

COMPLEXITY

The emerging science at the edge of order and chaos
M.Mitchell Waldrop, Penguin books,1994,(1.vydání 1992)

Následující poznámky jsou výběrem myšlenek z uvedené knihy. Názvy kapitol jsou zachovány. Většinou se jedná o vyprávění týkající se jednotlivých vědců a okruhu jejich profesionálního zájmu, kterým přispěli do tvořivé atmosféry Santa Fe Institute.

- x x x -

Vznikající věda o "komplexnosti" nemá zatím definici a i její předmět se těžko vymezuje. Výzkum se totiž zabývá problémy, jež leží v podstatě řady definovaných oborů a záměrně ruší zavedené hranice (politika, ekonomie, biologie, paleontologie, sociologie, psychologie, problémy jako jsou podstata a vznik života, vývoj, umělá inteligence, neuronové sítě, ekologie, kosmologie). Prostě jde o přístup ke studiu složitých systémů, které se vyznačují spontánní sebeorganizací, bohatostí interakcí jak uvnitř, tak i s vnějškem. Něco jako byla obecná teorie systémů - ale s daleko dynamičtějším přístupem. Komplexní systémy mají - jak se zdá - schopnost udržovat rovnováhu mezi chaosem a řádem. "Okraj chaosu a řádu je místem, kde život má ještě dosti stability aby se mohl udržet a přitom dosti volnosti ke tvořivým změnám, aby to ještě byl život".

Komplexnost, adaptace, kvalitativní změny na okraji chaosu - to jsou temata společná více vědním oborům a zdají se být rostoucímu počtu vědců něčím více, než jen analogiemi. V polovině 80.let vznikl ve státě Nové Mexiko "Santa Fe Institute" jako mezioborová instituce sdružující původně některé vědce z Los Alamos National Laboratory s ostatními odjinud, podobně smýšlejícími. Setkali se tak významní nositelé Nobelových cen různých oborů s mladými, neortodoxně myslícími nadšenci v seriích konferencí a výzkumných projektů. Zakladatel, George Cowan je přesvědčen, že společný teoretický rámec komplexního přístupu ke studiu problémů lidí i přírody s matematickými nástroji počítačů a teorie chaosu jsou základy vědy, která převáží jako způsob pohledu na věci v 21.století.

1.The Irish Idea of a Hero.

(William Brian Arthur - ekonomie)

Po třech staletích analytického přístupu k předmětu svého bádání vědci pomalu obracejí svou pozornost k otázce, jakým způsobem nekonečně malé částice (atomy, molekuly DNA, nervové buňky, ekonomické subjekty) "drží pohromadě", integrují se do smysluplných, funkčních a přizpůsobujících se a reprodukcujících se celků. Jak v našem mozku, tvořeném miliardami propojených nervových buněk, vznikají pocity, myšlenky, představa účelu a vědomí? Proč např. ve fyzice, kde se vědci snaží pochopit důsledky matematické teorie chaosu a jímavou krásu fraktálů se jednoduché částice pojednou chovají naprosto nepředvídaně (vzhledem k jednoduchým zákonitostem jejich chování) a "spontánně" se shlukují do větších a složitých celků jako jsou hvězdy, galaxie či sněhové vločky?

Vypadá to tak, že jsme na prahu syntézy věd do vědy vyššího řádu obecnosti, stejně "tvrdé" jako je fyzika a zcela vycházející z přírodních zákonů. Změna jejího přístupu však je v tom, že namísto hledání stále jednodušších složek, bude se zabývat vznikem a zánikem struktur, jejich změnami. Místo ignorování atypických a nepředvídaných jevů, bude v ní pro

individuální výskyt čehokoliv místo. Namísto úsilí po dosažení vzhledu pomocí zjednodušování, předmět jejího zájmu bude opak - komplexnost.

Teoretičtí ekonomové vycházejí z předpokladu stability trhu, rovnováhy nabídky a poptávky. Nestabilita trhu je iritující představa, protože nejde dobře popsat soustavou rovnic. Avšak ani trh, ani svět jako takový nejsou stabilní a v rovnovážném stavu. V ekonomické teorii universálně platný předpoklad o "klesajících přírůstcích zisku" vysvětluje návrat k rovnováze po zavedení změny na trhu. Arthur však přišel s otázkou - cožpak ve skutečnosti nejsou příklady s "rostoucím přírůstkem zisku"? Tato hereze vůči teorii ekonomické rovnováhy vysvětluje dynamické skoky v ekonomické praxi klasickou teorií nevysvětlitelné.

- Co činí odborníka odborníkem je schopnost vidět spojitosti.
- Je potřeba zjednodušovat jevovou stránku problému tak dlouho, až se člověk dostane na jeho principiální podstatu.
- Belgický fyzik Ilya Prigogin (Nobelova cena 1977) : práce v oblasti nerovnovážné termodynamiky : jak to že a proč je ve světě uspořádanost a struktura - platí-li entropie ? - Sebeorganizující struktury jsou všude přítomny. Schopnost struktur organizovat samy sebe je založena na sebeposilování - tendenci, kdy za vhodných podmínek se malé změny (účinky, přírůstky) násobí. Dochází ke "kladné zpětné vazbě". Pozitivní zpětná vazba je nezbytnou podmínkou změny, překvapující události nebo i vzniku života. Je tím, co za nepředpověditelných situací náhle a ve skocích narušuje univerzální platnost plynulé entropie.

Ekonomie ve starém pojetí ekonomie v novém pojetí

-
- | | | |
|--|---|-------------------------|
| - klesající přírůstky zisků | - časté případy rostoucího přírůstku zisků | |
| - založena na fyzice 19.stol. (ekvilibrum, stabilita, deterministická dynamika) | - založena na biologii (struktura, vzorce, sebeorganizace, životní cyklus) | |
| - jednodílná masa lidí | - soustředění na život jednotlivce, lidé jsou bráni | jako individua a různí) |
| - kdyby neexistovaly vnější vlivy a všichni měli stejné možnosti, dosáhli bychom Nirvány | - vnější vlivy a rozdíly jsou hnací silou. Žádná Nirvána. Systém se stále rozvíjí. | |
| - Prvky jsou množství a ceny. | - Prvky jsou strukturní vzorce a možnosti. | |
| - V tom smyslu, že vše je v rovnováze, neexistuje žádná dynamika. | - Ekonomie je stále ve chvatu. Spěchá kupředu. Její struktury stále vznikají, mění se a zanikají. | |
| - Vidí subjekty jako strukturně jednoduché. | - Vidí struktury jako vnitřním ustrojením složité. | |
| - Ekonomie jako "měkká" fyzika. | - Ekonomie jako věda o složitých | |

systemech.

- Teorie o rostoucích přírůstcích zisku není popřením opačné téze, ale jejím rozvinutím pro speciální případy - ty, kdy panuje nestabilita a nastávají změny. Pak staré moudrosti neplatí.
- Matematické vyjádření např. rovnicemi je užitečné protože vnese do myšlení jasnost. Ukáže, které koncepty a části modelu jsou neúžitečné. Matematika - pokud neslouží jen sama sobě
- destiluje esenci dané věci.
- Je zapotřebí matematický aparát, který umí explicitně vyjádřit dynamiku. Soustavu rovnic, založenou na teorii nelineárních náhodných procesů a ukazujících, jak náhodné malé vlivy vedou díky pozitivní zpětné vazbě k velkým důsledkům.

2. The Revolt of the Old Turks.

(George Cowan - zakladatel Santa Fe Institute)

- Jako instituce (ne politická síla) jsou univerzity neuvěřitelně konzervativní. Posilují "tunelové vidění". Čím blíže je badatel akademickému světu, tím méně existuje týmová spolupráce. Interdisciplinární instituce žalostně selhaly a stagnují. Špičkoví odborníci si dělají každý svoje a skoro spolu nekomunikují. Aby věci fungovaly, je třeba nemít strukturu oddělení, dále mít lidi komunikativní - se "správnou kvalitou mysli", vzrušení a vzájemnou stimulaci, lidi kteří prokázali skutečnou odbornost a tvořivost ve svém poli, otevřenost vůči novým myšlenkám. To je však velmi vzácná kombinace vlastností - zejména mezi prestižními vědci. Lidi

s vynikajícími = hlubokými znalostmi a s otevřenou hlavou. K pohybu vpřed je třeba lidí, kteří dokonale rozumí ortodoxnímu pojetí věci - a když něco na něm kritizují, pak musí dobře vědět přesně co a proč to kritizují.

- Patříčně naprogramované, počítače se staly svými vlastními uzavřenými světy, které napomohly badatelům porozumět mnohem hlouběji skutečnému světu. Modelování se stalo v 80. letech "třetí formou vědy".

- Zaujetí komplexností vede k pochopení toho, že spousta neurčitých a složitých jevů ve světě je pochopitelných pomocí teorie nelineární dynamiky. Celek skutečně může být něco jiného než jen součet svých částí. Je-li tomu tak, pak platí, že každá část si může dělat co chce bez ohledu na to, co se děje kolem.

Pak jsme v oblasti jevů, které lze vyjadřovat soustavami lineárních rovnic (vyjadřovaných přímkami) a lze je pochopit tímto matematickým aparátem. Jako příklad mohou sloužit - zvuk, světlo, některé jevy z ekonomie. Některé jevy se však lineárnímu modelování vymykají - například funkce mozku (zvukový signál a jeho dopad na prožívání emocí), většina složitějších jevů ze světa fyziky, z ekonomie. Vlastně skoro všechno na světě se dá zachytit do nelineární sítě incentive a omezení a jejich vzájemných vztahů. Odpovídajícím matematickým vyjádřením je pak soustava nelineárních rovnic - graficky vyjadřovaných křivkami.

- Prigoginovy sebeorganizující se systémy jsou rovněž řízeny nelineární dynamikou. Nejzajímavějším jevem však je stav chaosu. Malá příčina na jednom místě může mít velké důsledky úplně jinde. Všechno spolu souvisí a často velmi citlivě. Malá nejistota může za vhodných okolností přerůst do stavu, kdy je chování systému zcela nepředpověditelné - do stavu chaosu.

- Vznik "nelineárních věd", "teorie komplexních systémů" - podobnost mezi fyzikou, ekonomikou a biologii. Hledání opětovného "sjednocení" oddělených vědních disciplin.

Renezační vědci 21. století.

- Myšlení a teorie zpracovávání informací jsou v podstatě totožné s problémy v kognitivní psychologii a informatice. Psychologové studují krok za krokem procesy myšlení vlastními metodami, badatelé v oblasti umělé inteligence modelují totéž pomocí počítačů.
- Prof. Murray Gell-Mann, Caltech, Nobelova cena za fyziku : problém k řešení - model rozvoje a pádu starých civilizací k pochopení dlouhodobé udržitelnosti naší vlastní civilizace.
- Univerzum se dá brát jako určitá hierarchie. "Na každé úrovni komplexnosti se objevují zcela nové vlastnosti. A v každé etapě jsou nezbytné zcela nové zákony, koncepty i zobecnění, vyžadující inspiraci a tvořivost stejně velkou, jako v předchozí. Psychologie není aplikovaná biologie a biologie není aplikovaná chemie" (Anderson, 1972).
- V interdisciplinárních seminářích se zjistilo, že každá z oblastí zájmu účastníků má společně to, že daný systém se skládá z mnoha činitelů (agents) - ať už jsou to molekuly, neurony, živé organizmy, spotřebitelé nebo jednotlivé organizace. Ať už byla povaha těchto činitelů jakákoliv, neustále se organizovaly a reorganizovaly do větších struktur skrze střety vzájemného přizpůsobování a soupeření. Tak z molekul vznikaly buňky, z neuronů mozky, živočišné druhy tvořily ekosystém, spotřebitelé a korporace ekonomii atd. Na každé úrovni vznikají nové struktury a tyto struktury se nějak nově chovají. Komplexnost (complexity) je jinými slovy věda o vzniku struktur. A jejím cílem je formulovat zákony vzniku.
- Stávající model ekonomického systému založený na neoklasické ekonomické teorii a vložený do počítače, jakkoliv složitý, neumožňuje dopracovat se návrhů řešení v reálném čase a také za podmínek rizika a neurčitosti. Byl demonstrován příklad modelu globální světové ekonomiky sestávající ze 4 500 rovnic a 6 000 proměnných. Přesto nezahrnoval sociální a politické proměnné - často nejdůležitější.

