

Nových pohľadov na evolúciu je veľmi málo, pretože všetko je oveľa zložitejšie, než si vedci pôvodne mysleli...

Jedným z tých, čo sa pozerajú na evolúciu z odlišného pohľadu, je americký matematik a biológ **Stuart A. Kauffman**. Vytvoril matematické modely systémov, ktoré sa samé organizujú a usporiadávajú do určitých štruktúr. Systém, ktorý má vykonávať prácu, musí postaviť štruktúru na vykonávanie práce, v dôsledku čoho sa vytvára cyklus, resp. závitnica (pretože se nevracia na to isté miesto), a tak sa sám štruktúruje. Kauffman taký systém nazýva autonómny agens a myslí si, že sa dá použiť na fylogenézu aj ontogenézu. Evolúcia tak podľa neho neprebíha vďaka prírodnému výberu, ale **napriek prírodnému výberu**.

Kauffman sa vo svojej knihe **Origins of Order: Self-Organization and Selection in Evolution** usiluje nájsť odpovede na otázku, čo je zdrojom toho úžasného a nádherného poriadku, ktorým sú obdarené živé bytosti?

Čítaj tiež Vladimír Kováč, 2007: Pánom života je čas. PT Albert Marenčin, Bratislava, s 99-127.

... tým nechcem povedať, že Darwin sa mýli,
ale to, že Darwinove myšlienky sú iba časťou celej pravdy o živote. ...

... Darwinovou odpoveďou na všetok poriadok, ktorý nás tak
ohromujúco obklopuje, je jediná **singulárna sila:**
prírodný výber...

... A práve tento názor o výlučnosti jedinej sily považujem za neadekvátny,
pretože neberie do úvahy, nevšíma si, nekladie dôraz
a nedokáže inkorporovať možnosť, že jednoduché i zložité systémy
vykazujú poriadok spontánne...

... Neživý svet je plný takýchto príkladov, a nikto nemusí
pochybovať, že podobné zdroje poriadku sú dostupné aj pre
živé bytosti. ...

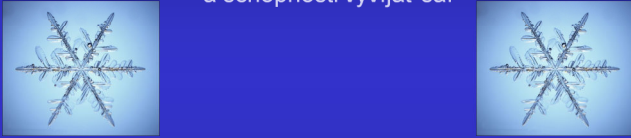
Ontogenéza a evolúcia 2

“Všetkých nás fascinuje jeden z pohľadov na tento problém - je to Darwinov pohľad: prírodný výber a veľký rozvetvený strom života, ktorý sa rozvetvuje od hlavných kmeňov po tie najmenšie rody a druh až ku koncovým vetvičkám, k zvedavému človeku, ktorý hľadá, kde je jeho miesto a postavenie vo svete. Darwin a evolucionizmus sú všade okolo nás, bez ohľadu na “hundranie” kreacionistických vedcov. Je však tento pohľad správny? Lepšie povedané, je adekvátny? Verím, že niet. Tým nechcem povedať, že Darwin sa mýli, ale to, že Darwinove myšlienky sú iba časťou celej pravdy o živote. Darwinovou odpoveďou na všetok poriadok, ktorý nás tak ohromujúco obklopuje, je jediná singulárna sila: **prírodný výber**. A práve tento názor o výlučnosti jedinej sily považujem za neadekvátny, pretože neberie do úvahy, nevšíma si, nekladie dôraz a nedokáže inkorporovať možnosť, že jednoduché i zložité systémy **vykazujú poriadok spontánne**. Pritom takýto spontánny poriadok existuje a nie je nijako mysteriózny. Neživý svet je plný takýchto príkladov, a nikto nemusí pochybovať, že podobné zdroje poriadku sú dostupné aj pre živé bytosti. Mysteriózny je však rozsah tohto spontánneho poriadku v živých systémoch, ako aj to, či a ako sa môže sebaorganizácia zlúčiť s Darwinovými mechanizmami evolúcie - prírodným výberom - tak, aby to umožnilo vytvoriť, či lepšie povedané vytvorilo to, čo vidíme okolo seba.”



“Našťastie, biológovia spontánny vznik poriadku, čiže výskyt **sebaorganizácie** celkom neignorujú. Všetci vieme, že kvapky oleja vo vode vytvoria guľôčku aj bez toho, aby na to potrebovali prírodný výber, alebo že snehové vločky nadobúdajú svoju prchavú šesťlúčovú symetriu z čisto fyzikálno-chemických príčin. No číra nezmerateľná komplexita organizmov nás celkom isto ohromuje rovnakou mierou, akou kedysi ohromovala Darwina. Zo zvyku sa obraciame k prírodnému výberu, a tak sa pokúšame ten poriadok vysvetliť, ja sa však domnievam, že **odpoveď** na naše otázky je **širšia**.”

Biológia dnes má vo vede výnimočné postavenie, a to vďaka tomu, že molekulárna biológia nás privádza do najvnútornejších kútov najzákladnejších bunkových mechanizmov, ku komplexite a schopnosti vyvíjať sa.



Súčasne nám však matematika, fyzika, chémia a biológia odhaľujú, aká veľká môže byť sila sebaorganizácie. Tieto poznatky obsahujú aj implikácie pre pôvod života ako takého, a tiež pre pôvod poriadku v ontogenéze každého organizmu...

Ontogenéza a evolúcia 4

“Biológia dnes má vo vede výnimočné postavenie, a to vďaka tomu, že molekulárna biológia nás privádza do najvnútornejších kútov najzákladnejších bunkových mechanizmov, ku komplexite a schopnosti vyvíjať sa.

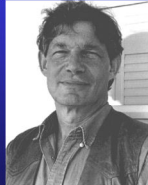
Súčasne nám však matematika, fyzika, chémia a biológia odhaľujú, aká veľká môže byť sila sebaorganizácie. Tieto poznatky obsahujú aj implikácie pre pôvod života ako takého, a tiež pre pôvod poriadku v ontogenéze každého organizmu.”

Jednou z hlavných tém tejto Kauffamovej knihy je snaha spojiť poznanie z oblasti molekulárnej biológie s týmito novými náhľadmi na spontánny poriadok v komplexných systémoch. To nám umožní zmeniť naše chápanie prírodných procesov v živej hmote. Poriadok, ktorý je neodmysliteľnou súčasťou komplexity bunky môže byť z veľkej časti **sebaorganizovaný** a **spontánny**, čiže ani nie tak dôsledkom samotného prírodného výberu. Našou úlohou však nie je iba skúmať zdroje poriadku, ktoré môžu byť pre evolúciu dostupné. Okrem toho musíme toto poznanie integrovať so základným pohľadom, ktorý nám poskytol Darwin. Prírodný výber, nech sú naše pochybnosti akékoľvek, celkom isto zohráva v evolúcii významnú úlohu. Preto, aby sme mohli skombinovať sebaorganizáciu s prírodným výberom, **musíme rozšíriť evolučnú teóriu** tak, aby stála na širších základoch, a potom z nej vybovať nový chrám. Nový chrám má najmenej tri úrovne:

1. Musíme opísať spontánne zdroje poriadku, sebaorganizačné vlastnosti jednoduchých a komplexných systémov, ktoré poskytujú evolúcii neodmysliteľný poriadok a ktoré musia fungovať *ab initio* a stále.
2. Musíme pochopiť, ako takéto sebaorganizačné vlastnosti **dovoľujú, umožňujú i limitujú prírodný výber**. Musíme sa na organizmy pozerat' v novom svetle – musíme do nášho uvažovania integrovať fakt, že prírodný výber nie je jediným zdrojom poriadku v organizmoch.
3. Musíme pochopiť, ktoré vlastnosti komplexných živých systémov udeľujú týmto systémom schopnosti adaptovať sa. Darwin totiž jednoducho predpokladal, že je možné hromadenie výhodných mutácií, no takáto schopnosť nie je samozrejma. Niektoré systémy sa dokážu sotva vôbec adaptovať.

