak vyššie spomenuté dva typy chaosu sú predovšetkým "conditio sine qua non" anorganickej prírody, potom tento tretí, deterministický chaos je takouto podmienkou existencie najmä živej prírody a človeka.

Spomenuli sme už, že kvantovomechanické fluktuácie boli príčinou štrukturalizácie vesmíru na galaxie a hviezdy. Vieme však aj to, že veľkosť, a preto aj hmotnosť vznikajúcich astrofyzikálnych objektov nezávisí od amplitúdy fluktuácii, ktoré štrukturalizáciu vyvolali, ale len od zákonov a konštant, ktoré procesy štrukturalizácie determinujú. Keďže tieto danosti sú nemenné, bolo možné očakávať, že štrukturalizáciou sa vyprodukujú len úplne rovnaké galaxie a rovnaké hviezdy. To by sice bolo z hľadiska harmónie vesmíru veľmi pekné, ale z hľadiska potenciálneho vzniku života, a teda aj človeka, absolútne nevyhovujúce. Príroda na začiatku svojej existencie "pracovala" naozaj úplne deterministicky - vyprodukovala absolútne rovnaké chemické prvky a zlúčeniny, ale keby to tak išlo aj ďalej, bola by len malá pravdepodobnosť, že by si takéto substancie našli vo vesmíre vhodnú lokalitu na

d'alsiu aktivitu smerom k vzniku života a existencii inteligentného pozorovateľa. Vieme totiž, že takýto trend vývoja - s ohľadom na prísne definovanú základňu, konkrétne uhlík - vyžaduje veľmi delikátne podmienky. Život totiž - i keď by si mnohí priali opak - nemôže existovať v hocijakej galaxii, v hocijakej slnečnej sústave a na hocijakej planéte. Všetky tieto objekty musia mať veľmi presne stanovené "technické" parametre - dokonca ešte aj mesiac nemôže byť hocijaký. Ako bolo možné "technicky" zabezpečiť, aby sa také podmienky niekde vo vesmíre vytvorili?

Ak by sme chceli naše "rozjímanie" o týchto problémoch trochu spestriť literárnym štýlom, prenieseme uvedenú starosť na "Kreátora" a prideme k názoru, že mal dve alternatívy.

1. Naprogramovať evolúciu vesmíru tak, aby sa vyvíjal totálne deterministicky. Potom by vznikli len rovnaké galaxie, rovnaké slnka i planéty, a keby boli patrične dimenzované, všetky by mohli umožňovať vznik života i človeka. Nepríjemným, a preto nežiadúcim produktom takejto "technológie" by však bolo to, že všetky živé tvory by sa správali ako roboty - nemali by osobitú individualitu, vlastné myslenie ani slobodnú vôľu, a preto ani zodpovednosť za svoje činy.

2. Dať šancu štatistike, t.j. zariadiť, aby sa na určitej úrovni evolučných procesov objavil režim (režim deterministického chaosu), ktorý vytvára produkty so širokým a prakticky spojitým spektrom z hľadiska určitého ukazovateľa, napríklad lumotnosti. Potom by sa síce možnosti rozšírenia života vo vesmíre značne obmedzili, ale existovala by vysoká pravdepodobnosť, že aspoň niekde vo vesmíre sa skutočne vyskytne. Navyše by sa vytvorili podmienky na to, aby evolučnou technológiou vznikali individua, a nie uniformované série produktov.

Prednosť zrejme dostal druhý variant, pretože je naša príroda taká enormne pestrá. V sade sú síce všetky stromy rovnakého druhu, napríklad jablone, ale každý strom je "individuum", ba aj každý list na nich je iný. Na celej zeme guli nenájdeme ani len dve snehové vločky, ktoré by boli úplne identické a rovnako to platí o všetkých živých tvoroch. Deterministický chaos by sme mohli v určitom zmysle nazvať aj "inteligentný", pretože nerúca základné štruktúry, len každej určuje individuálne črty. Tento druh chaosu súčasne vytvára aj "technické" podmienky pre individuálne myslenie. Mozog každého jednotlivca chaoticky generuje plejádu variantov, z ktorých si človek vyberá na realizáciu ten, ktorý považuje za optimálny. Bez chaotickej práce mozgu nebola by teda možnosť myslieť, ani slobodne rozhodovať, a preto ani zodpovedať za vykonané činy.

Môžeme teda konštatovať, že "Kreátor" voľbou technológie deterministického chaosu dosiahol viacero pozitívnych dôsledkov, ako však ešte uvidíme, v súvislosti s mysliacim tvorom, sú s tým spojené aj určité negatíva.

DUBNIČKA, J.: Nemám námietky, aby sme "preniesli" uvedenú starosť na "Kreátora", pokiaľ to pomôže hlbšie a jasnejšie pochopiť diskutovaný problém a zároveň neposunie vedecký dialóg na mystickú úroveň, to znamená, pokiaľ dokážeme aj "Kreátora" interpretovať prostredníctvom vedeckých pojmov a princípov.