3. Secret of the Old One.

(Stuart Kaufmann, University of Pennsylvania)

- řád (order) je odpovědí na záhadu lidské existence v univerzu, které se zdá být ovládáno chaosem, náhodami a slepými přírodními zákony. Charles Darwin má naprostou pravdu v tom, že lidé a živí tvorové jsou výsledky čtyř miliard let náhodných mutací, katastrof a boje o přežití - nejsme zde v důsledku božského úmyslu ani mimozemské civilizace. Na druhé straně, Darwinův náhodný výběr není úplným vysvětlením. Darwin nevěděl nic o sebeorganizaci - tendenci hmoty neustále se formovat do složitějších struktur tváří v tvář neustálému působení desintegrujících sil popsanych druhým zákonem termodynamiky. Darwin také nemohl tušit, že tyto síly řádu a sebeorganizace se také týkají živých systémů stejně tak, jako sněhových vloček. Takže příběh života je založen na příležitostných náhodách, ale také na řádu : vnitřní tvořivé vlastnosti hmoty.
- příběh Jacoba a Monoda v r. 1961 - Nobelova cena za práce v genetice (geny jako regulátory, vypínače v genetických okruzích). Jestliže genom je organizován a laděn velmi dokonale, jak mohl evolučně vzniknout jen na základě pokusu a omylu? Pokud by šlo jen o souhru náhod, pak evoluce neměla dosti času k jeho vývoji. Musí být něco jako spontánní tendence k uspořádanosti, která dala vznik organismům spolu s přirozeným výběrem.
- pomocí počítače začal vytvářet modelové sítě jako světelné tabule se zářícími se a zhasínajícími žárovkami, kde vypínače jsou analogie genů. Řídce propojené sítě nejsou správné - Jacob a Monod prokázali, že skutečné geny jsou řízeny několika jinými (dnes se ví, že je to od dvou do deseti.) Hledali vhodný typ sítě, který by se po zapojení nechoval chaoticky - velmi hustě propojené, kde se změnila poloha jednoho "genu" ze "zapnuto" na "vypnuto", reagovaly lavinovitými změnami šířícími se ve vlnách donekonečna -

chaoticky. Zjistili, že sítě sestávající z "genů" s pouze dvěma vstupy typicky neprodukuje tyto nekonečné vlny změn. Nejčastěji to dopadalo tak, že "gen" s převrácenou funkcí se vrátil do původní polohy. Pokud tedy oba přístupy k aktivaci genů nebyly příliš rozdílné, pak chování modelu konvergovalo a stabilizovalo se. Bylo to jako billboardy v Las Vegas : náhodně mrkající žárovečky se postupně uspořádaly do zadaného tvaru třeba flamenga nebo sklenice se šampaňským. Ukázalo se, že sítě s prvky o dvou vstupech mají tendenci rychle se uspořádat. Zatím však z těchto pokusů nevyplývalo, zda mají něco společného s regulačními genetickými sítěmi. Skutečné regulační sítě skutečných buněk obsahují desítky tisíc genů, zatímco Kaufman pracoval řádově jen se stovkami prvků. Tušil, že skutečné genetické sítě tedy musí být ve svých propojeních spíše řídké, protože jinak by nebyly schopné pracovat ve stabilizovaných cyklech změn. Když se dostal na úroveň 400 - 500 prvků, odvodil, že počet cyklů odpovídá asi tak odmocnině počtu prvků v síti. Po studiu odborné lékařské literatury zjistil, že předpoklad odpovídá - počet typů buněk v organismu se přibližuje odmocnině počtu genů v něm obsažených.

- duševní aktivita je určitou formou zpracovávání informací. Genetické sítě a sítě neuronů jsou v tomto smyslu principiálně stejné.

- Zatímco biologové znají pozitivní zpětnou vazbu již dávno, ekonomy při modelování svých komplexních systémů nikdy nic takového nenapadlo (až idea rostoucího přírůstku zisku).

- Když se podíváme na ekonomickou historii - na rozdíl od ekonomické teorie, pak technika (technology) se nechová vůbec jako zboží. Zejména k inovacím zřídka dochází ve vakuu. Daří se jim tehdy, když jiné inovace již kolem vznikají. Technika tvoří vysoce propojené sítě, jsou vysoce dynamické a nestabilní a jejich existence dává potenciál pro vznik dalších. Mohou se množit způsobem téměř organickým. Dochází v nich k náhlým "erupcím" evoluční kreativity - podobně jako v ekosystémech. Jakmile inovace, nová technika otevře prostor pro nové zboží a nové služby, pak lidé, kteří toho využijí mají všechny důvody pro podporu rozvoje dané techniky. Působí to jako pozitivní zpětná vazba. Na druhé straně ovšem zde také vzniká jev "uzamčení" - patu. Množství nově vzniklých prostorů záleží od potenciálu dané nové techniky. K inovačnímu překonání dojde jen tehdy, je-li další inovace skutečně mnohem lepší.

- Matematický aparát k modelování, který měl Kaufman k dispozici však dovedl pracovat jen s jednou inovací v daném čase. Potřeboval by však metodu, která umí modelovat řadu probíhajících inovací simultánně.

- Idea techniky jako sítě je podobná ideji nově formulované dynamické ekonomie a konečně technické změny a jejich růst připomíná problém vzniku života.

- John Maynard Smith dělal průkopnickou práci v evoluční dynamice - používal matematický postup známý jako teorie her k vyjasnění povahy soupeření s spolupráce mezi jednotlivými druhy.

- Anglický neurofyziolog Ross Asby v r.1952 dělal něco velmi podobného viz kniha "Design for a Brain" - zkoumal otázku, jak se geneticky chovají komplexní sítě.

- Kaufman zjistil, že práce na modelech genetických sítí je vlastně speciálním případem toho, co avantgardní fyzikové a matematici - v úplně jiné souvislosti - již formulovali jako "nelineární dynamiku". Z hlediska nelinearity je vlastně snadné rozumět tomu, proč právě řídké propojené sítě jsou schopny se organizovat do stabilních cyklů chování - je to podobné způsobu stékání dešťových kapek po svazích kopců do jezera na dně uzavřeného údolí. Z množiny

všech možných chování sítí jsou prohlubně na dně průměrem pro stabilní cyklus - je to atraktor.

- Přesto však pro plné pochopené něco chybělo. Genetické aktivity závisí na neuvěřitelně složitých a rafinovaných molekulách RNA a DNA. Odkud se však vzaly? Jak život vůbec započal?

- Tradiční představa postupného vzniku stále složitější, původně anorganické a posléze organické "polévky" (primordial soup) nemůže vystačit s pouhými náhodnými kombinacemi vedoucími ke vzniku složitějších látek. Trvalo by to totiž déle než existence celého univerza a zázrak by byl jediným řešením záhady stvoření života. Složky oné polévky musely být schopny odstartovávat koherentní sebeorganizující síť reakcí - enormně zrychlující celý proces než by byla pouhá náhoda. Ony síť reakcí musely katalyzovat své vlastní formování - svůj pořádek a uspořádanost. Uspořádanost vznikající přirozenou cestou ze zákonů fyziky a chemie. Vznikající spontánně z molekulárního chaosu a projevující se jako rostoucí systém. "Autokatalytické uspořádání" bez DNA či genetických kódů. Podstatu této tendence k uspořádanosti nelze hledat v žádné jednotlivé složce, ale v celkové dynamice - analogicky jako v kolektivním chování. Stačí dostat se do stavu, kdy dosažený stupeň náhodně vzniklé materie je schopen trvat po nějakou dobu a reprodukovat se. Je třeba tedy dosáhnout jakéhosi kritického bodu komplexnosti, pak nastane fázový posun do jiné kvality. Pak už se tendence k rostoucí uspořádanosti evolučně postará o další růst složitosti. Život tedy není pouhou náhodnou událostí, ale i vlastností přírody - její tendence k rostoucí uspořádanosti.

- Autokatalytické uspořádání je tedy schopno evolučně zvedat samo sebe "za tkaničky bot", ať už se jedná o evoluci života, ale dalších složitých systémů - třeba myšlení, vzdělanosti (a jeho projevů jako) techniky a ekonomiky. Existují země pouze s několika rozvinutými odvětvími a jejich ekonomie celkově stagnuje a je snadno ohrožitelná - ať už do oněch odvětví plynou investice zvenčí jak chtějí. Dosáhne-li se však určitého kritického stupně diverzifikace do více odvětví a komplexnosti, pak se dá očekávat explozivní rozvoj, růst a inovativnost - ekonomický start. Dynamika a roznost odstartuje další zrychlující se procesy.

- Je-li komplexnost interakcí dostatečně bohatá, pak se systém dostane do nadkritického stavu a nutně je autokatalytický.

4. Do you guys really believe that?

(diskuze fyziků a ekonomů o nelinearitě v ekonomice)

- co je přesně vzato v ekonomice nelineární?

- nejsou všechny jevy v ekonomice nelineární?

- obvyklý předpoklad o snižujícím se přírůstkem zisku odpovídá ekonomickým rovnicím s "nelinearitou druhého řádu", což vede k chápání vývoje v ekonomice jako směřující k rovnováze a stabilitě. Co se hledá jsou faktory "třetího řádu" - nelineární, které vychylují jednotlivé části ekonomiky z oné rovnováhy - inženýr by to nazval pozitivní zpětné vazby.

- jev "spin glass" z fyziky jako metafora pro ekonomii - lokální ekvilibrium

- ve skutečnosti existuje směsice pozitivních i negativních zpětných vazeb současně vyúsťujících v mnoho lokálních přirozených ekvilibrií (stavů místní rovnováhy)

- fyzici pracují s těmito pojmy běžně, pro ekonomy byly nové - i když charakter jevů v obou disciplínách je velmi podobný, jejich chápání však je díky různosti přístupů jiné

- zatímco ekonomové vypadají jako zcela zaujatí matematizací svých modelů ekonomie do podoby intelektuálních her, kde chybí kontrola zda předpoklady, z nichž teorie vychází odpovídají zdravému rozumu, fyzikové, naopak, jsou daleko více zaujatí prověřováním předpokladů. Poměr teorie ku pozorování je daleko větší. Je to dáno také tím, že ekonomové nemají tak kvalitní data pro svou vědu jako fyzikové - nemohou je generovat tak jako jejich kolegové. Z pozorování, které vychází z úzké datové základny se teoretizováním dostávají mnohem dále. Proto je nutné prověřovat každý krok. Fyzikové mají mnohem širší datovou základnu. I přes toto konstatování se fyzikům nezdála být dostatečná pozornost ekonomů vůči empirickým datům - tázali se, zda ekonomové berou v potaz např. mimoekonomické vlivy (politika, sociologie, psychologie, antropologie). Odpověď ekonomů: tyto aspekty jsou sice důležité - avšak je těžké se s nimi vyrovnat - neodpovídají matematickému modelu ekonomie a nemusíme se jimi zabývat, protože jsou automaticky "uspokojeny" ekonomickými efekty.

- Není ekonomie mnohem jednodušší než fyzika? V ekonomice jsou fyzikální částice nazývány "činitely" (agents). Ve fyzice nemají částice minulost, zkušenosti, cíle, naděje ani obavy z budoucnosti. Pouze existují. Z toho důvodu může fyzika mluvit o univerzálních zákonech - částice slepě poslouchají řídicí síly. V ekonomice však činitelé (částice) myslí na budoucnost, představují si chování jiných částic, jednájí na základě vlastních očekávání a strategií. A to je to, co dělá ekonomii tak obtížnou.

- Ekonomové však mají na řešení problému "očekávání" činitelů mast - chápou očekávání jako dokonale racionální. Dokonale racionální činitelé mají tu výhodu, že jejich chování se dá předpovídat. Vždy se chovají způsobem, který je pro ně - na základě dostupných informací a v dané situaci - nejvýhodnější. Jediný problém však spočívá v tom, že lidé nejsou dokonale racionální a jejich chování není dokonale předpověditelné. Předpoklad prediktability není adekvátní ani za podmínek racionality lidí. O nelineárních systémech - což ekonomika s největší určitostí je - říká teorie chaosu, že nepatrná nejistota v našem chápání počátečních podmínek má často později ohromné důsledky. V průběhu času se pak ukáže předpověď jako nesmysl.

- Předpoklad racionality chování činitelů neodpovídá realitě a modely z něj vycházející řeší uměle formulované problémy.