...Vráťme sa ešte k neodarwinizmu. "Z neho pramení vnímanie organizmov ako celkom náhodných bytostí a evolúcie ako v podstate historickej vedy. Z tohto hľadiska je usporiadanie (poriadok) v organizmoch výsledkom selekcie, ktorá preosieva neočakávané prospešné náhody a usporadúva ich do nepravdepodobných foriem.

'...Monod (1971) nás presvedčil svojou vyzývavou frázou "Evolúcia je náhoda, čo praje pripraveným."

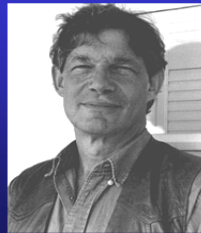


A rovnako nás presvedčil aj Jacob (1983) svojím názorom, že evolúcia je ako príštipkár, čo "drôtuje vynálezy dohromady."

'...Monod (1971) nás presvedčil svojou vyzývavou frázou "Evolúcia je náhoda, čo praje pripraveným." A rovnako nás presvedčil aj Jacob (1983) svojím názorom, že evolúcia je ako príštipkár, čo "drôtuje vynálezy dohromady."'

Odtiaľ pramení vnímanie organizmov ako celkom **náhodných** bytostí a evolúcie ako v zásade historickej vedy. Z tohto hľadiska je usporiadanie (poriadok) v organizmoch výsledkom selekcie, ktorá preosieva neočakávané prospešné náhody a usporadúva ich do nepravdepodobných foriem. Z tohto hľadiska sa na univerzálne vlastnosti živých tvorov - genetický kód, štruktúru metabolizmu, a iné - treba pozerat' ako na „zmrazené“ náhody prítomné vo všetkých organizmoch iba preto, že majú spoločný pôvod. Nenápadná skutočnosť, že spontánny poriadok je **všadeprítomný**, zostáva potom mimo centra pozornosti. Preto sa ani nezdôrazňuje, neskúma a neintegruje do evolučnej teórie.

Z tohto hľadiska sa na univerzálne vlastnosti živých tvorov - genetický kód, štruktúru metabolizmu, a iné - pozerá ako na „zmrazené“ náhody prítomné vo všetkých organizmoch iba preto, že majú spoločný pôvod. Nenápadná skutočnosť, že spontánny poriadok je všadeprítomný, nie je z tohto pohľadu v centre pozornosti. Preto sa ani nezdôrazňuje, neskúma a neintegruje do evolučnej teórie.



6

Hlavná Darwinova idea je nespochybniteľná. Ak uvažujeme o implikáciách spontánneho poriadku, určite musíme uvažovať v kontexte prírodného výberu, pretože biológia je bez neho nemysliteľná. Preto musíme pozrozumieť, ako výber interaguje so systémami, ktoré majú svoje vlastné usporiadané vlastnosti. Prinajmenšom nás musí zaujímať, či je prírodný výber dostatočne mocný na odvrhnutie akéhokoľvek zdedeného poriadku v stavebných kameňoch života. Ak áno, potom by pozorovaný poriadok mohol odrážať iba to, čo mu diktuje selekcia. Ale predstavme si napríklad adaptívnu evolúciu pod silným prírodným výberom, pričom vrcholy pomyslených adaptívnych vrchov budú predstavovať vrcholnú zdatnosť, kým priekopy a hlboké údolia nízku úroveň zdatnosti. Takto narazíme na kritické limity pôsobenia selekcie: ako sa entity pod vplyvom prírodného výberu stávajú čoraz komplexnejšími, selekcia čoraz väčšmi stráca schopnosť vyhnúť sa typickým znakom týchto systémov. **Následne, ak taký komplex vykazuje spontánne usporiadanie, toto usporiadanie (poriadok) môže vzniknúť nie vďaka selekcii, ale napriek selekcii.** Niektoré usporiadania v organizmoch nemusia odrážať úspech selekcie, ale svoju budúcnosť.

Ak ale hľadáme aj princípy “paralelného procesovania” systémov integrovaných elementov, ktoré umožňujú týmto systémom adaptovať svoje správanie v komplexnom prostredí, objavujú sa dve témy:

1. vynáranie hlboko zakoreneného **spontánneho poriadku**
2. Po druhé, odvážna hypotéza, že prírodný výber pôsobí na charakteristický typ prispôsobivého systému nachádzajúceho sa **medzi poriadkom a chaosom**.



Ak ale hľadáme aj princípy stavby “paralelného procesovania” systémov integrovaných elementov, ktoré umožňujú týmto systémom adaptovať svoje správanie v komplexnom prostredí, objavujú sa dve témy: Po prvé **vynáranie hlboko zakoreneného spontánneho poriadku**. Po druhé, odvážna hypotéza, že prírodný výber pôsobí na charakteristický typ prispôsobivého systému nachádzajúceho sa medzi poriadkom a chaosom.

Ale ako sa vynára neočakávaný spontánny poriadok? Pri hľadaní odpovede na túto otázku si treba uvedomiť, že obrovské rozsiahle siete pozostávajúce z navzájom pospájaných elementov sa v princípe správajú v troch režimoch:

usporiadanom, chaotickom a v komplexnom režime na hranici medzi poriadkom a chaosom. Spontánny poriadok usporiadaného režimu napovedá veľa o poriadku, ktorý pozorujeme počas **ontogenézy**. Kauffmanova odvážna hypotéza stanovuje aké predpoklady musia byť splnené, aby bolo komplexnému systému umožnené optimálne sa adaptovať pomocou hromadenia prospešných mutácií, a to aj v koevolučnom kontexte, kde adaptívny pohyb jedného “hráča” mení tvar “fitness”, resp. “adaptívnych krajín” koevolujúcich partnerov. Usporiadané systémy, najmä také, čo sa nachádzajú na hranici chaosu, takéto požadované vlastnosti majú.

Okrem toho môžeme pozorovať, že rovnaké požiadavky si komplexné systémy vyžadujú aj na vyšších úrovniach, napr. v celých ekosystémoch. Opäť sa ukazuje, že ekosystémy môžu fungovať v **troch základných režimoch: usporiadanom, komplexnom a chaotickom**. A znova platí, že koevolujúce systémy môžu optimalizovať svoju kapacitu koevolúcie tak, že spoločne dosahujú hranicu chaosu.

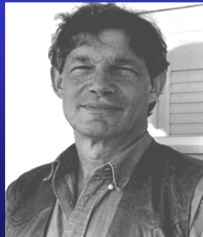
Stuart Kauffman also discusses the origin of life. It requires no more words than this phrase to remember that we do not now know how life may have started. Any discussion is at best a body of ideas. The central problem is this: How hard is it to obtain a self-reproducing system of complex organic molecules, capable of a metabolism coordinating the flow of small molecules and energy needed for reproduction and capable of further evolution? Contrary to all our expectations, the answer, I think, is that it may be surprisingly easy. To state it another way, I want to suggest that we can think of the origin of life as an expected emergent collective property of the modestly complex mixture of catalytic polymers, such as proteins or catalytic RNA, which catalyze one another's formation. I believe that the origin of life was not an enormously improbable event, but law-like and governed by new principles of self-organization in complex webs of catalysts. Such a view has many implications. Among them, the template- replicating properties of DNA and RNA are not essential to life itself (although these properties are now essential to our life). **The fundamental order lies deeper, the routes to life are broader.**

Further, I suspect that the same principles of self-organization apply to the emergence of a protometabolism. I suggest that the formation of a connected web of metabolic transformations arises almost inevitably in a sufficiently complex system of organic molecules and polymer catalysts. This view implies that, from the outset, life possessed a certain inalienable holism. It also suggests that almost any metabolic web, were life to evolve again, would have a very similar statistical structure. Thus I find myself wondering if the web structure of a metabolism may reflect not the contingent consequences of this particular history of life, but some underlying ordering principles in biology.