Z hľadiska súčasnej úrovne vedeckého poznania sa prikláňam k názoru, ktorý prezentuje synergetika a nelineárna termodynamika (Haken, Prigogin, Stengers atď.), že vznik nových štruktúr (kvalít) v našom vesmíre je podmienený jeho vnútornou aktivitou. V takomto prístupe žiadna materiálna štruktúra nie je absolútne stabilná, ale prechádza mnohými postupnými stavmi, pričom prechodom do nového stavu vždy mení svoju kvalitu - vyvíja sa. Vývojový princíp tak vstúpil aj do vedeckého poznania, stal sa jedným z jeho fundamentov. Samozrejme, vedu čaká ešte dlhá cesta pri odhaľovaní hlbších vzťahov, súvislosti rozmanitých štruktúrnych úrovní objektívnej reality a ich zákonitosti. Týka sa to, pravdepodobne, aj problému nerozlišiteľnosti, "identity" jednotlivých elementárnych častíc až po kvarkovú úroveň. To je však už iný problém a možno aj námet na ďalší dialóg.

Teraz chcem obrátiť pozornosť na problém, ktorý by špecialnovedné poznanie malo podľa môjho názoru zodpovedať. Je to hľadanie odpovede na otázku: Prečo sa v evolúcii vesmíru na jeho rozličných štruktúrnych úrovniach presadila náhoda, pravdepodobnosť, a teda "dialektický determinizmus", v rámci ktorého sa generujú rozlišiteľné individua až po živú prírodu a človeka? Ako som už uviedol, považujem to za fundamentálnu vnútornú vlastnosť reality.

KREMPASKÝ, J.: To, že sa v evolúcii vesmíru presadila náhoda, čiže deterministický chaos, možno naozaj pokladať za fundamentálnu vnútornú vlastnosť reality, ale nevyhnutne viazanú na hodnoty základných konštánt materiálneho sveta a typ základných zákonov. Vhodná konštelácia týchto daností zákonite generuje deterministický chaos, kým iná nie, preto niektoré procesy prebiehajú chaoticky, iné nie. Väčšina reálnych procesov, ktoré prebiehajú v prírode, má zjavne charakter zodpovedajúci deterministickému chaosu, niektoré z nich sú však deterministické. Príklady možno uviesť dokonca aj z humánnej sféry. Vieme, že niektoré choroby (infekčné) majú deterministický priebeh, kým o iných (napríklad o leukémii a AIDS) sa spoľahlivo preukázalo, že ich charakterizuje deterministický chaos. Otázka, prečo sú základné fyzikálne zákony a charakteristické konštanty "naaranžované" tak, že umožňujú režim deterministického chaosu, však zaväňuje antropickým princípom a tým sa tu nemienime zaoberať.

DUBNIČKA, J.: Z uvedeného vyplýva, že pochopenie a vysvetlenie príčin vzniku chaosu bude s veľkou pravdepodobnosťou závisieť od pochopenia podstaty a veľkosti základných konštánt materiálneho sveta a typu jeho základných zákonov. Vychádzame zo všeobecne uznávaného predpokladu, ako ste ho už uviedli, že globálne vlastnosti nášho vesmíru, ktoré umožnili jeho progresívnu evolúciu sú podmienené práve vhodnou kombináciou mnohých fyzikálnych parametrov konštánt fundamentálnych interakcií, hodnotami hmotnosti elektrónu, protónu, neutrónu, trojrozmernosťou fyzikálneho priestoru atď. Jeho megaskopické vlastnosti sú teda úzko späté s konštantami mikrosвета. Štruktúra nášho vesmíru, ako ukazujú najnovšie teórie, je vzhľadom na hodnoty týchto konštánt "výbušne nestabilná". Súhlasím s vami, že zatiaľ ostáva pre vedecké poznanie otvorenou a nevysvetlenou

otázka, prečo sú fundamentálne konštanty v našom vesmíre tak dobre navzájom "zladené", že ich kombinácia umožnila evolučný proces, teda určitým spôsobom determinuje vznik a vývoj materiálnych štruktúr, priebeh materiálnych procesov, a teda aj určitý typ (aspekt) chaosu. Možno je to tiež "výsledok", ktorý "naaranžoval" už vyššie spomínaný chaos fyzikálneho vákuua ako konkrétnu realizáciu z mnohých možností pri vzniku nášho vesmíru big bangom v rámci tzv. supervesmíru. Myslím si, že tu sa otvára priestor pre ďalší tvorivý dialóg prírodných vied a filozofie, ktorý by mohol prehĺbiť a posunúť vpred súčasné vedecké poznanie. Nechajme však tento priestor, ako ste navrhli, na interdisciplinárnu diskusiu, úzko súvisiacu aj so spomínaným antropickým princípom, ktorú pripravujeme na jeseň tohto roku.

V podstate sme sa zhodli na tom, že súčasné vedecké poznanie na rôznych štruktúrnych úrovniach reality vydeľuje tri typy (aspekty) chaosu - kvantovomechanický, termodynamický, deterministický. Z vášho výkladu, ak som to správne pochopil, kvantovomechanický chaos je neoddeliteľnou súčasťou mikrosveta a má na svedomí jeho "záhadné správanie". Iné vlastnosti a charakteristiky, ale i "úlohy" v evolúcii vesmíru má termodynamický a deterministický chaos.