5. Master of the Game.

(John.H.Holland, University of Michigan: "Globální ekonomie jako adaptivní proces")

- Ekonomie je také "komplexním adaptivním systémem" jako jsou mozek, imunitní systém člověka, ekologie, buňky, vyvíjející se zárodek a třeba i mraveniště. Ve světě lidí jsou to kulturní a sociální systémy jako politické strany, vědecké společnosti. Když se je člověk naučí rozeznávat, vidí je všude. Mají určité výrazné vlastnosti.

- každý z těchto systémů tvoří síť souběžně jednajících činitelů (nervové buňky, druhy v ekologii, organely, buňky zárodku, firmy, jednotlivci či domácnosti). Ať už jsou čímkoliv, vždy působí v prostředí, které si vytvářejí vlastními interakcemi s ostatními. Neustále působí a reagují na působení ostatních. V důsledku toho nic v jejich prostředí není stálého.

- Řízení komplexních adaptivních systémů je vysoce rozptýleno. Je-li chování celku nějak souvislé, pak ta koherentnost vzniká ze vzájemného soupeření a spolupráce jednotlivých činitelů.

- Komplexní adaptivní systémy mají mnohaúrovňovou hierarchickou organizaci, ve které činitelé jedné úrovně působí jako stavební bloky pro činitele vyšší úrovně.

- Komplexní adaptivní systémy neustále opravují a znovu uspořádávají své stavební bloky tím, jak získávají zkušenost

(organizmy v průběhu evoluce mění svou stavbu, mozek posiluje a zeslabuje spojení mezi neurony v průběhu učení, jednotlivci se učí ve styku se světem, firmy mění svou strukturu, vlády mění své mezivládní dohody).

- Kdesi ve svém základě jsou učení, evoluce a adaptace shodné. Základním mechanismem adaptace je reorganizace stavebních bloků (jednotek).

- Všechny komplexní systémy anticipují budoucnost. Anticipace budoucnosti a predikce však jdou za rámec např. lidské prozíravosti či vědomí. Počínaje bakteriemi má každý živý tvor zakódovanou svou budoucnost v genech. Každý komplexní adaptivní systém neustále předpovídá budoucnost na základě svých vnitřních modelů světa - implicitních nebo explicitních předpokladech toho, jak se věci "venku" mají. Tyto modely světa nejsou jen pasivní - působí aktivně.

- Komplexní adaptivní systémy jsou typické tím, že mají mnoho *niché* (míst, kde je možno se uplatnit) - příležitostí pro jednotlivé činitele (povolání v ekonomii, živočišné a rostlinné druhy v deštném pralese). Skutečnost, že ona potenciální možnost je realizována (potenciálně existující místo je reálně vyplněno) otevírá mnoho dalších souvisejících "niché" (dalších navazujících oborů a profesí, parazitů či specializovaných dravců). Takže systém stále vytváří nové příležitosti. V důsledku toho je nesmyslné hovořit o stavech rovnováhy (ekvilibria) v případě komplexních adaptivních systémech - nikdy se v nich nenacházejí, stále se mění a rozvíjejí. Dosažení stavu rovnováhy znamená smrt systému. Podobně také nemá smysl mluvit o činitelích systému jako schopných "optimalizace" svého postavení, přizpůsobivosti, užitku či čehokoliv. Prostor potenciálních možností je příliš obrovský a prakticky nemají způsob jak zjistit optimum. Komplexní adaptivní systémy jsou tedy charakterizovány věčným obnovováním.

- Komplexní adaptivní systémy lze jen obtížně analyzovat pomocí běžných matematických prostředků (kalkulus, lineární analýzy) - k analýze je zapotřebí postupů počítačové simulace schopných vyjadřovat vnitřní modely uvnitř celku, vznik nových stavebních jednotek, bohatost sítě interakcí

mezi jednotlivými činiteli. - Při interdisciplinárním přemýšlení je třeba nepřebírat otázky, kterými se zabývají odborníci na danou oblast - ale ptát se nově, formulovat otázky sám a po svém. Hollandova otázka: "Co je největším problémem ekonomie?" Arthurova odpověď: "Šachy!"

Ekonomové vždy uvažovali o svém systému jako v podstatě jednoduchém a uzavřeném, který si najde cestu k dosažení rovnováhy tím, že jeho prvky umí rychle zjistit dva nebo tři způsoby adekvátního chování vedoucího k jejich cíli. Předpokládají mlčky, že jejich "činitelé" jsou nekonečně chytří a okamžitě vidí nejlepší způsob chování v dané situaci. Ozřejmíme si to na šachu.

Matematická teorie her má teorém, který říká, že každá konečná hra zahrnující dvě osoby, je charakteru vše-nebo-nic (zero-sum game) - jako jsou šachy - má optimální řešení. Ve skutečnosti však člověk nemá ani nejmenší ponětí, jaké je řešení a jak se k němu dostat. Claude Shannon, jeden ze zakladatelů informační teorie, spočítal už ve 40. letech, že počet možných kombinací je asi 10^{120} - číslo přesahující počet mikrosekund od velkého třesku. Lidé, ve srovnání s ideálem propočítání a volby optimálního tahu ve všech možných situacích, nemají šanci se chovat jinak, než jednat vlastně pokusem a omylem. A to má

daleko k "optimálním" tahům v každé situaci. Obchod s Japonskem je ve skutečnosti ještě složitější než jsou šachy. Jak tedy dělat vědu o omezeně inteligentních "činitelích", zkoumajících jak se co nejlépe rozhodovat v podstatě nekonečném prostoru možností? A to je problém chování v rámci ekonomie.

- Holland : "Co mne jako studenta zaujalo, nebylo to, že věda dovoluje redukovat vše na několik jednoduchých zákonitostí. Právě naopak - to, že věda dovoluje vidět, jak několik zákonitostí umožňuje vyprodukovat neuvěřitelnou bohatost forem světa a jejich chování. Věda a matematika jsou v určitém smyslu dokonalé v analyzování a redukování světa. Jestliže to však obrátíte a podíváte se na to ze syntetického konce, vidíte nekonečně překvapivé možnosti. Je to způsob jak na jednom konci univerzum pochopit a na opačném jak jej učinit nekonečně nepochopitelné.

- J.C.R.Licklider, psycholog v MIT přednášel o nových teoriích učení neuropsychologa Donalda O.Hebba z McGill University, Montreal. Mozek pod mikroskopem vypadá jako chaos, kde každá buňka vysílá tisíce náhodných vláken, která spojují tisíce buněk v síť. A přece tato hustá síť není náhodná. Zdravý mozek produkuje vjemy, myšlenky a impulzy k jednání smysluplně. Mozek není vůbec statický. Vylepšuje a přizpůsobuje svou činnost na základě zkušeností. Učí se. Jenže jak ?

Hebb ve své knize "The Organization of Behavior" z r.1949 předpokládá, že mozek stále jemně mění spojení neuronů na synapsích a tyto změny jsou základem mechanismu učení a paměti. Průchod impulzů posiluje průchodnost signálu na synapsích na celé dráze. Ať už je zdroj signálu kdekoliv, průchodnost signálu sítě se rychle zorganizuje, používaná spojení zesílí a informace se "uzavře" do paměťové stopy. Je to konekcionistická teorie distribuované paměti. Hebbův druhý předpoklad je, že mozek si umí vytvářet uzavřené okruhy několika tisíců buněk, ve kterých obíhají a posilují se ony impulzy jako nosiče informací a slouží tak jako bloky informací. Přesto však nejde o výlučné vztahy mezi informacemi a neuronovými propojeními - v každém takovém souboru buněk může cirkulovat více bloků informací a vzájemně se překrývat. Aktivace jednoho bloku pak vede k aktivaci jiných, takže celá struktura bloků se organizuje do komplexnějších struktur celých konceptů a složitější chování. Soubory buněk představují jakási základní kvanta informací. Tato představa byla blízká těm, kdo vytvářeli teorii komplexních systémů. Architektura počítačů má své počátky v téže době a vychází ze stejného základu - von Neumannova architektura (maďarský matematik John von Neumann, Princeton 40.léta).

- R.A.Fischer, The Genetical Theory of Natural Selection, 1929. Autor použil myšlenku diferenciálního a integrálního počtu a teorii pravděpodobnosti k matematické analýze toho, jaká je distribuce genů v populaci v důsledku přirozeného výběru. Položil základy neo-darwinské teorie evoluční změny. Jeho analýza se však zaměřila na změny jednoho genu v průběhu času - předpokládal, že působení genů je vlastně zcela lineární. Což nemůže být dosti správné. Stejně tak i Hebbovy buněčné soubory - samy o sobě jako nosiče informací nejsou téměř ničím - smysl dávají jen ve spojení do větších agregátů : myšlenkových konceptů a následných vzorců chování. Fischer také mluvil o vývoji směřujícím ke stabilnímu ekvilibriu - stavu, kdy druh dosáhne optimální např. velikosti, a dalších vlastností potřebných pro přežití a reprodukci. Jakmile se jednou onoho optima dosáhne, další mutace snižují jeho schopnost přežít. Pak už přirozený výběr není hybnou silou dalších změn. Představa rovnovážného bodu vlastně nezní velmi evolučně. Darwinův přístup vede k rozvíjející se paletě různosti, zatímco Fischerův matematický přístup ne.

- Hollandovi se zdály proces evoluce a proces učení velmi podobné - jako hra. Hra aktivního činitele, subjektu (agent) proti jeho prostředí, kdy se snaží vyhrát - tedy přežít. Program

šachové hry Arta Samuela je samoučící se, adaptivní - zdokonaluje svou taktiku v průběhu hry se svým oponentem. Vypadá to jako univerzálně platná analogie pro všechny adaptivní systémy - v tom jsou všechny podobné : počet možností dalšího postupu přesahuje naši představivost, subjekt se průběžně učí hrát lépe a má asi stejnou možnost dosáhnout optima - bodu rovnováhy - jako při šachové hře. Bod rovnováhy implikuje dosažení konečného bodu. Podstata evoluce však spočívá v cestě, v nekonečném odvíjení dalších překvapujících možností - do této představy však pojem rovnováhy nezapadá. Koncept ekvilibria má však smysl uvažuje-li člověk o jednotlivých činitelích. Např. v případě Fischerových genů, kdy jde v případě jednoduchých organizmů o řádově 1000 genů, lze si evoluční proces představit, jako že zkouší všechny kombinace až dosáhne ekvilibria. V případě počtu genů řádově 2^{1000} nebo 10^{300} je situace podobná jako při kombinaci v šachu - kombinací je příliš mnoho na to aby přirozený výběr směřující k rovnováze jako princip evoluci stačil a musí tam být ještě nějaký jiný. Jaký ?

- Při hledání odpovědi nejde jen o záměnu Fischerových rovnic, týkajících se jedné proměnné za soustavy rovnic zahrnujících mnoho proměnných. V té době (polovina 50. a 60. léta) se podobnými problémy v jiné oblasti (modely rozhodování) zabývali Allen Newell a Herbert Simon v Carnegie-Mellon University v Pittsburgu. Zjistili, že řešení problémů vždy zahrnuje postupné hledání dílčích řešení v "problémovém poli" možností za využití heuristického pravidla: "je-li toto ona situace, pak stojí za to zkusit tento postup". Ukázali, že přístup nazvaný "problémové pole" napodobuje dobře lidské usuzování a stal se součástí základů výzkumů umělé inteligence. Přesto však se zdál pro vysvětlení evoluce pochybný. Jednotlivé generace nemají žádné heuristické pravidlo pro další rozhodování v "problémovém poli", zděděné od předcházejících.

- změny jsou důsledkem mutací a náhodných změn v sestavě genů mezi pohlavími rodičů - jde se více pokusem a omylem. Následující generace také nepostupují jen lineárně - krok za krokem. Jdou souběžně. Každý příslušník populace má poněkud jinou soustavu genů a hledá v problémovém poli jak přežít svým vlastním způsobem. Hollandovi to vycházelo tak, že onen sjednocující evoluční princip musí být ještě někde hlouběji. Ale kde?