Ale ako sa vynára neočakávaný spontánny poriadok?

Pri hľadaní odpovede na túto otázku si treba uvedomiť, že obrovské rozsiahle systémy pozostávajúce zo siete navzájom pospájaných elementov sa v princípe správajú v troch režimoch:

1. usporiadanom
2. chaotickom
3. v komplexnom režime na hranici medzi poriadkom a chaosom

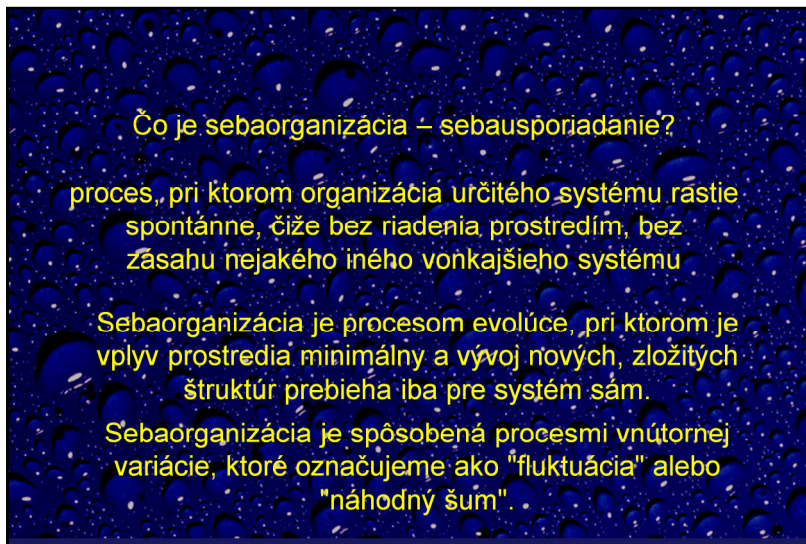


Spontánny poriadok usporiadaného režimu pritom vypovedá veľa o poriadku, ktorý pozorujeme počas ontogenézy.

8

Kauffman sa venuje aj "genetickému programu", ktorý sa podieľa na diferenciácii buniek počas vývinu mnohobunkového organizmu z vajíčka po dospelého jedinca a kontroluje mašinériu, ktorá vyúsťuje do vytvorenia usporiadanej morfológie. Jeho hlavnou myšlienkou je, že mnohé vysoko organizované znaky ontogenézy nie sú ťažko nadobudnutými výdobytkami selekcie, ale z veľkej časti očakávané sebaorganizujúce správanie týchto komplexných genetických regulačných systémov.

Problém diferenciácie buniek je jedným zo základných problémov vývinovej biológie. Rozličné typy buniek – nervové, svalové, pečenné, atď., vznikajú a diferencujú sa počas vývinu z ranejších typov buniek a napokon tvoria, u človeka, niekoľko sto typov buniek. Každá bunka ľudského tela obsahuje v zásade také isté genetické inštrukcie ako všetky ostatné bunky. Tieto inštrukcie obsahujú štruktúrne gény kódujúce asi 100 000 rozličných proteínov. Typy buniek sa diferencujú vďaka tomu, že v rôznych bunkách sa aktivujú rôzne podsúbory génov. **Aktivácia a represia génov je sama o sebe riadená zložitou regulačnou sieťou, v ktorej produkty niektorých génov zapínajú alebo vypínajú ostatné gény.** Všeobecnejšie povedané, expresia génovej aktivity je kontrolovaná na rozličných úrovniach, a to od génov samých po konečný proteínový produkt. A práve tieto regulačné obvody fungujú ako orchester, ktorý nalaďuje genetický systém do koherentného usporiadania. Taký obvod sa môže skladať z tisícov molekulárne odlišných spojení. V evolúcii býva každý obvod neprestajne "miešaný v guláši" rozličných mutácií, čo vyplýva z "logiky" výsledného vývinového programu. Kauffman sa usiluje poukázať na to, že existencia rozličných typov buniek, homeostatická stabilita typov buniek, počet typov buniek v organizme, podobnosti génovej expresie v rozličných typoch buniek, fakt, že vývin z oplodneného vajíčka sa organizuje prostredníctvom rozvetvených cestičiek bunkovej diferenciácie, aj mnohé iné aspekty diferenciácie, to všetko je dôsledkom vlastností sebaorganizácie, ktorá je hlboko zakorenená v komplexných regulačných sieťach. **Všetky aspekty diferenciácie sa tak javia ako vlastnosti komplexných paralelne fungujúcich systémov, ktoré sú vnútornou vlastnosťou usporiadanej živej hmoty.** Prírodný výber potom zohráva v evolúcii iba druhoradú úlohu.



Kauffman also treads D'Arcy Thompson's ground and considers **the second fundamental problem in developmental biology: morphology**. The actual morphologies of organisms must also be viewed as a collaboration between the self-ordered properties of physicochemical systems together with the action of selection. Oil droplets are spherical in water because that is the lowest energy state. The membrane of a cell, a bilipid structure, forms spherical closed surfaces because that is its lowest energy state. Other aspects of spatial order in organisms reflect dissipative structures rather like whirlpools, which require a continuous flow of matter and energy to maintain the form. **Thus the genome's capacity to generate a form must depend on very many physicochemical processes constituting a panoply of developmental mechanisms beyond the sheer capacity of the genome to coordinate the synthesis of specific RNA and protein molecules in time and space. Morphology is a marriage of underlying laws of form and the agency of selection. The task is to find the laws and hallow the marriage.**

Jedným z najväčších kresťanských mysliteľov bol Tomáš Akvinský, ktorý sa pokúsil zostaviť logické dôkazy existencie Boha. Jeden z jeho dôkazov tvrdí, že Boh je pôvodnou príčinou všetkých vecí, takže je ich stvoriteľom. Vychádza z názoru, že všetko, čo má určitú organizáciu a štruktúru, muselo byť na počiatku niekým stvorené. Pokiaľ má niečo určité usporiadanie, potom musel byť niekto, kto toto usporiadanie navrhol.

Ako však vyplýva z predchádzajúcich strán, súčasná veda ukazuje, že hmota je schopná sama seba organizovať a vytvárať štruktúry. Tak sa možno bude dať vysvetliť vznik života ako sebaorganizujúci sa proces.

Sebaorganizácia je proces, pri ktorom organizácia určitého systému rastie spontánne, čiže bez ovládania prostredím či zásahom nejakého iného vonkajšieho systému.

Sebaorganizácia je procesom evolúcie, pri ktorom je vplyv prostredia minimálny a vývoj nových, zložitých štruktúr prebieha iba pre systém samotný. Sebaorganizácia je spôsobená procesmi vnútornej variácie, ktoré označujeme ako "fluktuácia" alebo "náhodný šum". Hein von Foester odhalil princíp, na základe ktorého tieto procesy fluktuácie vytvárajú selektívne udržiavané usporiadané konfigurácie. Ilya Prigogine objasnil princíp, akým vzniká "poriadok z fluktuácií". Oba tieto princípy sú zvláštnym prípadom princípu výberovej mnohotvárnosti.