Vie súčasná fyzika aspoň v hlavných rysoch definovať (určiť) základné vlastnosti a charakteristiky jednotlivých typov (aspektov) chaosu, o ktoré by sa mohla oprieť aj filozofia pri reflexiách tohto sveta a budovaní jeho vedeckého obrazu? Nie je vydeľovanie týchto typov (aspektov) chaosu skôr historickou "neschopnosťou" súčasnej teoretickej úrovne poznania adekvátne postihnúť práve tie hlbšie úrovne reality a ich zákonitosti, zodpovedné z hľadiska jej vnútornej aktivity za vznik, vývoj a štruktúrovanosť vesmíru? Inak povedané, je to obraz súčasnej úrovne vedeckého poznania a jeho možnosti relatívne adekvátne odraziť, zachytiť len určité zákonitosti, vzťahy, súvislosti a procesualitu reality?

KREMPASKÝ, J.: Myslím si, že skutočne je už najvyšší čas splniť to, čo sme už viackrát čitateľovi sľúbili - povedať čosi konkrétnejšie o jednotlivých chaosoch, či presnejšie o jednotlivých špecifikách chaosu ako takeého. Najrýchlejšie si poradíme s kvantovomechanickým chaosom, pretože okrem toho, že objektívne jestvuje nevieme o ňom povedať takmer nič. O jeho existencii bezprostredne svedčí predovšetkým už spomínaný Heisenbergov princíp neurčitosti, ktorý v energeticko-časovom zobrazení znie $\Delta E \cdot \Delta t > h$. V tomto vyjadrení značí ΔE nepresnosť v stanovení energie, ktorá sa vzťahuje na časový interval Δt a h je Planckova konštanta. Konkrétne to znamená, že keď bilancujeme energetické procesy v časových intervaloch rovných napríklad sekundám, prípadne ich desatinám alebo stotinám, môžeme energiu určiť prakticky s ľubovoľnou presnosťou. Keď však bilancujeme napríklad prechod elektrónu z jedného vodiča do iného, čo trvá asi 10^{-14} s., potom nepresnosť určenia energie elektrónu približne tridsaťkrát prevyšuje jeho priemernú hodnotu. Kde hľadať vinníka za toto "narušenie"? Zmysluplná odpoveď zrejme je: sú to fluktuácie vákuua, či kvantovomechanický chaos. Súhlasím s vaším názorom v tom, že aj keď fyzici zvyčajne vidia v spomínanom princípe neurčitosti

zdroj indeterminizmu, nejde tu o totálnu "anarchiu", stratu kauzality a pod., ale len o určitú obmedzenosť pozorovateľa v jeho úsilí všetko čo najpresnejšie premerať.

Laik z uvedenej formulácie princípu neurčitosti vyčíta najmä fakt, že nie je možné súčasne s ľubovoľnou presnosťou zmerať časový interval a zmenu energie v ňom. Videli sme, že čím sa sústreďujeme na kratšie časové úseky, tým viac nám kolíše hodnota stanovenej energie. Aj z toho sa dá dedukovať, že náš svet musí byť vyplnený akýmisi fluktuáciami energie, ktoré majú neobyčajne krátke trvanie, keďže nám narušajú bilanciu energie len vtedy, keď pre ňu pripustíme veľmi krátky časový interval. Filozof však z uvedenej nerovnosti vyvodí ešte viac - táto nerovnosť nepripustí hodnotu $\Delta E = 0$, z čoho vyplýva, že tieto (nenulové) fluktuácie musia trvale existovať. Sú imanentnou vlastnosťou fyzikálneho vákuu a ich konkrétny prejav najčastejšie vnímame ako sústavnú produkciu častíc a antičastíc. Fluktuácia, ak je dostatočne veľká, sa zhmotní do podoby častice a antičastice a ich následnou anihiláciou - prebehne v nesmierne krátkom časovom úseku po ich generácii - sa príslušná energia bez zvyšku vráti vákuu. Veľmi konkrétne to formuloval jeden z najvýznamnejších súčasných fyzikov S. W. Hawking: "Princíp neurčitosti značí, že aj prázdny priestor je vyplnený pármí virtuálnych častíc a antičastíc". Ešte lapidárnejšie to vyjadruje známy ruský fyzik D. I. Blochincev: "Častice sú iba excitáciami vákuu, ktoré "žije" i vtedy, keď v ňom niet žiadnych častíc. Fluktuuje v ňom elektromagnetické pole a elektrická polarizácia. To nie je pokoj, ale večný pohyb, podobný vlneniu na hladine mora." Kvantovomechanický chaos treba v takomto ponímaní spájať s náhodným vznikom uvedených fluktuácií. Aká však je ich genéza a najmä, akými pravidlami sa tento chaos riadi, ak vôbec "poslúcha" nejaké pravidlá, to zostáva pred vedou skryté. Iróniou je, že vede to ani veľmi nechýba, pretože sa jej, konkrétne fyzike, podarilo intuitívne objaviť návod, ako získať informácie - pravdaže iba s určitou pravdepodobnosťou - o všetkých procesoch, ktoré sa za účasti tohto chaosu v mikrosvete odohrávajú. Je to slávna Schrödingerova rovnica, ktorá poskytne "na výstupe z čiernej skrinky" všetky požadované informácie, ak zadáme potrebné údaje na vstupe, a to bez toho, aby sme vedeli, čo konkrétne sa v tejto skrinke odohráva. Je to čosi ako televízor pre laika - nevie čo sa v ňom deje, ale pomocou gombíkov vydoluje z neho všetko čo chce.