- Hierarchická výstavba všeho kolem nás je tak běžná, že ji ani nevnímáme. Jak Herbert Simon doložil při studiu organizací ve 40. a 50. létech, dobré hierarchické organizační uspořádání je vysoce účinným prostředkem, jak dosáhnout splnění cílů. Z toho si Holland odvodil, že onen hlubší princip je patrně hierarchická uspořádanost jednotlivých "stavebních bloků" do struktury - toto uspořádání výrazně mění schopnost daného systému učit se, vyvíjet se a přizpůsobovat se. Na příkladu kognice se to dá dobře vysvětlit: vnímáme cosi, co si označujeme jako "červená", "auto", "silnice". Z těchto stavebních bloků, které jsme pomocí zkušenosti schopni sestavovat do nejrůznějších kombinací, z nichž sestávají různé celky - např. "červený SAAB u okraje cesty". Podobně postupuje kreslíř, sestavující hypotetický portrét hledaného zločince : asi 10 prvků, ze kterých sestává obličej obměňuje do prakticky nekonečného počtu kombinací všech možných obličejů. Mnoho velmi komplikovaných věcí lze popsat pomocí relativně málo prvků. Problém evoluce tedy není najít podobu dobrého druhu, ale podobu jednotlivých funkčních bloků, ze kterých lze sestavit mnoho dobrých druhů. A pustil se do počítačových simulací genetického algoritmu. - Holland začal psát program, který však jako program nevypadal - namísto striktního popisu co je třeba udělat ve kterém okamžiku (což předpokládá vědět k jakému cíli směřuji), program

vypadal spíše jako simulace ekosystému-byl to program na plnění úkolů, kde cíl není přesně znám. Kde je třeba jen získat maximální hodnotu za každé situace - a to nejde jinak než pokusem a omylem. Chromosomové řady napodobil binárním kódem 0 a 1. Počítač generoval populaci možná 100 případů "digitálních chromosomů" se spoustou náhodných variací od případu k případu. Pak byl každý z nich testován vzhledem k nějakému problému (jako např. nechat jej působit jako počítačový program a sledovat, jak "dobře" si vede) - v analogii s biologií testoval pravděpodobnost jeho reprodukce. Pak se vyberou ty z nich, které obstály a vytvoří se nová generace odpovídajících (které by se v reálné situaci sexuálně rozmnožily). A konečně by se nechaly "soupeřit" s generací rodičů v "boji" o přežití. Díky změnám v "genetické" sekvenci 0 a 1 jsou příslušníci nové generace podobní generaci rodičů, jsou však i jiní a někdy "lepší". Přirozený výběr má tak tendenci vytvářet evoluční tah směrem "vzhůru" díky lépe odpovídajícím konstrukčním blokům. Zlepšování "genetického" algoritmu tak rychle konverguje ke schopnosti nových jedinců "řešit dané problémy" - aniž je předem známo, co řešení vlastně je.

- Holland vydal v roce 1975 knihu "Adaptace v přírodních a umělých systémech", která byla plná rovnic a analýz. Byla souhrnem dvou desetiletí Hollandova přemýšlení o hlubokých vztazích mezi učením, evolucí a kreativitou a podrobně vyložila genetické algoritmy. V 70. letech se začal stýkat s podobně uvažujícími studenty, které zajímala evoluce a přizpůsobování. Politologa Roberta Axelroda zajímal problém proč lidé spolu spolupracují namísto toho, aby navzájem soupeřili. Politologa Michaela Cohena fascinovalo téma sociální dynamiky v lidských organizacích. Evolučního biologa Williama Hamiltona zaujal problém pochopení podstaty symbiózy, sociálního chování a dalších forem biologické spolupráce. Pod vlivem společných diskuzí došel Holland k závěru, že genetický algoritmus není ještě modelem adaptace lidského myšlení (human mind). Neříká ještě nic o tom, jak komplexní koncepty rostou, vyvíjejí se a rekombinují v lidské mysli. Byl však přesvědčen (po čtvrtstoletí od doby, kdy se seznámil s Hebbovými myšlenkami), že přizpůsobování myšlení a přizpůsobování v přírodě jsou jen dva různé aspekty stejné věci a měly by být vyjádřitelné jednou teorií.

- Co jsou však opravdové základy schopnosti onoho aktivního "hráče" s prostředím? Schopnost předpovídat (predikce) a zpětná vazba. Predikce je vlastně "myšlení dopředu" - podstata dobré šachové hry spočívá v tom, že hráč dá na tahy, které mu připraví budoucí výhodnou pozici. Ten, kdo umí myslet dopředu, má zřejmou výhodu před tím, kdo to neumí. Predikci považujeme za něco, co lidé dělají vědomě a na základě explicitního modelu. A často tomu tak je. Na druhé straně však jsou tyto modely v naší představě doslova jen implicitně. Psychologové tyto "mentální modely" dokonce považují za základ všeho našeho vědomého myšlení. Ptáci se například naučí rychle nevnímat si nechutného hmyzu (monarch butterfly) - a motýl žije s implicitním předpokladem, že to ptáci vědí. Podobně to funguje i u úplně jiných organizmů - například korporací. Jistý druh chování se vyzkouší tím, že se udělá řada různých chyb - po čase už nikdo neví, proč se to dělá tak, jak se to dělá - ale respektuje se to jako správný postup. Podobně to platí i u zručnosti starých stavitelů při stavbách katedrál. Neměli způsob jak předem provést propočty statiky. Akumulovaná znalost statických možností byla předávána z generace na generaci jako úplně intuitivní vědění. Celá lidská kultura je implicitní model, plný symbolů a mýtů o tom, co je správné a jak je chovat. Modely a predikce jsou všude kolem nás a většina z nich je nevědomých - působí bez účasti vědomí : např. bakterie hledající potravu. Odkud se tedy vědomí bere? Kdo programuje prvního "programátora"? Nikdo. Kdybychom připustili nějakého prvního, pak nic nevysvětlíme - záhadu jen posuneme jinam. Naštěstí je tu zpětná vazba z prostředí jako

vysvětlení. Onen aktivní činitel (agent) může zlepšovat své vnitřní modely bez jakékoliv paranormálního vedení. Vyzkouší si různé modely (představy) své interakce s prostředím - a když přežije, průběžně je zlepšuje. V biologii se zpětná vazba přirozeného výběru a trvalé zlepšování modelů světa jmenuje evoluce. V případě kognice je proces v podstatě stejný: "agentem" je rozum, zpětné vazby pocházejí od učitelů a z přímé zkušenosti a zlepšování se jmenuje učení. Adaptující se organizmus je schopen využívat to, co mu svět kolem něj říká.

- Jenže jak? Holland hledal základní teorii přizpůsobování aktivních "činitelů" (agents).

Lidé pracující v hlavním proudu umělé inteligence neměli k věci co říci začátkem 60. let o nic víc, než v polovině 70. let. Byli toho názoru, že problém učení je možné dát stranou a důležitější je zabývat se věcmi jako porozumění jazyku, řešení problémů a dalším formám abstraktního uvažování. Věcí na pořadu dne bylo "vědomostní inženýrství" (knowledge engineering) - vytváření stovek pravidel pro expertní systémy říkající, co je třeba udělat za které dané situace. Docela by rádi uměli vestavět nějaké moduly "učení se" do určitých míst jejich programů, věc by to však ještě více komplikovalo. Holland byl přesvědčen, že učení se má tak základní význam pro kognici, jako evoluce pro biologii. A z toho vyplývalo, že schopnost učit se musí být zabudována do kognitivní architektury již od začátku - a ne nakonec. Hollandův cíl byl stále v Hebbových neuronových sítích, kde myšlenky v podobě impulzů posilují spojení. Myšlení a učení se viděl jako dvě stránky stejné věci. Koncem 70. let přišly tyto sítě v podobě počítačových simulací opět do módy - byly dobré z hlediska chování stimulů - reakce a rozpoznávání - většinou však ignorovaly potřebu vnitřních zpětných vazeb, které Hebb chtěl pro vznik buněčných shluků. Holland se tedy rozhodl pro kompromis: využije expertní systémy fungující na principu "jestliže - tak" a bude je používat v architektuře podobající se neuronovým sítím.

- Koncem 60. let, v době, kdy ještě nikdo neslyšel o expertních systémech, Allen Newell a Herbert Simon zkonstruovali v Carnegie-Mellon University počítačový model lidské kognice se širokým použitím. Každé pravidlo odpovídalo jednoduché jednotce vědění či dovednosti. Daná instrukce se aktivuje jen jsou-li splněny určité podmínky - pak je reakce odpovídající situaci. Je-li aktivováno dané pravidlo, rozvine se celý řetěz kroků. Interakce pravidel a aktivace jednoho vedoucí k celým

kaskádám navazujících odpovídá dobře architektuře sítí. Detektory a efekty jsou počítačové simulace lidských čidel a svalů. Tyto systémy založené na pravidlech jsou otevřené zpětným vazbám z prostředí. Určité symboly sloužily jako podněty (tvar, barva atd.) Symboly byly v počítačích svázané se strukturami dat tak, aby představovaly složité situace - stejně jako mentální modely v mysli. Zpracovávání symbolů sloužilo jako dobrý začátek, symboly však ještě byly příliš rigidní a nezachycovaly příliš mnoho ostatních okolností skutečné situace. Odpovídaly přesně vzato myšlení a řešení problémů. Pro Hollanda to však bylo málo. Jak se formulace rozpoznávaných symbolů mění v čase - a především odkud se vzaly zpočátku? Jak na ně působí zpětné vazby z prostředí? Podle Hollanda jsou symboly jako pára ve fyzice a chemii - trvale mění svůj tvar, jsou to neurčité koncepty, mění se, rekombinují, jsou dynamické povahy. Nejdůležitější věcí u komplexních adaptivních systémů je pochopit, jak vznikají jednotlivé úrovně. Jestliže člověk ignoruje zákonitosti té předchozí, nikdy nepochopí tu, ve které se ocitá. K tomu, aby porozuměl podstatě vzniku adaptujících se činitelů (adaptive agents), Holland se rozhodl, že pravidla i zprávy zapíše ve svém experimentu do bezsmyslných symbolů (řetězce v binárním kódu). Pravidla nazval "klasifikátory" (classifiers), protože jejich podmiňující účinek klasifikoval různé zprávy do konkrétních informačních seskupení. Význam jednotlivých zpráv vyplynul z toho, jaký řetěz

klasifikátorů zpráva iniciovala. Koncepty a "mentální" modely se měly objevit jako sebeposilující shluky klasifikátorů - reorganizovat se podobně jako u autokatalytických systémů. Holland dále udělal změnu oproti standardním systémům, které měly zabudovány pojistky proti vnitřní "schizofrenii" systému (střet konfliktních pravidel). Tou pojítkou byla např. centralizace řízení, zajišťující uplatnění jen jednoho pravidla v danou chvíli, jako jištění proti anarchii. Byl přesvědčen, že systém řešící konflikty "shora - dolů" je právě omyl. Ve skutečném světě se přece nikdy s jistotou neví, co je správně a co ne. Inteligence by pak nespočívala v programu, ale v programátorovi. A Holland chtěl, aby se jeho systém sám učil. Střet (competition) viděl jako daleko důležitější než konzistenci (důslednost). Důslednost je chiméra, protože ve skutečném světě není zárukou toho, že zkušenost povede k úspěchu. Pro aktivní činitele (agents), hrající hru o přežití s prostředím, jsou střety neustálou zkušeností. Nehledě na všechno, co už biologové a ekonomové pochopili, stále ještě nevíme, co je podstatou soupeření a střetů (competition). Vezměte si jen v úvahu, že soupeření může vyústit v silné motivy spolupracovat (aliance, symbióza). Děje se to na všech úrovních komplexních adaptivních systémů počínaje biologií, přes ekonomii až po politiku. Spolupráce a soupeření se mohou zdát jako stojící v opozici - ale v jakémsi hlubším slova smyslu jsou to dvě strany jedné mince. Jak však to udělat tak, aby zvítězil klasifikátor vedoucí k pravděpodobnějšímu úspěchu?

Jak se dá zjistit ona hodnota dalšího kroku, připravující budoucí kompetitivní výhodu - když není známa předem? Analogie z ekonomie pomohla - získání výhody (opatření materiálu či služby) pro vlastní činnost a nutnost za ni zaplatit - zisk za vlastní činnost, v dalším kroku = realizaci činnosti - ovšem opět pochází z prostředí. Ze správných investic do budoucích činností činitele plyne "zisk" (ze špatných opak). Systém se učí tím, že neustále zlepšuje svá pravidla rozhodování, reorganizuje se, vyvíjí a stále exploruje nové oblasti možností. Systém se tak může nejen učit ze zkušenosti, ale být i spontánní a kreativní v odhalování možností.