Ale ako dospel Kauffman k svojej teórii o úlohe sebaorganizácie hmoty pri vzniku a vývoji života?

"Súčasne nám však **matematika, fyzika, chémia a biológia** odhaľujú, aká veľká môže byť sila sebaorganizácie. Tieto poznatky obsahujú aj implikácie pre pôvod života ako takého, a tiež pre pôvod poriadku v ontogenéze každého organizmu"...



Matematika

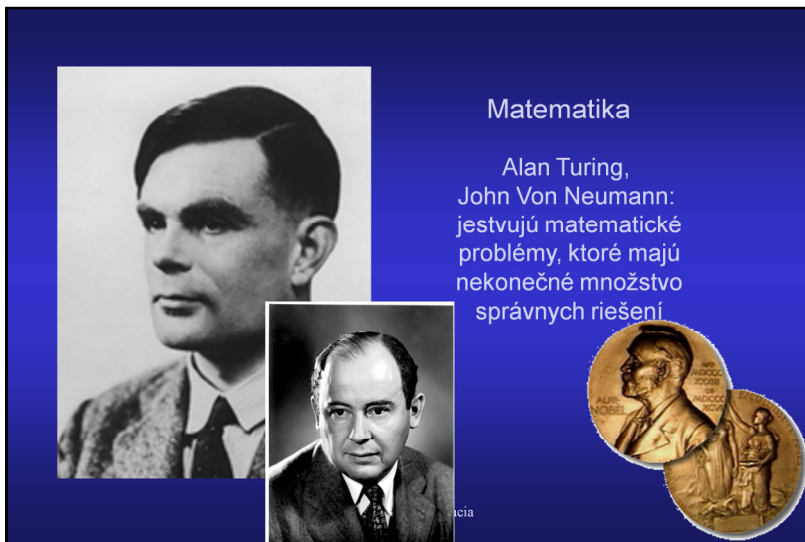
David Hilbert, Paríž 1900:
každý matematický problém
je riešiteľný

Aristoteles:
zákon vylúčenia tretieho

Ontogenéza a evolúcia

11

Aristotelov zákon vylúčenia tretieho hovorí o tom, že o pre každý výrok musí platiť, že je buď (1) pravdivý, alebo (2) nepravdivý. Tretia možnosť nejestvuje. Hilbert mal ambície dokázať, že matematika je taký exaktný, nástroj, že sa ním dá vypočítať všetko, pričom platí, že každý problém má iba jedno správne riešenie. Podobnosť s redukcionizmom nie je čisto náhodná.



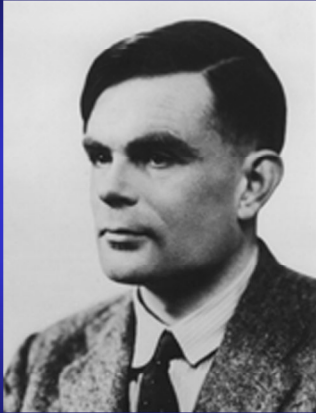
Matematika

Alan Turing,
John Von Neumann:
jestvujú matematické
problémy, ktoré majú
nekonečné množstvo
správnych riešení

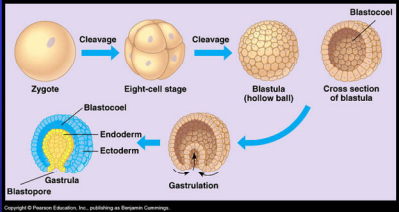
Po týchto matematických objavoch sa do popredia vedy dostávajú nelineárne javy, čiže javy, ktoré nemožno vypočítať ani predpovedať z informácií, ktoré máme práve k dispozícii. Odtiaľ je už len krok k sebaorganizácii.

Samoorganizace dokazuje, že druhý zákon termodynamiky není pouze šipkou času, ale je zdrojem časových cyklů a prostorových struktur. Tento jev těsně souvisí s nelineárními dynamickými systémy s **deterministickým chaosem**. Chaos zde neznámá pouhé rozrušení řádu, ale spíše jeho **zvláštní formu**. V chemických hodinách se na chaos nahlíží jako na posloupnost barevných změn. Přívlastek "deterministický" naznačuje, že tento chaos má skryté formy uspořádání. Kolem nelineárních dynamických systémů a deterministického chaosu vznikla nová vědecká oblast, označovaná termínem "nelineární věda", díky níž se objevila "nová fyzika", která se snaží realitu nerozdělovat na jednotlivé části, jak to fyzika činila až dosud, ale postihnout realitu jako celek. Matematika k nelineární vědě dospěla nejen prostřednictvím fyziky, ale také studiem fraktální geometrie a hledáním řešení některých nelineárních diferenciálních rovnic, které nelze řešit explicitně.

Pro toho, kdo zná pouze rovnovážnou termodynamiku, je značně překvapující, že v dynamických systémech **daleko od rovnovážného stavu** se objevuje vysoký stupeň **uspořádanosti**. Rozsáhlé shluky molekul se chovají koordinovaně jak v prostoru tak v čase. Takové struktury Ilya Prigogine označil jako "disipativní struktury", protože vznikají díky výměně energie a hmoty systému s okolím a tím dochází k celkovému růstu entropie, což se označuje obecně jako disipace. Složitá a vzájemně závislá procesy, které vedou ke vzniku disipativních struktur, se označují jako samoorganizace.



Alan Turing



Ontogenéza a evolúcia
13

Turing sa pritom zaujímal o vzájomné súvislosti medzi biochemickou podstatou života a spôsobmi, ako rozmanité tvary a štruktúry organizmov vznikajú. Okrem iného ho zaujímal aj veci týkajúce sa priamo ontogenézy, najmä to, akými mechanizmami dochádza k diferenciácii pôvodne rovnakých buniek do rôznych typov buniek tvoriacich rôzne orgány. (Ako vidieť, Kauff man nie je prvým ani posledným matematikom, ktorému vrta v hlave jedna z najväčších záhad života.) Jednou z hlavných Turingových hádaniek bolo, ako môže z pôvodne symetrického útvaru – guľôčky buniek, ktorá vzniká po oplodnení procesom gastrulácie vzniknúť niečo, čo má presne definovaný hlavový a chvostový koniec tela, čiže celkom iné usporiadanie s presne stanovenou orientáciou a dvojstrannou symetriou. Veď ak je zárodok mnohobunkového organizmu spočiatku guľôčkovitý, dalo by sa na základe poznania „klasických“ chemických reakcií riadiacich ontogenetické procesy očakávať, že všetky organizmy budú mať aj v dospelosti tvar akýchsi guľovitých kvapiek. Turing však prišiel na to, že vďaka náhodným výkyvom (fluktuáciám) sa môže pôvodná guľovitá symetria narušiť. Urobil tak významný objav, a to, že nelineárne efekty v chemických zlúčeninách môžu viesť k sebaorganizácii hmoty do rozmanitých priestorových útvarov. Formuloval matematický návod oscilačných reakcií, ktoré nastávajú vtedy, keď sa systém ocitne ďaleko od rovnováhy a dosiahne takzvaný bod bifurkácie, pri ktorom začínajú vznikať disipatívne štruktúry. Sú to presne tie bifurkácie, ktoré podľa teórie saltatorickej ontogenézy zohrávajú takú významnú úlohu pri vývine mnohobunkových organizmov.

Zdroj: Vladimír Kováč, 2007: Pánom života je čas. PT Albert Marenčin, Bratislava, s 120-121.