O tom, že v tejto kvantovomechanickej skrinke sa dejú čudné veci, čiže fakticky o podivuhodných dôsledkoch kvantovomechanického šumu, svedčí napríklad skutočnosť, že voľne pohybujúce sa častice len "roznetáva", ale mikročastice, ktoré sa pohybujú po uzavretých dráhach nútí zotrvať len na presne definovaných (kvantových) dráhach a na nich im zabezpečuje vysokú stabilitu. Napriek energetickému chaosu, súvisiacemu so spomínanými fluktuáciami, majú, napríklad, elektróny pohybujúce sa v okolí jadier nezvyčajne presne určené energie.

DUBNIČKA, J.: Sľubovali ste, že s kvantovomechanickým chaosom si poradíme veľmi rýchlo, pretože o ňom vieme veľmi málo. Ale vykľulo sa z toho zaujímavé rozprávanie o problémoch, ktoré pripomínajú obdobie formovania kybernetiky a teórie informácie, kde "čierna skrinka" dlho odolávala vnútornej analýze.

Dúfam, že je to ako zvyčajne len historická etapa vývinu vedeckého poznania (a nie hranica principiálnej nepoznatelnosti) a je len otázkou času, keď fyzika, najmä fyzika elementárnych častíc, pochopí vnútornú podstatu, štruktúru a mechanizmus aj tejto "čiernej skrinky", jej úlohu pri interpretácii kvantovomechanického chaosu, čím sa prehĺbi poznanie aj jeho základných vlastností a charakteristík, o ktorých, žiaľ, zatiaľ vieme tak málo povedať.

Ako je to však s tým druhým, termodynamickým, alebo lepšie povedané stochastickým chaosom? Je imanentný určitej štruktúrnej úrovni objektívnej reality, alebo vzniká a zaniká svojvoľne, náhodne, nepredvídateľne a nevieme vysvetliť prečo? Máme na mysli molekulárnu úroveň pohybu hmoty a problémy súvisiace s termodynamikou, najmä nelineárnou termodynamikou.

KREMPASKÝ, J.: Stochastický chaos je fenomén pre človeka nepomerne "familiárnejší" ako predchádzajúci, pretože si ho dokážeme kedykoľvek (na objednávkou alebo z recesie) vytvoriť a najčastejšie na nejaký príkaz sa ho aj zbaviť. Nie je teda imanentným fenoménom a prostriedok, ktorý umožňuje jeho zrod či likvidáciu, je vede (a v podvedomi aj laikovi) veľmi dobre známy. Je to vysoký počet tzv. stupňov voľnosti daného systému. Nemôžeme si, napríklad, vytvoriť na stole neporiadok vtedy, keď máme všetky papiere pevne zopnuté do jedného balíka, pretože v takejto situácii má systém dokumentov len obmedzený počet stupňov voľnosti. Keď však sponku odstránime, celý balík dokumentov vyhodíme do výšky a poskytneme tak každému z nich možnosť zaujať ktorékoľvek miesto na stole či mimo neho, neporiadok zákonite vznikne.

Súčasná fyzika má pomerne dobre rozpracovaný scenár vzniku stochastického chaosu. Keď napríklad kvapneme kvapku atramentu do čistej vody, jeho molekuly sa interakciou s molekulami vody dostávajú do určitých polôh, ktoré charakterizujeme názvom "ergodický stav" - v ňom sa časové stredné hodnoty rovnajú priestorovým stredným hodnotám. Tento stav ešte nenazývame chaotický, pretože trajektórie jednotlivých molekúl sú ešte dobre definované. Potom však nasleduje situácia, ktorú nazývame "mixing", a vtedy už každá častica "zabudla" na svoje východiskové postavenie, resp. naopak, z jej súčasného postavenia už nemožno vypočítať, kde príslušná častica atramentu v čistej vode začala svoju púť. Stratila z teda možnosť vystopovať históriu i predikovať budúcnosť a práve takýto stav nazývame chaotický. Je zrejmé, že východiskom jeho genézy je veľký počet stupňov voľnosti a dôsledkom nemožnosť predikcie.

DUBNIČKA, J.: Z toho čo ste uviedli by celkom logicky vyplývalo, a aj to dost jednoznačne naznačujete, že ani termodynamický chaos nie je výsledkom subjektívnej interpretácie priebehu reálnych procesov, ale že vyplýva z vnútornej aktivity a zo zákonitostí interakcie rozličných materiálnych štruktúr. Predpokladám, že zdrojom aj stochastického chaosu je vnútorná dynamika samopohybu reality (týka sa to i človeka, ktorého považujeme za istý imanentný typ, druh materiálnych štruktúr nášho sveta, ktoré tiež špecifickým spôsobom interagujú s jeho ostatnými

materiálnymi štruktúrami), v rámci ktorého sa rodia fluktuácie, nerovnováha, "napätia" medzi jednotlivými štruktúrami atď. V tomto smere súhlasíme s I. Prigoginom, že práve "nerovnováha, nevyrovnanosť a gradient (spád) tejto nevyrovnanosti sú vnútornými silami samopohybu", a teda vzniku aj termodynamického chaosu. Problémom však zostáva, že o vlastnostiach a charakteristikách stochastického chaosu vieme povedať ešte menej ako o kvantovomechanickom chaose, alebo nie?