- Sedl a v r.1977 začal psát program. Ve spolupráci s psycholožkou prof.Judy Reitman(ovou) z University of Michigan dali dohromady první verzi v r.1978. Jejich systém demonstroval to, co psychologé nazývají "transferem" - učil se pravidla k orientaci v bludišti, která uplatňoval v jiných typech bludišť. Uměl si dělat své "mentální mapy" prostředí. Uspokojivější verze vznikla jako dizertační práce ing.Davida Goldberga v r.1983 - demonstrace toho, jak "genetický" algoritmus a systém klasifikátorů lze využít k simulaci řízení provozu plynovodu. Operátoři plynovodů se učí svému řemeslu v průběhu dlouhého zaučování a pak "řídí" chod hodně intuitivně - tak jako většina z nás řídí auto. Najdřív se člověk naučí pravidlům pro udržení normálního chodu. Klesne-li tlak, objeví se to jako chybné chování za normálních podmínek, pak teprve dojde k aplikaci dalších pravidel postupu, snažících se navodit správné chování za mimořádných podmínek (organizace postupu známá jako "default hierarchy"). Ve střetu pravidel, určujících možný postup jsou v důsledku zkušeností posilována správná a vyhasínají nesprávná. Důležité v tomto experimentu bylo to, že žádná pravidla pro správné chování nebyla do systému vložena. Postupně si je z chaotických pokusů a omylů odvodil sám. Žádné předpoklady o dokonale "racionálním" chování - jako v ekonomických modelech - nebyly uplatněny.

- Důležitým předpokladem vzájemného porozumění představitelů jednotlivých oborů byla jejich znalost matematiky - matematické abstrakce poskytly společný jazyk fyzikům a technicky erudovaným ekonomům. Sociologové a psychologové nebyli původně přizváni právě z obavy, že do diskuzí vnesou mnoho vágních konceptů a nebudou rozumět v důsledku nedostatečného výcviku (no technical background).

- Ukázalo se, že když má člověk jiné vidění problému, je docela pravděpodobné, že ostatní tento názor po nějakou dobu nepřijmou ať je argumentace sebelepší. Jeden se tím nesmí nechat odradit a musí s touto možností počítat - věřit si a hledat lidi podobně smýšlející.

6. Life on the edge of chaos

- 22.9.1987 byl uspořádán v Santa Fe Institute workshop o umělé inteligenci.

- Holland : koncept umělého života je podobný konceptu umělé inteligence. Rozdíl spočívá v tom, že počítačový model simuluje myšlenkový proces nebo model základních biologických mechanismů evoluce a života samotného. Něco podobného jako modelovat genetický algoritmus a systém klasifikátorů, jenže širší a ambicióznější projekt. Koncept umělého života je "dítě" Chrise Langtona, doktoranda Hollanda a Art Burka z University of Michigan. Formuloval tento název a strávil na konceptualizaci tohoto problému víc než 10 let. Začátky jsou někde v r.1971-72. Problém učení se stal opět horkým námětem v kontextu umělé inteligence.

- Umělý život byl na první pohled - podivný. Po chodbách byly instalovány počítače demonstrující ukázky : hejna elektronicky animovaných ptáků, neuvěřitelně věrné napodobeniny rostlin rozvíjejících se a bujících před očima, podivná stvoření podobná fraktálům, vlnící se a jiskřící struktury. Fascinující - ale co to znamená ? A ty řeči ! Směsice nesourodých divokých spekulací a tvrdě empirického přístupu. Workshop vypadal jako ukázka ukázka povietnamské undergroundové kultury.

- Pojem "umělý život" byl formulován na přelomu let 1971-72. V té době sedával Langton v noci u počítače v bostonské Všeobecné nemocnici. Po léta vkládali údaje do staršího, pomalého typu počítače a po tom, co instalovali nový, bylo třeba napsat program, který by přelstil onen starý tak, aby si "myslel" že pracuje ještě se starým strojem. Šlo vlastně o to vytvořit "virtuální (starý) stroj" uvnitř nového. Znamenalo to, že člověk musí vzít všechny podstatné znaky starého stroje, jeho operační pravidla a abstrahovat - nechat tak "hardware" za sebou. Pustil si "hru na život", kterou rok před tím vyvinul anglický matematik John Conway - jde o počítačovou simulaci "života". Věc vypadá tak, že na obrazovce se objeví část univerza : černé čtverce jsou "živé" a bílé, které jsou "neživé". Počáteční struktura je libovolná. Jakmile se však hra začne, čtverce ožívají a zmírají podle několika jednoduchých pravidel. Každý čtverec své generace hledá ve svém okolí. Najde-li příliš mnoho živých, zanikne, protože došlo k "přemnožení". Nenajde-li žádný živý, pak v další generaci zaniká také pro přílišnou osamocenost. Jen je-li těch živých kolem právě tak akorát, dva nebo tři, pak v další generaci přetrvává nebo se zrodí nový. Obrazovka žhnula aktivitami, podobně jako kapka vody pod mikroskopem, plná mikrobů. Počáteční seskupení je náhodné, pomalu však vzniká určitá struktura čím dál více uspořádaná, v průběhu změn oscilující - podobně jako dech a výdech živého tvora. Lze tam vidět čtverce, které putují obrazovkou, hledající optimální podmínky pro své přežití, dále některé které "vystřelují" své odnože do nových míst - kde je eventuálně "požirají" ty, které tam již jsou. Ustálené struktury lze zmařit zavedením "infekce", která je rozruší. Hra má nekonečně mnoho podob. Chris Langton měl pocit, jakoby viděl před sebou skutečný život - rozdíl mezi počítačem a programem splýnul do jednoho procesu a i on sám se stal jeho součástí. Langton vstal, pohlédl z okna dolů na noční město, pohybující se světla aut a měl neodolatelný pocit, že město pod ním žije v docela podobných strukturách jako na obrazovce a on sám je jedním z oněch čtverců. Ve skutečnosti je to všechno jistě mnohem složitější, avšak podobného druhu.

- Ve svém hledání se Chris toulal knihovnami a četl všechno co mu přišlo pod ruku o virtuální realitě, vzniku a kolektivních strukturních vzorcích, o lokálních pravidlech dávajících vznik

globální dynamice. Taky se ponořil do studia kulturní antropologie. Nabyl dojmu, že evoluční teorie kultury stále ještě v sobě obsahují stigma z časů sociálního Darwinismu 19. století, kdy lidé obhajovali oboje válku i sociální nerovnost na základě myšlenky o přežití toho nejschopnějšího. Zdálo se mu to však neúplné k plnému pochopení vývoje kultury. Nejde jen o úzce pojatý vývoj kultury, je to biologická evoluce, intelektuální evoluce, kulturní evoluce, koncepty se kombinují a přeskupují, přeskakují z jednoho prostoru a jedné generace jinam a na jinou - vše dohromady. V základě však jde jen o různé projevy jedné věci. Je v tom jednota, společný příběh ve kterém se části přibližují, vzniká struktura a složité soustavy nabývají schopnost růstu a kvality života. Jde jen o to dívat se na věci ze správného zorného úhlu, abstrahovat ony jednoduché principy (jako v počítačové hře) a pak by šlo zachytit to podstatné co je jádrem evoluce.

- V roce 1978 Langton napsal článek o 26 stranách "Evoluce víry" (The Evolution of Belief). Jeho základní myšlenkou bylo, že biologická a kulturní evoluce jsou jen dvěma stránkami téhož jevu a že "geny" kultury jsou víra, přesvědčení (belief), které jsou zaznamenávány do základních "DNA" jednotek kultury: jazyka. Ve zpětném pohledu se to zdá pěkně naivní, byl to však pokus, který otevřel interdisciplinární doktorský program. Nazval svůj pokus "umělý život" analogicky k umělé inteligenci. Pokus znamenal snahu zachytit evoluci stejným způsobem, jako umělá inteligence se snaží pochopit neuropsychologii. Šlo o to, formulovat abstraktní model evoluce do počítače a experimentovat s ním. Začal vyhledáváním hesla

"sebeprodukce" v knihovnách. Odkazů bylo nepočítaně - mnoho lidí se pokouší o totéž! Našel práce von Neumannovy z konce 40. let. Pokusy definovat mechanický systém, který se sám

reprodukoval a dokázal schopnost replikace předat i svému následovníku. Pak se jeho koncepce ukázala dokonale vyhovovat Watsonovu a Crickovu objevu DNA v r. 1953 - genetický program to dokonale umí. Von Neumann však chtěl aby jeho formulace byla formalizována. Jeho spolupracovník Stanislaw Ulman, polský matematik, dočasně působící v Los Alamos, přišel s konceptem "celulárních automatů" - vlastně tímtéž, jako o 20 let později Conway se svou "hrou na život". Ulman v podstatě navrhl Neumannovi, aby si představil "programované universum". Čas je definován lineárně tikáním hodin, prostor jako mřížka diskretních buněk, jejich obsah velmi jednoduše "finitním automatem". V každou danou chvíli a v každé buňce může mít automat jen jeden z rozdílných stavů, které lze reprezentovat barvami rudou, bílou, modrou, zelenou a žlutou, nebo 1, 2, 3, 4 nebo růžový", "mrtvý" nebo cokoli jiného. Tiknutím hodin musí však automat přejít do nového stavu determinovaného jeho vlastním současným stavem a stavem okolních automatů. Přírodní zákony tohoto universa mají tedy podobu "tabulky přechodových stavů", která říká, jakých podob může automat nabýt na základě konfigurace se stavy okolí. Následovníci Von Neumanna, např. Art

Burks, dovedli tuto "hru" v r. 1966 do teorie sebeprodukčních automatů. V této teorii je dokazováno, že existuje nejméně jedna struktura buněk skutečně umožňující svou vlastní reprodukci. Tato struktura je hodně složitá, vyžaduje velkou mřížku a 29 různých stavů každé buňky. Což všechno přesahovalo kapacitní možnosti v té době existujících počítačů. Tento důkaz však byl fundamentální - doložil, že schopnost reprodukce není jen doménou živých organismů, ale lze jí dosáhnout i u strojů.

- Stephen Wolfram si v r. 1984 všiml, že celulární automaty mají nejen bohatou matematickou strukturu, ale i hluboké podobnosti s nelineárními dynamickými systémy. Wolfram tvrdil, že spadají do jedné ze čtyř tříd univerzálnosti (universality classes). Třída I. obsahuje ty v

počátečním stavu živé či mrtvé buňky, které ať děláš cokoliv, jsou odsouzeny k zániku v jednom či dvou krocích. Jazykem dynamických systémů řečeno, pravidla jejich existence se zdají mít jen jeden bod "atraktor". Všechno se vždy skulí do středového bodu - mrtvého stavu. Třída II. obsahuje jen o trochu vitálnější přídady. Počáteční vzorec náhodně rozestých mrtvých a živých buněk se rychle shlukne do několika statických chuchvalců, kde sedí a periodicky oscilují. Celkový dojem je zamrzlá stagnace a smrt. V jazyce dynamických systémů to vypadá tak, že pravidla chování tvoří několik periodických atraktorů - jakoby kuličky rotovaly kolem několika prohlubní uvnitř misky do nekonečna. Wolframova III. třída znamená opačný extrém: buňky jsou příliš vitální a "vaří". Nic není stabilního a předpověditelného. Struktura se rozsypává v okamžiku svého vzniku. V jazyce dynamických systémů jde o podivný případ atraktoru - běžně se označuje jako chaos. Kuličky se v misce točí tak rychle, že se nikdy neuspořádají.

Konečně IV. třída obsahuje ony řídké případy, ve kterých nedochází k zamrznutí aktivit do "hrudek", ale ani k chaosu. Buňky tvoří souvislé struktury, které rostou, dělí se do nových, a krásně se rekombinují. Tento proces se vlastně nikdy nezastaví. Jde o případ "hry na život". V jazyce dynamických systémů vlastně v té době neměly označení a Wolfram konstatoval, že toto chování je jedinečné pro celulární automaty. V té době neměl nikdo ponětí o tom, jaká musí být pravidla, aby tento jev nastal - muselo se to pokaždé zkusit.