Fyzika

Ilya Prigogin:
 nelineárne javy
 nerovnovážna termodynamika
 disipatívne štruktúry
 deterministický chaos
 komplexita



Ontogenéza a evolúcia

Hlavním výsledkem Glansdorffovy a Prigoginovy práce je závěr, že druhý zákon termodynamiky dovoluje vznik uspořádanosti. V roce 1977 obdržel **Ilya Prigogine** Nobelovu cenu za chemii za přínos k rozvoji nerovnovážné termodynamiky.

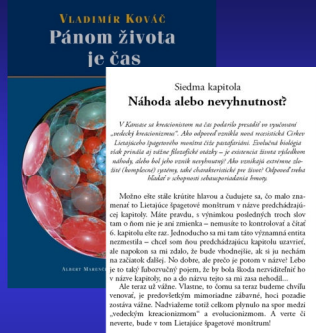
Samoorganizace obvykle souvisí se složitějšími, nelineárními jevy, než s relativně jednoduchými procesy. Všechny projevy nelinearity (limitní cykly, deterministický chaos, citlivost na počáteční podmínky, disipativní strukturování) lze vysvětlit součinností kladných a záporných zpětných vazeb. Některé variace působí společně (projevují se jako autokatalytický růst), jiné variace se vzájemně potlačují. Oba typy zpětných vazeb ovlivňují přírodní výběr. Kladná zpětná vazba zvětšuje počet konfigurací (až do vyčerpání jejich zdrojů), záporná zpětná vazba konfigurace stabilizuje. Interakce mezi oběma vazbami, kdy variace jistými směry jsou posíleny a jinými směry naopak potlačeny, mohou vést k chaotickému chování, které se může velmi rychle vyvíjet, dokud není dosaženo některé stabilní konfigurace (atraktoru).

V chemii se nelineární chování systému projevuje tehdy, když produkt **katalytické reakce** je **katalyzátorem vlastní produkce**. Jde o kladnou zpětnou vazbu, kterou lze popsat diferenciální rovnicí

$$\frac{dx(t)}{dt} = a \cdot x(t) + b$$

kde $x(t)$ představuje množství produktu v časovém okamžiku t . Poprvé takové jevy z matematického hlediska zkoumal **Alan Turing**. Své myšlenky shrnul ve své práci publikované v Philosophical Transactions of the Royal Society Part B v roce 1952. Turing se zajímal o vzájemné souvislosti mezi biochemickou podstatou života a prostředky, jimiž vznikají tvary, struktury a jsou realizovány biologické funkce organismů. Zajímalo ho mimo jiné, jaké jsou mechanismy diferenciací stejných buněk v různé orgány. Turing ukázal, že může nastat určité porušení symetrie díky náhodným fluktuacím. Turingovy závěry ale nevedly k vysvětlení struktur, jako jsou ulity plžů nebo barevné vzory hadích kůží. Autor dva roky po vydání svého článku o morfogenezi spáchal sebevraždu.

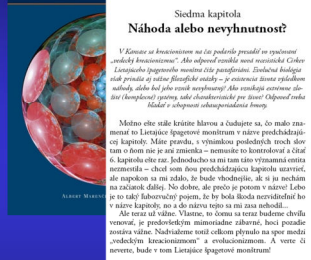
Patnáct až dvacet let po Turingově smrti zůstávala jeho práce téměř bez odezvy. Turing musel zvládnout nelineární rovnice. Zastával ale názor, že matematika platí v lineárních případech chování systémů pouze za určitých podmínek. Tím se nemohl dostat za první kritický bod, kdy se systém ocitne mimo rovnovážný stav.



Živé bytosti, ale aj celé ekosystémy, sú vo svojej podstate fyzikálne systémy vyznačujúce sa vysokou mierou usporiadania hmoty – to znamená, že ich stav je veľmi vzdialený stavu maximálnej entropie = ďaleko od rovnováhy.

Vlastne, dokonca to znamená aj to, že celé umenie prežiť sa skrýva v schopnosti udržiavať svoje telo v stave ďaleko od rovnováhy. Keď túto schopnosť stratíme, náš život sa skončí. Až smrťou sa paradoxne naše telo ako fyzikálny systém začína bližiť rovnováhe...

VLADIMÍR KOVÁČ
Pánom života
je čas



Siedma kapitola
Náhoda alebo nevyhnutnosť?

*V Kintase sa kreacionizmom netia podozrivá presvedčenie vo vzťahoch
vedecký kreacionizmus? Ako odpoveď vznikla nová vedecká úroveň
Lazarusovej hypotézy možno čítať nasledovne: Zjednotenie biológie
súčasť pravej aj ľavej planétnej stability – je existencia životu vzhľadom
náhodou alebo iba jeho výsledkom? Ako vznikajú ekosystémy a ich
komplexní systémy, ako charakteristické pre život? Odpoveď nájsť
Málokto sa pripustí odhaliť pravdu.*

Možno ešte stále krátime hlavu a čudujete sa, čo máto zra-
tujeme na Lazarusovej hypotéze možnosti v rámci predchádzajú-
cej kapitoly. Máte pravdu, a významnosť posledných riadkov slo-
v tam o tom nie je ani zmrlička – nemáme na kontrolovať a čítať
6. kapitola ešte raz. Jednoduchosť sa mi tam táto výnamná činnosť
nemenná – chcel som tiež predchádzajúca kapitola uzavrieť,
ale napokon sa mi zdalo, že bude vhodnejšie, ak si ja nechám
na záver ďalšie. No dobre, ak preto je pojem v názve? Lebo
je to stále fabrikovať pojem, že by bola škoda nevedieť, čo
v názve kapitoly, no a čo názvu tejto sa mi zasa nehodí...
Ale teraz už viete, Vlastne, na čom sa teraz budeme zvládla
venovať, je predovšetkým mimoriadne zvláštne, hoci poradie
postupne viete. Nadviažeme totiž celkom prirodzene na svoje modré
vedeckým kreacionizmom a evolucionizmom. A verte či
neverte, bude v tom Lazarusovej hypotéze možnosti!

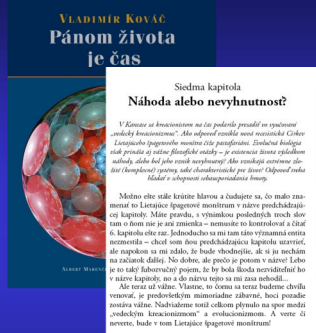
druhý termodynamický zákon

zdroj a tok energie v ekosystémoch:
entropia

Nerovnovážna termodynamika
lineárna a nelineárna

Nepoznáme nijaké jednoduché
zákony, ktoré by nám pomohli
predpovedať ďalší termodynamický

vývoj systému, hoci s jednou vecou si predsa len môžeme byť istí:
vždy dôjde k nárastu entropie, čo sa nazýva aj **disipácia energie**.



disipácia v termodynamických procesoch ďaleko od rovnováhy = nielen zvyšovanie entropie systému...

...ale aj , proces opačný – vytváranie osobitných štruktúr vyznačujúcich sa neočakávane vysokou mierou usporiadania!

Systémy, ktoré sa nachádzajú ďaleko od rovnováhy, sa tak stávajú kolískou komplexných štruktúr, pričom v procese, ktorý tieto štruktúry generuje, sa skrýva tajomstvo sebausporiadania hmoty. Podľa Prigogyna sa nazývajú **disipatívne štruktúry**.