KREMPASKÝ, J.: Áno aj nie. Áno preto, lebo nepoznáme nejaký univerzálny princíp (analogický Heisenbergovmu), ktorý by globálne charakterizoval stochastický chaos, aj keď určité čiastkové analógy (v oblasti šumu) sa vyskytujú. Na druhej strane však poznáme niektoré zákonitosti, ktorými sa - napriek totálne zdanlivej náhodnosti, či možno vďaka tomu - stochastický šum riadi, či dá opísať. Vieme, že môže byť gaussovský, či poissonovský, môže mať charakter Wienerovho či Orstein-Uhlenbeckovho šumu a ako najčastejšie používaný model je známy tzv. "biely šum". Tieto charakteristiky nám umožňujú odvodiť určité rovnice (napríklad Planckovu-Fokkerovu rovnicu), ktoré poskytujú pomerne dobré výsledky o správaní systémov v "zašumenom" prostredí. Určitým paradoxom je, že čím je stochastický chaos "dokonalejší", tým presnejšie vieme opísať systém, ktorý je ním "zaťaženy". V tejto súvislosti sa dokonca hovorí o dokonalom neporiadku.

DUBNIČKA, J.: Zdá sa teda, že súčasná fyzika (alebo aj fyzikálna chémia?) nemá s opisom základných charakteristík a vlastností stochastického chaosu žiadne veľké problémy. Ale je to v skutočnosti tak? Máme na mysli určité protirečenie. Na jednej strane zatiaľ vieme o týchto vlastnostiach a charakteristikách veľmi málo a na strane druhej, existuje viac matematických štruktúr (rovnice, modely, atď.), ktoré dávajú "pomerne dobré výsledky" o správaní takýchto systémov. Myslíme si, že už toto protirečenie generuje mnoho vážnych teoreticko-metodologických, ale i špeciálnovedných problémov.

KREMPASKÝ, J.: Máte pravdu, problémy tu existujú. Jeden z najvážnejších, ktoré sa doteraz nepodarilo vyriešiť, je problém reverzibility a ireverzibility. Je to taký zvláštny paradox: vieme, že všetky mikroskopické procesy prebiehajú reverzibilne, ale proces, ktorý v komplexe navonok generujú (v chaotickom režime), je ireverzibilný. Konkrétne, tepelný pohyb je chaotický a všetky jednotlivé procesy v ňom prebiehajú reverzibilne. Keď však necháme navzájom interagovať dva takéto chaotické systémy, objaví sa buď difúzia alebo prenos tepla a tieto procesy sú ireverzibilné. Je známe, že riešeniu tohto problému venoval mimoriadne úsilie I. Prigogine so svojimi spolupracovníkmi, ale bez zjavného úspechu. Omnoho úspešnejší však bol pri riešení iného vážneho problému, a to, či sa môže stochastický chaos spontánne zmeniť na poriadok, inými slovami, či sa môže chaotický systém spontánne štrukturalizovať? Odpoveď je, ako vieme, pozitívna, ale to už patrí do inej problematiky.

DUBNIČKA, J.: Súhlasím s vami, že problém vznikania nového usporiadania (štruktúry, kvality) z existujúceho typu chaosu patrí do inej kategórie problémov ako do diskutovanej. Chcem však pripomenúť, že úzko súvisí s problematikou chaosu. Navrhujem tento problém presunúť do iného dialógu, ktorý by bol zameraný na niektoré aktuálne problémy synergetiky.

Vráťme sa však k problému chaosu. Z danej trojice sme ešte veľmi málo pozornosti venovali deterministickému chaosu. Vzniká otázka: Je to ešte vôbec chaos, keď naň aplikujeme výraz deterministický? Nie je to "contradictio in se"?