- Langtona to mátl a vzpomněl si na starý pocit, který měl při studiu antropologie. Zde jsou vlastně ryzí pravidla chování ta, která se zdají být podstatou vize von Neumannova universa, vyjadřující tolik toho co se zdá být podstatné pro spontánní vznik života a sebe reprodukce. A přece to vypadá, jako že jsou ze světa, ve kterém vládne zcela jiná dynamika.

- Jak se vlastně tyto jednotlivé třídy k sobě mají a co určuje ta která pravidla chování v těchto třídách? Langton začal číst o teorii chaosu a dynamických systémech. Věděl, že v případě mnoha dynamických systémů rovnice pohybu obsahují číselný parametr, který působí jako ovladač ladění, řídicí nakolik

chaotický daný systém je. Obecně řečeno, malá hodnota tohoto parametru odpovídá obvykle stabilnímu chování - stejné kapky vody, konstantní populace atd. Připomíná to třídy I. a II. Jak se však hodnota parametru progresivně zvyšuje, chování systému je progresivně komplikovanější až konečně i úplně chaotické. To by odpovídalo třídě III. Langton si nebyl zcela jist tím, kam zapadá případ třídy IV. Šlo mu o to, jak přijít na správnou hodnotu parametru určujícího pravidla chování celulárních automatů jinak, než jen pouze pokusem a omylem. Hodnota nemůže být implantována zvenčí, ale musí vyplývat z pravidel chování samotných. Zkoušel pracovat se změnami nejjednoduššího parametru, na který přišel: pravděpodobností, že daná buňka bude žít v další generaci (parametr nazval "lambda"). Pravděpodobnost 0,0 znamená, že pravidla chování buněk jsou dána tak, že v příští generaci nebude živého nic (případ třídy I.) Jestliže pravidla chování obsahovala lambda 0,5, pak mřížka kypěla aktivitami poloviny živých a poloviny mrtvých buněk. Dalo se předpokládat, že jde o případ chaosu odpovídající třídě III. Co zajímavého však leží v intervalu mezi oběma hodnotami lambda? (Překročí-li se hodnota 0,5, převrátí se úloha "živých" a "mrtvých" buněk a situace se stává postupně jednodušší, až se dostaneme do polohy třídy I., kde hodnota parametru je 1,0. Situace připomíná fotografický negativ.) Experimentoval s rostoucí hodnotou lambda až při hodnotě kolem 0,273 dosáhl kritické oblasti, kde se odstartovalo chování buněk odpovídající pravidlům třídy IV. Pořadí

(třídy buněčných automatů)

I & II ->"IV" -> III

odpovídá navíc přechodné fázi dynamických systémů

(dynamické systémy)

řád -> "komplexnost" -> chaos

Na první pohled se nabízí povrchní analogie s přechodovými fázemi kapalin: pravidla tříd I. a II. by odpovídaly krystalické podobě - ledu, pravidla třídy IV. vodním parám a pravidla třídy III. čemu - kapalině? Po podrobnějším studiu fyziky došel Langton k závěru, že přechodová fáze prvního řádu nastává při teplotě vyšší než 0 stupňů Celsia, kdy se krystaly ledu musí rozhodnout, zda zůstat v krystalické podobě či měnit se v molekuly vody. Čím více teplota roste, tím rychlejší a jednoznačnější proces a volba je, molekuly se dostávají do neuspořádaného a chaotického stavu kapaliny. Přechodová fáze druhého řádu je v přírodě mnohem vzácnější (alespoň v rozsahu teplot a tlaků, na které jsou lidé zvyklí). Tato změna je povlnnější, zejména z toho důvodu, že molekuly se nemusí rozhodovat pro jednu z obou variant. Kombinují chaos i řád. V přechodové teplotě většina z nich má kapalnou, chaotickou podobu. Mezi molekulami kapaliny však neustále vznikají struktury ledových krystalů a pozvolna se opět rozpouštějí. S poklesem teploty se tyto struktury zvětšují a přetrvávají déle. Rovnováha chaosu a řádu se vychyluje. Totéž funguje opačným směrem. Jenže přesně v určitém bodě teploty existuje perfektní rovnováha mezi oběma stavy, která může přetrvávat nekonečně dlouho. A to je přesně Wolframova třída IV. Bylo tedy možno zapsat třetí analogii

(hmota)

pevné těleso -> "fázový přechod" -> kapalina

Langton neměl ponětí proč parametr λ tak dobře funguje a proč je tak blízkou analogií teploty. A není pro to vysvětlení dodnes. V každém případě měl silný pocit, že existuje základní souvislost mezi přechodovými fázemi ve fyzice, výpočty zobrazovanými počítačem a životem samotným.

- Nejde vytvořit univerzální počítač, který by zvládl úlohy jako jsou buněčné automaty, pracující podle pravidel tříd I. a II. Takové struktury by byly příliš statické - daly by se v nich ukládat informace, nešlo by je však předávat z místa na místo. Stejně tak nejde postavit počítač s automaty pracujícími ve III. třídě - signály by se ztrácely v šumu chaosu. Jediná možnost je pracovat ve IV. třídě - jako je ona "hra na život". V tomto systému je dostatek stability i proměnlivosti umožňující ukládání i přesun informací. A to je přesně ono místo na okraji řádu a chaosu. Langton byl přesvědčen, že stejné spojení existuje i ve skutečném světě - všechno počínaje sociálními systémy, přes ekonomii až po buněčné organizmy. Život je založen na neuvěřitelné schopnosti přijímat, zpracovávat a uchovávat informace. Schopnosti měnit výsledky těchto zpracování do aktivit. Za jakých podmínek systémy, jejichž dynamika je stavěna na zpracování informací, se začínají odlišovat od těch, které jen reagují na fyzikální

síly? Kdy a kde se stává ukládání a zpracování informací důležitým?

- Langton se podíval z tohoto zorného úhlu na fenomenologii výpočtů. Hned v prvních lekcích se člověk dozví o rozdílu mezi programy, které jsou konečné - vezme se sekvence údajů, v daném čase se provede výpočet a program se zastaví a těmi, které mohou běžet do nekonečna. Je to jako chování nad a pod přechodovou fází. Posuneme-li se do středu od

obou extrémů, zvětšíme-li hodnotu lambdy ve von Neumannově univerzu nad nulu, dostaneme se k buněčným automatům, které budou chroustat informace, až dosáhnou stavu klidu. Délka jejich aktivit bude spočívat na počátečním uspořádání. Ty budou odpovídat algoritmům s polynomiálním časem (v jazyce výpočetní techniky). Tyto algoritmy udělají spoustu práce (např. jako je třídění) v daném konečném čase a jsou relativně rychlé a účinné. Bude-li se hodnota lambdy blížit ještě více fázovému přechodu, dostaneme buněčné automaty, které budou běžet dlouho. Ty by odpovídaly algoritmům s nepolynomiálním časem - typ, který je schopen běžet do konce existence univerza. Příkladem může být program hry v šachy, který bude slepě zkoušet všechny myslitelné kombinace při každém kroku. Tyto algoritmy jsou prakticky nepoužitelné. A co přesně v bodu přechodu? Tomu by odpovídaly programy označované v počítačové vědě jako "nerozhodnutelné". Tyto algoritmy se buďto velmi rychle zastaví po spuštění nebo běží do nekonečna - a principiálně není způsob jak to odhadnout předem - než zkusit "undecidability theorem" britského logika Alana Turinga ze 30. let v tom smyslu, že ať si myslíš, že jsi chytrý jak chceš, vždy budou algoritmy, které dělají věci předem neodhadnutelné. Není tedy divu, že "hra na život" a buněčné automaty s pravidly IV. třídy jsou tak podobné životu. Existují totiž v jediném dynamickém režimu, ve kterém komplexnost, výpočetní zpracovávání informací a samotný život jsou možné: na pokraji chaosu. Langton si tedy připsal další analogii:

(výpočetní technika)

ukončení -> "nerozhodnutelné" -> neukončení

spolu s mnohem hypotetičtější párou:

příliš statické -> "život/intelligence" -> příliš rušné

V co to celé vyústí? Pevná tělesa a kapaliny nejsou jen dvěma základními fázemi hmoty, jsou dvěma základními třídami dynamického chování obecně. Existence těchto dvou tříd implikuje existenci třetí základní třídy: "fázového přechodu" - chování na okraji chaosu, kde se lze nadít výskytu samotného života. Langton měl nepřekonatelnou vizi života, věčně se snažícího udržovat svou rovnováhu na pokraji chaosu, věčně ohrožovaného vývojem na jednu nebo druhou stranu. A možná, že evoluce je právě proces učení se, jak dostat pod kontrolu postupně co nejvíce svých vlastních parametrů tak, aby balancování na pokraji mělo větší šance.

7. Peasants under Glass

- počítačová simulace chování velkého počtu autonomních "boidů" - umělých "ptáků" v bludišti předvedená Craigem Reynoldsem na workshopu o umělém životě v Los Alamos v r.1987. Každý z těchto "boidů" se řídil třemi pravidly:

1 - pokoušej se zachovat minimální vzdálenost od všech objektů v daném prostoru, včetně ostatních "boidů",

2 - pokoušej se udržovat stejnou rychlost s ostatními "boidy" ve svém okolí,

3 - pokoušej se pohybovat směrem ke středu skupiny "boidů" ve svém okolí.

Co bylo zajímavé je to, že nikdo neřekl "vytvořte hejno". Naopak, pravidla byla zcela lokální, týkající se jen toho, co mohl každý jednotlivec vidět a udělat ve svém bezprostředním okolí. Pokud se mělo hejno utvořit, pak jen "odspodu nahoru", jako nově vznikající jev. A hejno se ovšem vždy vytvořilo. Za jakýchkoliv počátečních podmínek se utvořilo hejno a velmi přirozeně a plynule oblévalo různé konfigurace překážek. Někdy se rozdělilo na více

menších a po obletu překážky se spojilo - jako by si to hejna plánovala. Otázka zněla : do jaké míry bylo chování "boidů" zabudováno do programu a do jaké míry bylo opravdu spontánně vznikající? Námitka zněla, že vlastně není způsob, jak takto definovat opravdu spontánní "vznik". Jak by se poznal, kdyby k němu došlo? Vše je vlastně již zabudováno do pravidel, podle kterých se vše řídí. Otázka míří do samého jádra problému umělého života.

- Briana Arthura napadlo využít "boidů" v aplikaci na ekonomické chování společnosti. Aplikace teorie chaosu a nelineární dynamiky na ekonomii moc doposud nepřinesla, rovněž tak obrovské simulace celosvětové ekonomiky. I astrofyzikové, snažící se o pochopení globálního celku mají odlišné modely pro jednotlivé jevy. Arthur to však chtěl zkusit i přesto. Jednou z velkých překážek byl nezáměr většiny ekonomů, držících se osvědčených přístupů. Ekonomický program byl v Santa Fe zahájen v září 1988.

- Rozběhlo se souběžně 15 workshopů s odborníky různého zaměření:

komplexnost z hlediska fyziky pevného jádra (Physics of information, Entropy, Complexity). Polský fyzik Wojciech Zurek chtěl začít od informací a komplexnosti - ve výpočtech definovanou v "computing science"-a probádat jejich souvislosti s kvantovou mechanikou, termodynamikou, kvantovou radiací černých děr a hypotetickým kvantovým vznikem univerza. Jiné workshopy slibovaly komplexní přístup k biologickým otázkám, např. k imunitnímu systému (Alan Perelson z Los Alamos : imunitní systém těla je komplexní adaptivní systém v přesně stejném smyslu jako je ekosystém a mozek). Předměty jednání byly i problémy související s imunitou - AIDS, skleróza multiplex a athritida.

Výhoda těchto mezioborových kombinací byla mimo jiné také v tom, že některé z velmi abstraktních koncepcí byly konfrontovány s oblastmi (jako molekulární základy imunity) o kterých se toho ví dost - a tak se horké hlavy mohly konfrontovat přece jen s realitami.

- Elektrizující atmosféra setkání. Cowan: "You grab them by the brains instead of by the balls". Stuart Kaufmann : "učil jsem se vidět svět úplně jinak asi tak dvakrát za den".

- Otázky typu :kam má věda nyní směřovat? Jak se vyrovnat s omezenou (bounded) racionalitou? jak se má ekonomie dále rozvíjet, jestliže její problém se stává daleko komplikovanější - jako například hra v šachy? Jak ji chápat jako vývojovou vědu, jejíž předmět se nikdy nestabilizuje kolem nějakého bodu rovnováhy? Jak potom budou vypadat počítačové simulace?