Ontogenéza a evolúcia

17

Chémia

Boris Pavlovič Belousov
A. M. Žabotinskij:

autokatalytická
oscilačná reakcia



Na počátku 50. let 20. století Boris Pavlovič Bělousov se snažil odhalit podstatu Krebsova cyklu pomocí jeho napodobení. Krebsův cyklus je konečným procesem v buněčném metabolismu, v němž dochází k přeměně trikarboxylových kyselin (kys. oxaloctová, citronová, akonitová, isocitronová, oxaljantarová, ketoglutarová, jantarová, fumarová, jablečná) za vzniku chemické energie. Tento cyklus souvisí s ostatními metabolismy látek (glykolýzou, pentosovým cyklem, metabolismem lipidů atd.) pomocí acetylkoenzymu A. Bělousov použil kyselinu citronovou, bromid draselný pro napodobení oxidace kyseliny citronové, kyselinu sírovou a katalyzátor na bázi iontů ceru. Roztok začal oscilovat mezi bezbarvým a žlutým stavem, které odpovídaly odlišným formám iontů ceru. Bělousov tak jako první pozoroval vznik prostorových struktur.

Bohužel v době objevu v roce 1951 byl Bělousovova práce odmítnuta a objevila se až v roce 1958. Nikdo však tomuto důkazu samoorganizace nevěnoval pozornost. Až v 60. letech Anatolij Žabotinskij jako absolvent biochemie Moskevské státní univerzity zopakoval Bělousovovy základní reakce a ionty ceru nahrazoval iontovými činidly. Později Bělousovův objev a množství variant vyvinutých Žabotinským byl označen jako Bělousovova-Žabotinského reakce.



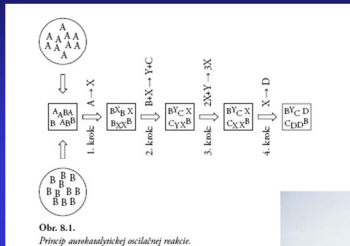
V roce 1968 se západní vědci poprvé dověděli o existenci tzv. Bělousovovy-Žabotinského reakce a začali porovnávat oscilace vyskytující se v biologii. Takovými oscilujícími reakcemi jsou mimo jiné glykolýza a fotosyntéza. V roce 1968 Ilya Prigogine a René Lefever ve svém článku, který publikovali v časopise *Journal of Chemical Physics* 48, str. 1695, formulovali a analyzovali model chemického reakčního systému, který měl zabudované mechanismy nutné pro vznik jevu prostorové samoorganizace. Tento model nazval John Tyson v roce 1973 jako "bruselátor" podle místa vzniku. Prigogine a Lefever ukázali, že samoorganizace se objevuje v soulase s Glansdorf-Prigoginovým kritériem pro termodynamickou evoluci. Jejich model byl tím nejjednodušším modelem, jaký bylo možno definovat. Později Lefever a Nicolis ukázali, že bruselátor je schopen vykazovat pravidelné oscilace v koncentracích některých sloučenin.

Bruselátor je standardním modelem pro studium disipativních struktur v nelineárních chemických systémech. Lze jej popsat pomocí následujících chemických reakcí, kde A a B jsou výchozí sloučeniny a E je výsledný produkt:

krok1: $A \rightarrow X$; krok2: $B + X \rightarrow Y + D$; krok3: $2X + Y \rightarrow 3X$; krok4: $X \rightarrow E$

Předpokládá se, že koncentrace výchozích produktů A, B je zcela konstantní (jsou dodávány z vnějšího prostředí) a koncentrace všech ostatních látek závisí na uvedených reakcích. Nelineární povaha bruselátoru se projevuje v reakci k3, kdy dvě molekuly X vedou ke vzniku tří molekul X. Takto definovaný bruselátor je popsán soustavou vázaných diferenciálních rovnic.

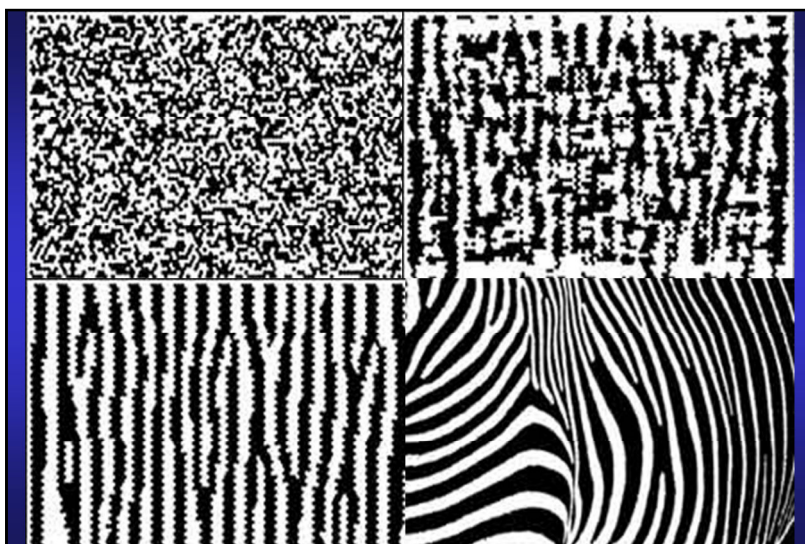
Podrobný matematický popis jejich řešení je obtížný, ale snadno si jej lze přiblížit barevně, pokud by látka X byla například červená a Y byla modrá. V rovnovážném stavu vznikne fialová směs molekul. Malé změny koncentrace A, B od rovnovážných hodnot nezpůsobí vychýlení systému z rovnovážného stavu. Pokud ale přísun látek A, B přesáhne určitou úroveň, začne výsledná reagující směs měnit svoji barvu v pravidelných časových intervalech od červené k modré. Tato oscilace se nazývá Hopfova nestabilita. Pokud nejsou do směsi přidávány látky A, B, směs přestane měnit barvy a vznikne znovu fialová směs molekul.



Obr. 8.1.
Princíp analyticky ukladanej matiky.



20



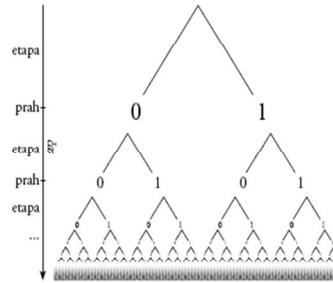
Bruselátor je pochopiteľne pouze matematickým modelom, ale chování popsané bruselátorem je pozorovateľné u řady jevů, mimo jiné v Bělousovově-Žabotinského reakci.

Koncepcie disipativních struktur se stala základem řady oborů. Věda rozřešila problém, jak se postavit proti čistě matematickému pohledu na problematiku nelineárních diferenciálních rovnic. Chemie časově periodických reakcí se brzy stala středem zájmu pro poměrnou jednoduchost realizace. Toto studium připravilo půdu pro vývoj matematických modelů biologických procesů v jediné buňce a v mnohobuněčných systémech.

Jakmile se matematické metody studia nelineárních systémů zdokonalily a staly se široce dostupné, objevily se ve fyzice, chemii a biologii, kde vedly ke vzniku řady interdisciplinárních oborů. Rozvoj těchto oborů vyžadoval matematický popis pomocí nelineárních diferenciálních rovnic, které umožnily popsat různé zpětné vazby. Zpětná vazba se objevuje nejen v chemických, ale také v biologických, sociologických, ekonomických a mnoha dalších modelech.