KREMPASKÝ, J.: Takmer som v pokušení začať konštatovaním, že nakoniec to najlepšie, či najkrajšie. V predchádzajúcom texte sme už naznačili, že deterministický chaos - či už je alebo nie je chaos - je fenomén, ktorý má nesmierny význam, doslova "conditio sine qua non" života i človeka. Na tomto mieste nebudeme opakovať argumenty v prospech tohto tvrdenia - to sme už v podstate urobili. Teraz by sme skôr mali objasniť, čo tvorí podstatu deterministického chaosu a ako sa s ním ľudstvo zoznámilo. Zdôraznili sme už, že skutočnou príčinou stochastického chaosu je obrovský počet stupňov voľnosti. Nikoho ani len nenapadlo hľadať genézu chaosu aj v systémoch s malým počtom stupňov voľnosti, preto nás neprekvapuje, že deterministický chaos nebol objavený cielene, ale úplne náhodne, a to v systémoch s troma stupňami voľnosti a práve tam, kde to bolo najmenej žiadúce. Jeho objavenie celkom zmarilo úspešné zavŕšenie dobre premysleného a starostlivo riešeného projektu. Bol to projekt dlhodobej predikcie počasia. Anglický meteorológ a matematik Lorenz sa pokúsil redukovať počet rovníc determinujúcich dynamiku klimatologických systémov na najmenší možný počet s cieľom, aby takýto systém rovníc bol riešiteľný pomocou počítačov a umožnil tak predpovedať počasie v ľubovoľnom čase. Prvú časť úlohy úspešne zvládol, celú dynamiku klimatologických systémov sa mu podarilo skoncentrovať do troch rovníc, ktoré počítač hravo riešil. Prekvapenia sa dočkal vtedy, keď počítač aj pre celkom nevýznamné zmeny vstupných údajov mu začal poskytovať diametrálne odlišné výsledky. Napríklad, zmena teploty len o miliontinu stupňa, čo zodpovedá, povedzme, mávnutiu krídielka motýľa, zapríčinila d'alekosiahlu zmenu v predpovedi počasia na dlhšie obdobie. Tak vznikla známa, v súčasnosti už často používaná fráza: "Stačí, keď nad oceánom zamáva motýlik krídielkom a zmení sa počasie v celej Európe". Tu je aj najlapidárnejšie sformulovaná podstata deterministického chaosu: nesmierna citlivosť na malé, inak absolútne nevýznamné fluktuácie. Keďže fluktuácii je vždy prakticky nespočítateľne mnoho (ich zdrojom môže byť aj kvantovomechanický či stochastický chaos) a každá z nich je schopná vnútiť systému špecifický makrostav, je zrejme, že nie je, ani nikdy nebude v silách ľudského mozgu, či jeho techniky, vypočítať makrostavy systému pri jeho evolúcii do budúcnosti. Celkom konkrétne, ešte raz v súvislosti s počasím. Keď sa už raz dal do pohybu "klimatický front", vieme na niekoľko dní vopred predvídať jeho pohyb, a teda krátkodobo predpovedať počasie, ale kedy a kde sa objaví nový front, a najmä ktorým smerom sa začne uberať, to sa nedá predpovedať, pretože to - obrazne povedané - závisí od toho, či sa nad oceánom objaví nejaký motýlik a ako

zamáva svojim krídielkom. Preto kvalifikujeme tento režim ako chaoticky, napriek tomu, že vzniká na pôde deterministických systémov.

Ak ste sa pýtali, čo zaujímavé z fyzikálneho poznania deterministického chaosu by mohlo vyplynúť pre filozofiu, mohlo by sa odpovedať, že jeden záver je nespochybniteľný - deterministický chaos implikuje nemožnosť predikcie evolúcie systémov. Či tento fenomén kladie určité obmedzenia vede, to už je otázka pre filozofiu.

DUBNIČKA, J.: Nemožnosť predikcie evolúcie dynamických systémov, vyplývajúca z teórie deterministického chaosu, má pre vedecké poznanie určite vážne dôsledky. Z metodologického hľadiska každá vedecká teória má aj predikčnú funkciu. Vzniká otázka, ako bude táto funkcia vedeckej teórie ovplyvnená (ohraničená). To je však už problém filozofie a metodológie vedy, ktorá bude musieť na základe analýz ukázať, aké konkrétne obmedzenia z daného záveru vyplývajú pre vedecké poznanie, ako to ovplyvní ďalšie rozpracovanie metód vedeckého poznávania a možno aj celú metodológiu vied.

KREMPASKÝ, J.: Tu by bolo možné pripomenúť častú argumentáciu laikov, ba aj ľudí vzdelaných: Nemožnosť predikcie vývoja systémov pracujúcich v režime deterministického chaosu spočíva v podstate v nemožnosti evidovať všetky možné fluktuácie, teda je skôr "technického" a nie principiálneho charakteru. Čo je technicky nemožné dnes, bude azda možné zajtra, takže je určitá nádej na prekonanie tohto handicapu. V Čechách takú prognózu nazývajú "telecí optimizmus" a myslím si právom. Uvedomme si, že na zakódovanie jednej informácie (napríklad súradnice častice) sa v mikroelektronike vyžaduje minimálne stovka atómov vhodného materiálu (napríklad polovodiča). Na zaevidovanie informácií o stave každej častice by sme teda potrebovali počítač minimálne stokrát väčší, ako je systém, ktorého evolúciu by sme chceli predikovať. Dotiahnuté do absurdna by to znamenalo, že na úplné poznanie stavu vesmíru a jeho vývoja by sme potrebovali počítač väčší ako sto vesmírov. Môžeme preto konštatovať, že deterministický chaos zostane navždy chaosom, napriek tomu, že má deterministickú genézu.

DUBNIČKA, J.: Vráťme sa však k fyzikálnym charakteristikám deterministického chaosu. Ak berieme do úvahy úžasnú rozmanitosť stimulov podmieňujúcich jeho vznik, logicky by z toho vyplývalo, že ťažko môžeme nájsť nejaké jeho "pravidlá správania". Možno tento typ chaosu nejak zmysluplne opísať, určiť v jeho rámci nejaké vzťahy, štruktúry alebo zákonitosti? (Týka sa to všetkých typov chaosu.) Máme na myslí tie konceptuálne prostriedky, prostredníctvom ktorých sme schopní zachytiť tie vlastnosti a charakteristiky chaosu, ktoré v súčasnosti považujeme za fundamentálne. Ide o rôzne typy matematických štruktúr - algebraické, topologické, usporiadania, ktoré sa pri skúmaní chaosu využívajú. Aj keď pokladáme tieto štruktúry za historicky ohraničené, ako sa s nimi vyrovnáva súčasná fyzika pri výskume chaosu? Alebo, ako to naznačil Ian Stewart vo svojej práci *Čísla prírody*, je skutočne treba

vytvoriť nový typ matematických štruktúr, ktoré budú adekvátnejšie odrážať podstatu a základné charakteristiky chaosu? Podľa tohto autora sa má vyvinúť nový "druh matematiky", ktorý bude so vzormi zaobchádzať ako so vzormi, a nielen ako s náhodnými dôsledkami interakcií na malých rozmeroch. Číslo je len jednou z nepreberného množstva matematických kvalít, a preto neporozumieme mnohým vývojovým procesom, ak sa pokúsime zredukovať "celú voľnosť prírody na obmedzujúce číselné schémy". Mnohí autori práve pre adekvátnosť popisu deterministického chaosu hovoria o "morfo-matematike" ako efektívnej matematickej teórii foriem.