- Důvod, proč ekonomové předpokládají úplně racionální chování lidí, spočívá v možnosti spočítat, jak se budou chovat. Jak však vypadá úplně neracionální chování? Je jen jeden způsob jak být úplně racionální, ale nekonečně mnoho způsobů úplně neracionálního. Který z nich odpovídá lidem? Kde je dělící bod mezi oběma typy? Odpověď spočívá v tom, nechat to na lidech samotných - oni sami určí onen dělící bod : simulovat chování s aktivními činiteli (agents). Tito adaptabilní činitelé s umělou inteligencí jsou přesně to, co je potřeba pro simulování skutečné dynamiky v ekonomické teorii. Když je dáme do stabilní, předpověditelné situace, pak se budou nejspíš dělat ona racionální rozhodnutí, jaká předpovídá neoklasická ekonomická teorie. Jestliže je však dáme do situace, modelující změny a převraty, budou stejně tak schopni fungovat. Možná ne tak dobře, budou se lopotit a upadat a počínat si chybně - jako lidé. Pomalu se však naučí co je třeba a nabírat správný směr. Takže na rozdíl od neoklasické teorie, která nemá co říct k dynamice vývoje, model s adaptabilními činiteli má dynamiku přímo vestavěnou do sebe.

- Toto je vlastním jádrem "Santa Fe" přístupu k dynamice ekonomie. Namísto zdůrazňování poklesu přírůstku zisku, statické ekvilibrium, perfektní racionalitu - jako v neoklasické ekonomické teorii - přístup zvolený v Santa Fe zdůrazňuje rostoucí míru zisku, omezenou racionalitu (rozhodování) a dynamiku evoluce a učení. Jde o model

psychologicky daleko realističtější. Ekonomie není newtonovský stroj, ale spíše něco organického, adaptivního, pracujícího s překvapeními a živého. Svět jako dynamický, stále se měnící systém na okraji chaosu. Velký ekonom Peter Schumpeter asi neznal pojem "na okraji chaosu", uplatňoval však evoluční přístup v ekonomii již ve 30. letech. Richard Nelson a Sidney Winter z Yalské university se snažili o rozvoj dynamického přístupu mezi ekonomy v polovině 70. let. O co se snažili v Santa Fe bylo cosi ještě realističtějšího : chtěli, aby "vnitřní modely" chování vznikaly zevnitř "myslí" jejich "agents" v průběhu "učení". A měli několik metod k dispozici. Hollandův systém klasifikátorů a genetických algoritmů. Richard Palmer právě končil knihu o neuronových sítích. David Lane a Arthur věděli jak matematicky analyzovat systém, který se učí na základě pravděpodobnosti. Ermoliev a Kaniovski byli experty na stochastické učení. Měli jsme k dispozici literaturu z oblasti psychologie. Podstatné je tedy pochopit problém ekonomie z hlediska učení se a adaptace - což podstatně mění její tvář. Arthur : "Ekonomie, jak se obvykle praktikuje, funguje čistě deduktivně. Každá situace je nejdříve přeložena do matematického cvičení, které mají ekonomičtí činitelé řešit rigorózním analytickým myšlením. Naproti tomu Holland a jeho druzi říkají, že oni činitelé fungují induktivně, zkoušejí usuzovat z dílčích údajů a vytvářet si své vnitřní použitelné modely rozhodování. Inference je to, co nám umožňuje usoudit na kočku za rohem, když vidíme jen okraj ocásku. Indukce je to, co nám dovoluje přežít ve zmateném, nepředpověditelném a často nepochopitelném světě. Přestavte si situaci soutěže, jako jsou šachy. Hráči mají jen fragmentální informaci o úmyslech a schopnostech protivníka. Aby vyplnili neznámé, určitě myslí deduktivně a logicky. Tento způsob myšlení však mohou použít jen na několik kroků dopředu. Mnohem častěji však myslí induktivně, snaží se tvořit hypotézy, dělají analogie, čerpají z minulé zkušenosti a heuristicky tvoří čirým hádáním. Co funguje je dobré - i když neví proč. A z těchto všech důvodů nemůže induktivní myšlení záviset na přesné deduktivní logice. Ekonomický problém může být v podstatě dobře definován (aby umožnil dedukci), jenže prostředí (kontext), ve kterém se řeší, není a nemůže být takto dán. Kontext není statický. Prostředí, okolnostem a evoluci nezáleží na tom, zda jsou problémy dobře definovány nebo ne. Hollandův systém klasifikátorů funguje na principu jejich posilování odměnou. Fungují dobře i v prostředích, která nejsou dobře definována - tvoří si o svém prostředí hypotézy (často protichůdné), nemají k dispozici skutečná fakta. Systém testuje a vybírá ty, které jsou užitečné, chybuje, ale učí se - i když se prostředí nepředvídatelně mění. Ekonomové namítnou : jenže jejich chování není optimální, protože racionální činitelé jsou ti, kteří optimalizují "utility function" (míru užitku)! Ano, odpovídá Holland, jenže optimální vzhledem k čemu? Ve skutečném světě je nekonečné množství možností, takže neexistuje způsob, kterým by onen činitel mohl rozhodnout co je optimální - či to dokonce poznat. Problém indukce je fascinující - ekonomie se potýká s tím, že problém není pro onoho činitele dostatečně definován, prostředí také ne, stále se mění a změny nejsou dosti často zřetelné. A to je vlastně problém skutečného života. Podíváte - li se na věci takto, pak v ekonomických modelech by vlastně nemělo být žádné ekvilibrium - ekonomie by byla jako biosféra - stále se vyvíjející, stále proměnlivá, vždy neprobádané území. Frankie Hahn : Jestliže se věci neopakují, nejsou (nesměřují k) v rovnováze, co potom můžeme my ekonomové vůbec předpovědět? Jak vůbec můžeme mluvit o vědě? Hollandova odpověď : podívejte se na meteorologii. Počasí se také nikdy neustálí. Je ve své podstatě nepředpověditelné na delší dobu než je týden - nebo tak. A přesto máme skutečnou vědeckou meteorologii - bez možnosti plné predikce. A může to tak být, protože predikce není podstatou vědy. Podstatou vědy je schopnost pochopit a vysvětlit. A tak workshopy

v r.1988 nabídly něco jiné jejich účastníkům než co čekali : ne nové metody řešení problémů, ne nové algoritmy, rámce pro technická řešení - ale cosi zcela jiného. Nový přístup, nový postoj, nový pohled na svět a problém k řešení, než se kterým přišli.

- Darwinský princip relativity. Holland : Evoluce je zajisté mnohem více než jen princip náhodné mutace a přirozené selekce. Působí v ní také princip spontánního vzniku (emergence) a sebeorganizace. A přes úsilí Stuarta Kauffmana a Chrise Langtona tomu mnoho lidí dobře nerozumělo. Model evoluce se vlastně vracel zpět do 70.let, říká Holland. V té době pracoval usilovně na genetických algoritmech a knize "Adaptace". Na těchto základech Holland postavil svou přednášku v Holandsku - ovšem na trochu jiné, než očekávané téma : "Spontánní vznik" - o původu života. Zpětně nahlíženo, bylo to o něčem velmi podobném jako byly autokatalytické modely Stuarta Kauffmana, Manfreda Eigena a Otto Rösslera. Nešlo o počítačový model, ale spíše jen o model formální. Snažil se ukázat, že lze konstruovat autokatalytické systémy, ve kterých lze získat sebeopakující se entity a lze je získávat o několik řádů rychleji, než by předpovídaly obvyklé způsoby výpočtů. Ve svém matematickém modelu Holland předpokládal "polévku molekul" - náhodných symbolů, spojujících se v řetězce různých délek. Na ty působí náhodně se pohybující katalytické "enzymy" - pokyny ke spojování "molekul" v řetězce. Šlo o velmi primitivní pokyny, jako např. COPY, které se připojí k libovolnému řetězci a replikují jej. Podařilo se mu prokázat, že takovýto systém produkuje replikující se entity mnohem rychleji, než by tomu bylo pouze náhodně. Holland si však uvědomil, že stojí tváří v tvář filozofickému problému : přes svou schopnost vzniku a růstu entit je v něm zaklet "deus et machina" - systém závisí na skryté ruce programátora. Ponecháme-li stranou náboženskou stránku věci, zdá se, že svět si vede docela dobře i bez onoho prvního hybatele. Ekosystémy, ekonomie, společnosti - všechny fungují podle jakéhosi Darwinova principu relativity: vše se stále adaptuje na vše ostatní kolem sebe. A z tohoto důvodu nelze říci o jakékoliv jednotlivosti : "Její index adekvátnosti je 1,375" (ať už ten index vyjadřuje cokoliv, nemůže to být jedno obyčejné číslo - což je problém, o který se biologové sváří od darwinových časů). Schopnost každého daného organismu přežít a reprodukovat se spočívá na "niché", které

zaplňuje, na tom jaké další organizmy jsou v jeho okolí, jak dostupné má zdroje a jaká je jeho minulost. Posun měřítek pro hodnocení schopnosti přežít je podstatný. Biologové si pro to vymysleli zvláštní termín - organizmy v ekosystému se jen nevyvíjejí (evolve), ale spoluvyvíjejí se (coevolve). Organizmy, které maximalizují svou schopnost přežít v pojetí klasické populační genetiky vypadají jako ony "činitelé" neoklasické ekonomické teorie, kteří maximalizují přírůstek užité hodnoty. Skutečné organizmy trvale krouží a pronásledují se navzájem v nekonečně složitém tanci koevoluce.

- Tanec koevoluce zní jako recept na chaos. Jenže produkuje výsledky, které nejsou vůbec chaotické. Jeho výsledkem jsou rostliny a hmyz, který je potřebuje, potravní řetězce býložravých živočichů a dravců, spousty jedinců dokonale si přizpůsobených navzájem, i prostředí, ve kterém žijí. Ve světě lidí vyústil v úžasnou síť ekonomických a politických vztahů - aliancí, rivalit, vztahů nabídky a poptávky atd. Tvoří dynamiku ve světě mezinárodních vztahů, aniž je v něm nějaká ústřední určující autorita. Koevoluce je mocnou silou působící na vznik a sebeorganizaci jakéhokoliv komplexního adaptivního systému. Chceme-li však porozumět opravdu dobře tomuto jevu, musíme si odmyslet předpoklad posílení odměnou zvnějšku - pochází z ekonomické metafory o rostoucí míře zisku v tržním prostředí. Holland se tedy rozhodl použít ještě elementárnější motiv pro své činitele : souboj. Přišel s počítačovým modelem ekologie, kde se digitální jedinci toulají digitálním prostředím a hledají pro sebe obživu, aby mohli trvat a replikovat se - když se potkají,

zkoušejí udělat zdroj obživy jeden z druhého. Postihl tak podstatu biologického soupeření - biologických závodů ve zbrojení. Jde o tzv. hypotézu Rudé královny (podle postavy Lewise Carolla - "Alenka v říši divů a za zrcadlem", kde Alence je řečeno, že musí běžet jak jen nejrychleji dovede, aby zůstala stát na místě). Evoluční "zbrojení" se zdá být důležitým podnětem pro stále rostoucí složitost a specializaci přirozeného světa (úloha vzdělávání?). Jeden organizmus si přidá pár chromozómů aby byl agresivnější, druhý zase několik aby byl účinnější při obraně. Jsou progresivně složitější a někdy se rozdělí - a máme nový druh. Holland chtěl přijít na kloub hlubokému paradoxu evoluce: skutečnosti, že ta stejná neúnavná soupeřivost, která zdokonaluje vzájemné zbrojení, někdy vede k symbióze a dalším formám spolupráce. Proč vůbec ve světě soupeření spolu organizmy spolupracují? Podstata problému je pěkně zachycena ve scénáři známém jako "věžňovo dilema", původně vyvinutém v rámci odvětví matematiky, známém jako teorie her. Dva zatčení, držení odděleně, jsou vyslýcháni ohledně zločinu, který spáchali. Vědí, že budou-li oba mlčet, budou muset být propuštěni pro nedostatek důkazů. Policie však to ví a proto jim nabízí imunitu a odměnu za sdělení, které by usvědčilo toho druhého.