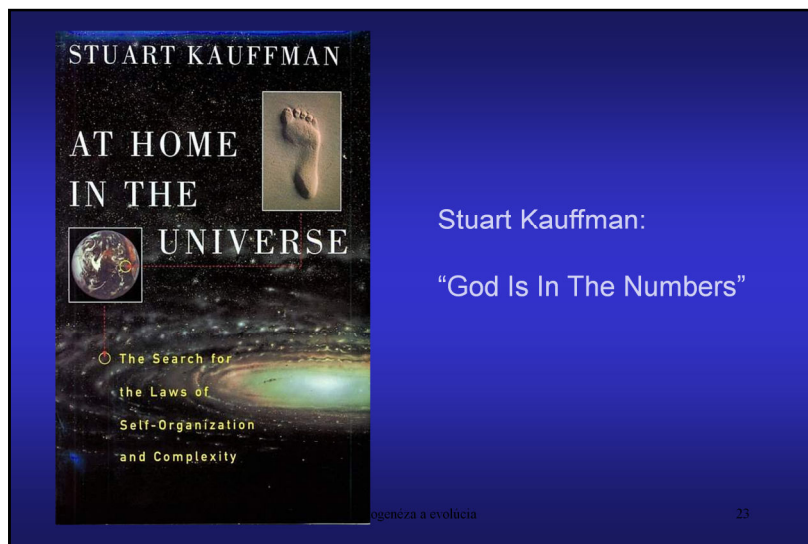
Tieto poznatky viedli vedcov k vytvoreniu tzv. **Celulárnych automatov**. Sú to počítačové programy alebo hardwarové zariadenia, ktoré sa skladajú z pravidelnej mriežky alebo poľa buniek. Každá bunka obsahuje súbor inštrukcií, a to prostredníctvom **algoritmu**, ktorý bunke hovorí, ako má reagovať na správanie susedných buniek, pričom automat postupuje od jedného okamihu diskretného (oddeleného) času k ďalšiemu. Pred spustením takého programu programátor netuší, čo bude výsledkom daného procesu. Automaty totiž generujú rozmanité obrazce, pričom ich fungovanie pripomína procesy sebaorganizácie. Vzniknuté obrazce často nápadne pripomínajú vzory známe z prírody - napr. Strakaté sfarbenie mačiek či pásy zebry.

Ontogenéza a sebausporiadanie hmoty



Obr. 8.2.

Schematické znázornenie všetkých potenciálnych ciest, akými môže prebiehať vývin nelineárneho systému z počiatočného stavu do konečného stavu (na hranicu deterministického chaosu). Systém sa vyvíja jednotlivými krokmi, ktoré sú jasne od seba oddelené prahmi. Prahy sú determinované anaktormi. Vždy, keď systém dosiahne prah ďalšieho anaktoru, ocitne sa v stave bifurkácie – má pred sebou dve úplne rovnocenné možnosti ďalšieho vývinu. Základné čry konečného stavu systému sú predurčené (determinované), no potenciálne cesty, akými ho systém môže dosiahnuť, sú veľmi rozmanité a ich je počet je daný počtom bifurkácií.



Stuart Kauffman:

“God Is In The Numbers”

At Home in the Universe: The Search for the Laws of Self-Organization and Complexity

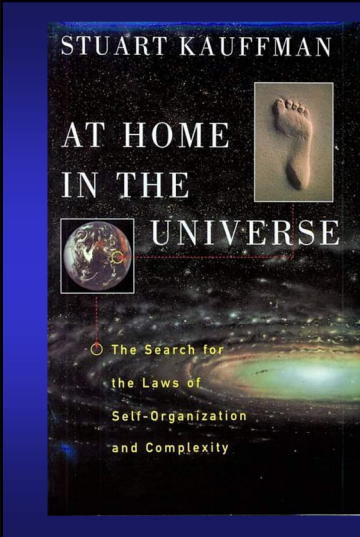
Stuart A. Kauffman 1995, Oxford University Press

We live in a world of stunning biological complexity. Molecules of all varieties join in a metabolic dance to make cells. Cells interact with cells to form organisms; organisms interact with organisms to form ecosystems, economies, societies. Where did this grand architecture come from? For more than a century, the only theory that science has offered to explain how this order arose is natural selection. As Darwin taught us, the order of the biological world evolves as natural selection sifts among random mutations for the rare, useful forms. In this view of the history of life, organisms are cobbled-together contraptions wrought by selection, the silent and opportunistic tinkerer. Science has left us unaccountably improbable accidents against the cold, immense backdrop of space and time.

Thirty years of research have convinced me that this dominant view of biology is incomplete. As I will argue in this book, natural selection is important, but it has not labored alone to craft the fine architectures of the biosphere, from cell to organism to ecosystem. Another source - **self-organization** - is the root source of order. The order of the biological world, I have come to believe, is not merely tinkered, but arises naturally and spontaneously because of these principles of **self-organization** - laws of complexity that we are just beginning to uncover and understand.

The past three centuries of science have been predominantly **reductionist**, attempting to break complex systems into simple parts, and those parts, in turn, into simpler parts. The reductionist program has been spectacularly successful, and will continue to be so. But it has often left a vacuum: How do we use the information gleaned about the parts to build up a theory of the whole? The deep difficulty here lies in the fact that the complex whole may exhibit properties that are not readily explained by understanding the parts. The complex whole, in a completely nonmystical sense, can often exhibit collective properties, "emergent" features that are lawful in their own right.

This book describes my own search for laws of complexity that govern how life arose naturally from a soup of molecules, evolving into the biosphere we see today. Whether we are talking about molecules cooperating to form cells or organisms cooperating to form ecosystems or buyers and sellers cooperating to form markets and economies, we will find grounds to believe that **Darwinism is not enough**, that **natural selection cannot be the sole source of the order** we see in the world.



Posledné tri storočia vedy sú prevažne redukcionistické – prevláda snaha rozložiť komplexné systémy na jednoduché časti a tie následne na ešte jednoduchšie časti.

Redukcionistický program je obdivuhodne úspešný a bude aj naďalej. Často však po sebe zanecháva prázdnotu: ako využiť informáciu pozbieranú z kúskov na vybudovanie teórie o celku?

ontogenéza a evolúcia 24

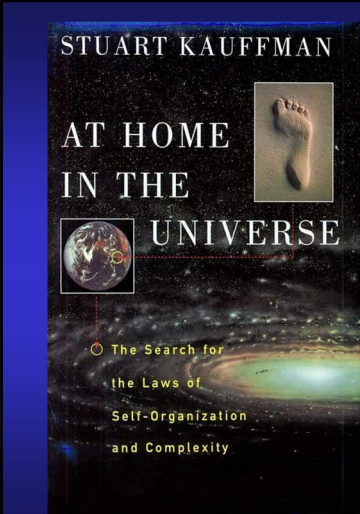
The secret of life is auto-catalysis

review by **Gert Korthof**, version 1.5e; updated 6 Aug 2000

Kauffman's autocatalytic set theory is a revolutionary theory about the origin of life. It embodies a revolutionary new way of thinking about life. We could compare what Kauffman did for the theory of evolution, with what Mendel did for genetics. Mendel introduced mathematical methods and postulated abstract 'factors' at a time that genes, DNA and chromosomes were unknown. Nothing was known about the material basis of heredity. Naturally scientists at the time didn't like those abstract hereditary 'factors' and didn't know what to think about 'factors' that were transmitted according to mathematical rules such as 1 : 3 ratio or even ratio's like 9:3:3:1. If Mendel had those 'factors' in a test-tube, he would be believed immediately. His work needed to be rediscovered and eventually the science of genetics grew out of it. Kauffman introduced mathematical theories to attack the problem of the origins of order and postulated abstract autocatalytic sets, genetic networks and fitness landscapes. Again people hesitate or reject it.