KREMPASKÝ, J.: Deterministický chaos je síce chaos, ale napriek tomu možno v ňom objaviť doslova estetické štruktúry. Keď si napríklad vývoj klimatologických systémov v režime deterministického chaosu zobrazíme vo fiktívnom "fázovom priestore", generujú sa nám osobité obrazce, ktoré dostali názov "podivný atraktor". Ich prekvapujúcou zaujímavosťou je to, že keď trajektóriam zobrazujúcim evolúciu takýchto systémov postavíme do cesty myslenú rovinu a zaznamenáme si body príslušných priesečníkov, dostaneme zvláštne usporiadania, ktoré matematici poznajú pod názvom "Cantorova množina". O nej sa vie, že má vlastnosť "sebepodobnosti" (selfsimilarity), čo značí, že na rôznej škálovej úrovni vyzerá rovnako. Takéto útvary sa nazývajú "fraktály" a matematici sa naučili ich aj kvantifikovať pomocou tzv. Hausdorffovej miery (fraktálovej neceločíselnej dimenzie).

Nemôžeme zabiehať do prílišných detailov, ale uveďme aspoň to, že režimy deterministického chaosu generujú fraktály, čiže sebedobné štruktúry a svedectvá o tom môžeme nájsť všade v prírode (štruktúra stromov, listov, pobreží atď.). Aj to dokazuje, že naša príroda je naozaj výsledkom evolúcie odohrávajúcej sa v režime deterministického chaosu.

DUBNIČKA, J.: Ak tomu dobre rozumiem, dynamické systémy sa stávajú deterministicky chaotickými vtedy, keď sa ich normálne atraktory degradujú na podivné atraktory reprezentujúce fraktálne štruktúry.

KREMPASKÝ, J.: Áno, istý čas sa myslelo, že je to jediný možný scenár prechodu deterministických systémov s malým počtom stupňov voľnosti na chaotické. Istý fanatik menom Feigenbaum však poukázal na to, že existuje ešte aj iný scenár prechodu na deterministický chaos, ktorý je charakteristický pre diskrétny systémy vyskytujúce sa v zreteľnej podobe najmä v biologickom svete. Tam to funguje tak, že nad určitou hranicou hodnoty riadiacej konštanty sa možnosti finálneho stavu makrosystému postupne zdvojujú a nad jej kritickou hodnotou sú už možné všetky stavy v určitom intervale, čiže v evolúcii nastáva chaos. Tento scenár veľmi dobre vysvetľuje diverzifikáciu živočíšnych spoločenstiev. Keď už sme, napríklad, v nejakej hore nasadili zárodok mravenčích spoločenstiev, pri deterministickom režime evolúcie by sme museli očakávať, že všetky dospejú do rovnakého finálneho stavu (z hľadiska svojej početnosti). Realita je však taká, že všetky mraveniská sa navzájom odlišujú, pričom sa mohlo stať, že niekde tento systém aj vyhybnul. Presne

to sa stáva aj v prípade už spomenutých chorôb (leukémie a AIDS), u ktorých sa dokázal Feigenbaumov scenár vzniku chaosu. Čo vysvetľuje prekvapujúce zistenie, že v niektorých prípadoch sa pacienti nevysvetliteľne vyliečili.

DUBNÍČKA, J.: V našom dialógu sme sa už zaoberali druhmi (aspektmi) chaosu, jeho vlastnosťami a charakteristikami, ako aj existujúcimi konceptuálnymi prostriedkami jeho výskumu. Myslíme si, že sme sa dozvedeli mnoho zaujímavého o tom, ako sa fyzici pokúšajú vysporiadať, a to aj za účinnej pomoci matematiky, s daným problémom. Ale predsa nám ostala otvorená jedna otázka, na ktorú sme sa zatiaľ nepokúsili odpovedať: Čo je vlastne chaos? V odbornej literatúre existuje mnoho rozmanitých definícií, ale je problém najst' určitú zhodu pri určení významu tohto pojmu. Uvedieme aspoň niektoré. Chaos je: "Komplikované aperiodické príťažlivé pôsobenie trajektórie istých (obyčajne nízkodimenziálnych) dynamických systémov" (Ph. Holmes). "Istý druh poriadku, ktorý nemá periodicitu" (Hao Bai-lin). "Zdánlivo náhodné, opakujúce sa správanie deterministického (hodinám podobného) systému" (H.B.Stewart). "Nepravdivé, nepredvídateľné správanie deterministických nelineárnych dynamických systémov" (R.V. Jensen). "Dynamika systému s kladnou, ale konečnou metrickou entropiou. Chovanie, ktoré produkuje informácie (zväčšuje malú neistotu), ale nie je predvídateľné." (J. Crutefield). "Systémy so slobodnou možnosťou skúmania všetkých svojich dynamických možností, ... vzrušujúca pestrosť, bohatstvo voľby, hojnosť príležitostí" (A. Ford). "Systém, ktorý je citlivý na počiatočné podmienky, ktoré robia jeho správanie nepredpovedateľným a teda nepravidelným" (H. B. Stewart). A mohli by sme pokračovať. Myslíme si, že treba nevyhnutne hľadať cestu, ako existujúce definície zjednotiť do univerzálnejšej. Jednou z ciest ako komplexne opísať podstatu chaosu je podľa nášho názoru interdisciplinárny a integrovaný prístup. Myslíte si, že integráciou poznatkov jednotlivých špeciálnovedných a všeobecnovedných disciplín sa môžeme dopracovať k nejakej všeobecnej (univerzálnej) definícii chaosu, ktorá by adekvátne vystihovala jeho podstatu? Alebo môžete z aspektu fyziky predložiť adekvátnejšiu definíciu?