Autocatalytic sets

Autocatalytic set theory' is a theory about the origin of life. Autocatalytic set theory is an absolute simple model with absolutely non-trivial properties. It is a very useful model because it is implemented in a computer program (the model is executable). The idea behind the model is that life is a collection of molecules catalysing each others formation. (In §4 more about reductionism!). And further that every molecule (peptide, protein) has the capacity to catalyse some reaction. The model enables us to explore what happens when molecules in a prebiotic chemical mixture are catalysing each others formation. This is impossible without the help of a computer program. The model is without knowledge of which molecules need to be present in the mixture, and without knowledge which specific molecule is catalysing which reaction. An important assumption is that, if enough different molecules are present, molecules will catalyse the formation of other molecules by chance. Thereby becoming members of the set. In a collectively auto-catalytic set the molecules speed up the very reactions by which they themselves are formed. Now, if there are enough different molecules and (pokračovanie na ďalšej strane)



STUART KAUFFMAN

AT HOME
IN THE
UNIVERSE

The Search for
the Laws of
Self-Organization
and Complexity

„Zásadný problém je totiž v tom, že zložitý celok môže vykazovať vlastností, ktoré sa nedajú vysvetliť na základe chápania jednotlivých častí.

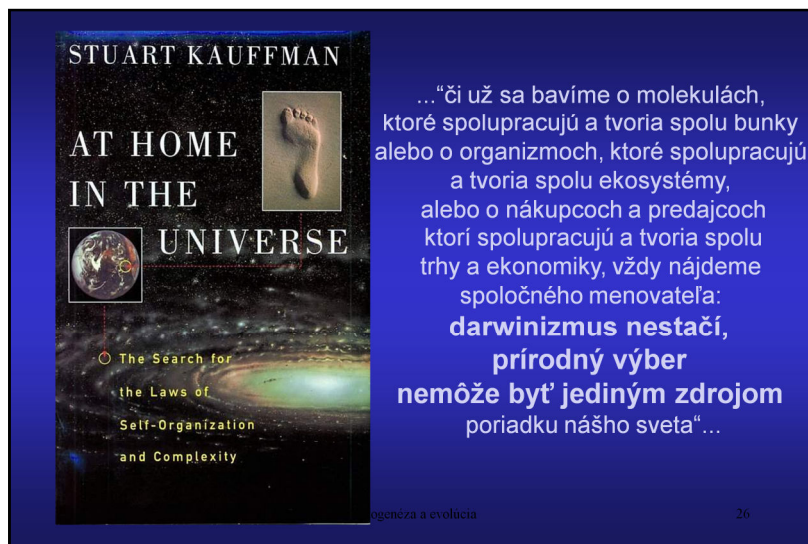
Zložitý celok, a nie je na tom nič tajomné, môže často vykazovať kolektívne vlastnosti, **emergentné** črty, ktoré sa riadia svojimi vlastnými zákonmi.“

ontogenéza a evolúcia 25

assuming a fixed probability that any reaction in the mixture is catalysed by at least one molecule in the mixture, the model demonstrates that the mixture will suddenly transform into a collectively autocatalytic whole. In other words: there is a threshold. The formation of every member is catalysed by at least one other member. And so the set as a whole is stable. Translated into 'real-life': assuming enough food and energy, high enough concentrations and a fixed probability for chance catalysis, the mixture of molecules can transform into a stable and self-sustaining set. In other words: will be alive! So, what we have here is nothing less than a new and revolutionary theory of the origin of life from a random mixture of chemicals without the need for DNA and natural selection! And at the same time it introduces a completely new source of order in biology. A deeper source of order than the specifics of current metabolism. I'll return to this later in my review.

Neo-Darwinism is incomplete

Neo-Darwinism is not enough to explain order of the living world: cells, organisms, ecosystems. Much of the order in organisms may not be the result of selection at all, but of the spontaneous order of self-organized systems (autocatalytic sets). So the combination of Natural Selection and Mutation cannot be the sole source of order. The role of Natural Selection is that it acts upon natural order. Kauffman is not anti-Darwinist in the sense that he rejects the existence of natural selection. It does play an important role in evolution, but he maintains that it cannot be the sole source of order. "We stand in the need of a new conceptual framework that allow us to understand an evolutionary process in which self-organization, selection and historical accident find their natural places with one another." (p150). So it's more appropriate to describe Kauffman as opposed to ultra-Darwinism [1]. Kauffman's criticism is motivated by his knowledge of other sources of order, Darwinists and biologists didn't know about.



Biology has become a deeply historical science

Since Darwin, characteristics of organisms are explained by common descent, and common descent implies almost always historical accidents. Because in neo-Darwinism the existence and the evolution of life depends so much on random events, life itself is seen as an accident. An improbable accident. "We are not supposed to be here !" (p43). "Biology has come to seem a science of the accidental" (p7). "Many features of organisms are not merely historical accidents." (p25). Biology need not be a historical science, according to Kauffman. He tries to find natural laws. Laws of complexity. Kauffman: "We are no accidents, but a natural law created us". "If life were bound to arise, not as an incalculably improbable accident, but as an expected fulfilment of the natural order, then we truly are at home in the universe." (p20). This explains the title of his book. It is clear that if the origin of life is an improbable event, we are not going to have a convincing scientific explanation. However, if we can find laws, we could explain the origin of life.

Please note that Kauffman did not eliminate randomness. Kauffman's theory of autocatalytic sets is based on the probability that a randomly chosen protein catalyses a randomly chosen reaction (p147). And further: the fortunate set of proteins becoming an autocatalytic set, is a random subset of all possible autocatalytic sets [2]. And in so far as I understand it, the particular metabolism of the first living cells, must have been a frozen accident and there are millions of other possible metabolisms life could use. However, the theory of autocatalytic sets is a law, albeit a statistical law.

Reductionistic nature of neo-Darwinism

Kauffman's answer to reductionism is: holism. Kauffman's holism is directed against the gradualism and gene and DNA centered view neo-Darwinism. Holism, because the whole has properties that parts do not have: the emergent properties. This is a non-mystical holism. Holism means that if complexity increases beyond a threshold, life emerges suddenly as a whole, not simple but complex from the start and not gradual, but suddenly (p24,47,69).

If all properties of living systems depend on every detail of their structure, then there is no hope of understanding living systems. Life is not to be located in its parts, but in the collective emergent properties of the whole.



Viac v diele Vladimír Kováč, 2007: Pánom života je čas. PT Albert Marenčin, Bratislava, s 99-127.



Can gradualism work?

“One of the most important presuppositions of Darwin's entire thesis is gradualism, the idea that mutations to the genome can cause minor variations in the organism's properties, which can be accumulated piecemeal, bit by bit, over the eons to create the complex order found in the organisms we observe.” (p151).

This criticism sounds familiar to those who read Denton, Behe, or virtually any creationist. Kauffman has his own reasons to doubt gradualism: the complexity paradigm. Can all organisms be “improved” and ultimately assembled by accumulating a succession of minor modifications? Can we extrapolate from modifying certain characteristics by artificial selection to all characteristics of all organisms in nature? According to Kauffman, Darwin almost certainly was wrong, because in some [4] complex systems any minor mutation causes catastrophic changes in the system, instead of improvements. Kauffman illustrates this with mathematical examples and tries to characterize what kinds of complex systems can be built by an evolutionary random search in a reasonable time.

Gradualism is closely connected with reductionism. If an organism is the sum of relatively independent parts, it will be easy to mutate the parts stepwise without adverse effects on the whole. However when every component of an organism is strongly connected to all other components, a minor mutation in one component influences all other components.

Summa summarum: podľa Darvina a neodarwinistických názorov je život vo vesmíre i jeho formy na Zemi dielom náhody, podľa Kauffmana je život vo vesmíre i jeho formy na Zemi nevyhnutnosť vyplývajúca z fyzikálno-chemických vlastností hmoty. Ide o hlboký rozdiel, a to aj filozofický, lebo každá z týchto koncepcií ponúka diametrálne odlišné pohľady na pôvod našej vlastnej existencie - existencie človeka.