KREMPASKÝ, J.: Zatiaľ sme naozaj v štádiu všestranného zhromažďovania informácií o významnom fenoméne našej reality zvanom "chaos" a naozaj si už môžeme položiť otázku: Čo je to chaos? Sám objaviteľ deterministického chaosu Lorenz je v tomto smere skeptický a neverí, že možno nájsť uspokojivú odpoveď. Myslím si však, že situácia nie je až taká beznádejná, ako sa na prvý pohľad zdá. Videli sme, že jednotlivé druhy chaosu majú svoje špecifiká, ale určité spoločné a univerzálne rysy v nich predsa len možno objaviť. Jeden z nich sme už viackrát spomenuli - je to nemožnosť predikcie. Definícia chaosu vychádzajúca z tejto vlastnosti by však bola definíciou "ex post" pripomínajúcou napr. definíciu "svetlo je to, čo umožňuje vidieť". My by sme však radšej uvítali definíciu analogickú tvrdeniu "svetlo je elektromagnetické vlnenie s vlnovými dĺžkami medzi asi 400 - 700 nm", pretože tá má "kvalifikátor" i "kvantifikátor". Je nádej na analogickú definíciu chaosu? Pokusíme sa ukázať, že áno.

V matematike a informatike sa v ostatnom čase udomácnil pojem "informačná stlačiteľnosť". Súbor nejakých údajov je informačne stlačiteľný, ak sa ho podarí sprostredkovať úspornejšou formou. Napríklad rad čísel 1,3,7,15,31,... možno sprostredkovať v úspornejšej forme zadáním rekurentnej formuly $X_{n+1} = (2X_n + 1)$. Ak sa súbor nejakých čísel nedá informačne stlačiť, hovoríme, že je chaotický. V takom prípade nejestvuje inštrukcia, pomocou ktorej by sme mohli z n -tej hodnoty vypočítať $n+1$ -tú hodnotu. Táto vlastnosť teda implicitne obsahuje nemožnosť predikcie.

Uvedený matematicko-informačný pojem poskytuje šancu na definíciu chaosu, ktorá ho nielen kvalifikuje, ale aj kvantifikuje. Mohla by znieť, napríklad, takto: "Chaos je vlastnosť systému, ktorého stavy sú určené informáciami nedovoľujúcimi nelokálne informačné stlačenie". Slovo "nelokálne" je tam nevyhnutné z toho dôvodu, že v určitom obmedzenom intervale možno pozorovať determinizmus, ale nemožno zistiť, kde tento interval začína a kde končí. Uznávam, že je to dosť abstraktná definícia, ale v každom prípade jednoznačná a nepripúšťa rozdielne interpretácie. A to od dobrej definície požadujeme.

DUBNIČKA, J.: Z celej našej diskusie vyplýva, že nielen definície, ale i všetky teórie chaosu sú zatiaľ neucelené, čiastkové, ktoré neumožňujú zatiaľ podať celkom adekvátny popis jeho fundamentálnych vlastností a vzťahov. Na druhej strane je to ale "normálna" vedecká evolúcia, ktorá nám umožňuje postupne sa prepracúvať k hlbšej podstate daného fenoménu a odrážať ho v budúcnosti v adekvátnejšom konceptuálnom systéme. Zatiaľ aj náš dialóg zostáva, aj napriek mnohým novým informáciám v rámci súčasnej fyziky a matematiky, neúplným a navyše skutočne chaotickým dialógom o chaose. Možno, práve to podnieti ďalších vedeckých pracovníkov aj z iných vedných odborov, aby priložili svoje polienka ku komplexnejšiemu chápaniu tohto veľmi zaujímavého fenoménu, ktorý v súčasnosti hýbe základmi súčasnej vedy a vedeckého poznania.

*Ján Dubnička
Filozofický ústav SAV
Klemensova 19
813 64 Bratislava
fax: 321 215, e-mail: postmast@fiu.savba.sk*

*Július Krempaský
Katedra fyziky
Elektrotechnická fakulta STU
Mlynská dolina Ilkovičova 3
812 19 Bratislava*

Tento príspevok vznikol vo Filozofickom ústave SAV ako súčasť grantového projektu 2/4150/97.