Usvědčený bude odsouzen za oba a navíc bude muset uhradit i onu odměnu. Bude-li však mluvit oba, budou oba maximálně potrestáni a odměnu nedostane žádný. Co tedy dělat? Spolupracovat, či mlčet? Železná logika věci vede k nejméně žádoucímu výsledku - vězení pro oba. Takže proč by měly organizmy vzájemně spolupracovat? Počítačová simulace, při které se 200x opakoval daný problém v interakci dvou počítačů ukázala, že nejlepší strategií je být spočátku "slušný" (nezradit), pokud druhý zradí jednu, přistě odpustit, při dalších zradách však tvrdě trestat a nadále být konzistentní - tedy chovat se odhadnutelně pro druhého. Kniha Roberta Axelroda "The Evolution of Cooperation", 1984 - je o této strategii "žít a nechat žít" (který se mj. vyvinul spontánně v zákopové I.světové válce). Axelrod a William Hamilton publikovali studii, ve které doložili vývoj interakcí některých organismů ke spolupráci v přirozených podmínkách i bez předpokladu jejich "intelektu". Navíc, spolupráce uvnitř druhu podporuje šanci na přežití a jednou naučená, má tendenci trvat.

- Holland měl nakonec tři paralelně pracující modely - model trhu akcií, model imunitního systému a model vyvinutý Tomem Sargentem, ekonomem ze Stanfordu, představujícím trh. Uvědomil si, že mají hodně podobného : "obchod" - vzájemnou výměnu, "transformaci zdrojů", dále "výběr partnerů" - působící jako technická inovace. A začal pracovat na sjednocené verzi.

- V r.1989 uvedla firma Maxis Company, Orinda, California, na trh simulační hru jménem SimCity, ve které hráč zaujímá roli starosty a snaží se vést své město k rozkvětu. Santa Fe Institute patrně tuto hru koupil a adaptoval k výše uvedeným účelům.

- Trh akcií je vlastně simulací skutečného života, je nervózní, depresivní i sebejistý.

Předpoklad racionality i zde platí omezeně.

- Při konstruování samoučících se systémů předběžně platí, že lépe se učí ty, které mají plochou a širokou strukturu vnitřních pravidel pro nejrůznější varianty případů. Hůře jsou na tom ty, kde řetězce příkazů jsou do hloubky a různá pravidla pro postup čekají na jiná. Dobré je, když architektura umožňuje souběžné ověřování více hypotéz, než jen vždy jednu po druhé.

8 . Waiting for Carnot

- Langton: Umělý život představuje vlastně obrácenou konvenční biologii. Namísto snahy porozumět životu analytickým postupem, umělý život chce pochopit jeho principy syntézou : sestavením jednotlivých částí tak, aby člověkem vytvořený systém byl co nejpodobnější

živému. Heslem je : život není vlastností hmoty jako takové, ale způsobem organizace hmoty. Zákony života musí být zákony dynamických forem, nezávislé na detailech chemických sloučenin uhlíku, protože ta se náhodou rozvinula v podmínkách Země před miliardami let.

"Pouze budeme-li schopni pohlížet na život jak jej známe v kontextu toho, jak by život mohl být, budeme schopni pochopit povahu organismů". Jde o tendenci pochopit život ve smyslu abstraktní organizace. Základy byly položeny logiky v obecné teorii výpočtů a vrcholily v prvních desetiletích tohoto století v pracech Alonzo Churcha, Kurta Gödela, Alana Turinga a dalších. Ti přišli s názorem, že podstatou mechanických procesů a jejich chování je "abstraktní řídicí struktura", program, který lze vyjádřit posloupností pravidel.

- Živé systémy jsou stroje, budiž, ale stroje s velmi různým

druhem organizace než jak jsme zvyklí. Nejsou sestrojeny shora dolů, jak by to dělal inženýr, ale naopak, vždy odspodu nahoru, počínaje populacemi mnohem jednodušších systémů. Platí to u molekul, neuronů, mravenců a v ekonomii i u lidí. To je představa, která platí u komplexních adaptivních systémů obecně. Jedním z nejvíce překvapujících závěrů, ke kterým jsme došli při simulování komplexních systémů na počítačích je to, že složité chování nemusí mít složité kořeny. Skutečně, velmi zajímavé a překvapující chování může být dáno souborem několika velmi jednoduchých pravidel. Jako chování oněch létajících "boidů" - pravidla určovala chování jednotlivců vzhledem k okolí - a měla tendenci ovlivnit i chování celku.

- Protože je prakticky nemožné dát pravidla pro všechny myslitelné situace, systémy řízené pravidly shora - dolů musí vždy narážet na kombinace událostí, s nimiž si neví rady. Mají tendenci být citlivé a křehké a příliš často zůstanou trčet v nerozhodnosti.

- Langton : cesta, jak dosáhnout simulace chování živého organismu spočívá ve vytváření populací jednoduchých jednotek místo velkých komplexů. V používání lokálních řídicích pravidel namísto globálních pravidel. Chování nechť vyrůstá odspodu nahoru, namísto aby bylo určováno shora. A zatímco to běží, je třeba se zaměřit na průběh chování a ne na konečný výsledek. "Živé systémy nejsou nikdy "usedlé". Dostáváme se k nové a zcela vědecké verzi vitalizmu : nejde o to vdechnout život stroji, jde spíš o to, aby populace strojů byla živá svou dynamikou.

- Třetí významná myšlenka, který vyplynula z workshopu je ta, že život možná není jako počty ve smyslu vlastnosti organizace spíše než molekul. Život doslova jsou počty.

- Jednou z výrazných charakteristik života je, jak zdůrazňují biologové po více než století, rozdíl mezi genotypem (plán organismu zabudovaný v DNA) a fenotypem (konkretní struktura realizovaná podle tohoto plánu). Posuneme-li se od biologie založené na uhlíku do obecné biologie umělého života, platí stejná pravidla. Obecný (generalizovaný) genotyp (GTYPE) se týká souboru pravidel vztahujících se k nízké úrovni organizace. Generalizovaný fenotyp (PTYPE) se týká pravidel, aktivizovaných v nějakém konkrétním prostředí. V jazyce programování GTYPE je počítačový program sám, zatímco PTYPE je to, co program dělá jako reakce na vstupy ze strany uživatele. V případě buněčných automatů GTYPE jsou pravidla řídicí jednotlivé buňky. PTYPE je jejich celkový strukturální vzorec. Obecněji řečeno, GTYPE je v podstatě shodný s konceptem "interního modelu" Johna Hollanda. U všech komplexních adaptivních systémů platí, že jak se jejich GTYPE rozvíjí (unfolds) do PTYPE, jejich aktivní jednotky (agents) dělají "výpočty".

- Jakmile si jednou uvědomíme spojitost mezi životem a počítáním (computation), dá se využít spousta teorie. Například: proč je život tak plný překvapení? Protože, obecně řečeno, není možné začít od dané soustavy pravidel GTYPE a předpovědět jaké bude jejich PTYPE chování. To je teorém nerozhodnutelnosti, jeden z nejzávažnějších výsledků počítačové

vědy : pokud není počítačový program naprosto triviální, pak nejrychlejší způsob jak zjistit co bude dělat je prostě zkusit to. Neexistuje obecný postup, který by umožnil prohlédnout počítačový program (code) a vstupní údaje a rychleji řekl jak to dopadne. Každý program, natolik složitý, aby byl zajímavý, vždy má pro své programátory nějaké překvapení. A to je důvod, pro který živý systém může sice být biochemickým strojem, úplně řízeným svým programem (GTYPE) a přesto vykazovat spontánní a překvapivé chování (PTYPE). Na druhé straně - říká Langton - nejde však také jít obráceně : jsou-li dány charakteristiky nějakého zamýšleného chování (PTYPE), neexistuje obecný postup jak nalézt sadu pravidel GTYPE, které je zajistí. V praxi však programátoři usilují o vypracování programů k řešení jasně definovaných problémů pro jasně definovaná prostředí. V situacích, kdy formulace problémů není jasná a prostředí se stále mění, nezbyvá než přístup pokusem a omylem, známý také jako Darwinův přirozený výběr. Příroda to dělá tak, že buduje spoustu strojů se spoustou náhodně postavených GTYPE a ničí ty, které dobře nepracují. Analogicky pak, genetické algoritmy Johna Hollanda mohou představovat jediný realistický způsob jak programovat počítače aby byly schopné vypořádat se se zmatenými, špatně definovanými problémy. Je docela dobře možné, že toto je jediný účinný obecný postup, který by mohl najít GTYPE se specifickými rysy PTYPu, píše Langton.

- Nevyhnutelná otázka : mohli by lidé někdy opravdu vytvořit skutečný život? Odpověď váže na otázku : co - přesně řečeno - je život? Jak se pozná kdy jsme jej dosáhli a kdy ještě ne? Nikdo totiž nemá jasnou představu, jak by umělý skutečný život měl vypadat. Půjde o superprogram s robotem? Nebo geneticky zkonstruovaný organizmus? Nebo snad o supervzdělaný počítačový virus? Počítačové viry jsou nejbliže k překročení oné pomyslné linie. Umí se množit, replikovat v jiných počítačích a discích. Umí se uložit do počítačových programů (analogií DNA). Umí změnit metabolismus svých hostitelů pro své vlastní účely velmi podobně jako skutečné viry. Umí reagovat na podněty z prostředí (počítače). A díky smyslu pro humor jejich tvůrců umí se také mutovat a vyvíjet. Je pravda že žijí jen v kybernetickém prostoru počítačů a počítačových sítí a ne mimo něj - to je však ještě nevylučuje z definice živých. Jestliže je totiž život jen otázkou organizace, jak tvrdí Langton, pak správně organizovaná entita je doslova živá a nezáleží na tom, z čeho je. Langton nemá pochyb o tom, že umělý život bude jednou skutečností.

- V polovině tohoto století jsme dosáhli schopnosti zničit život. V polovině příštího nepochybně budeme mít schopnost jej stvořit. Není jasné, co bude větší morální, filozofický, náboženský a sociální problém.

- Doyne Farmer, Alletta Belin: Artificial life : The Coming Evolution : "S úsvitem umělého života jsme v situaci, kdy můžeme stvořit své vlastní (evoluční) následovníky".

- Farmer : Proč hmota nabývá více a více organizovaných podob v makro měřítku a současně se stává čím dál tím více dezorganizovanou v mikro měřítku? Jak to, že navzdory obecně platné entropii nabývá hmota stále strukturovanější podoby? Uvažovali o tom už Norbert Wiener (kybernetika), Ilja Prigogin (sebeorganizace) a Hermann Haken (synergetika), latentně i Herbert Spencer, popularizující Darwinovo dílo v 60. letech 19. století.

- Co to skutečně znamená, když se říká, že celek je víc, než součet jeho částí? Neživá i živá příroda je plná dokladů o tendenci dílčích autonomních jednotek spojovat se v celky vyššího řádu, zajišťující menší energetickou náročnost, či větší možnost uhájení existence. Neustálým hledáním vzájemného přizpůsobení a forem vlastního trvání dosahují soubory autonomních jednotek možnosti překročit sebe samotné jako jednotlivce a stát se něčím navíc.

- Farmera zaujala zejména myšlenka "konekcionizmu" :spočívá v představě populace aktivních prvků spojených sítí sestávajících z "uzlů" a "spojů" ve společné interakci. Modelů tohoto druhu jsou desítky. Byly vytvořeny různými lidmi , vyjadřují představy o různých problémech a jsou vyjádřeny různými jazyky. Když se však podíváme na jejich podstatu, vypadají nakonec všechny stejně. Příklady : neuronové sítě, Hollandův systém klasifikátorů, Kaufmannova a Packardova autokatalyzátorů a vzniku života,, Kaufmannův model genomu. Když se Farmer snažil jít až na podstatu těchto modelů, zjistil, že jejich síla spočívá právě ve spojení (connections). Při učení a evoluci je chování celku sítě dáno právě funkcí spojovacích uzlů. V jazyce Chrise Langtona právě spoje zakódovávají GTYPE dané sítě. Ke změně chování PTYPE je jednoduše třeba změnit spoje. Dá se to dělat dvěma způsoby. První z nich je nechat je jak jsou, jen změnit jejich "sílu". Odpovídá to exploatačnímu učení (zlepšení existujícího stavu). Druhý, radikálnější způsob spočívá ve změně spojovacího schématu. To odpovídá Hollandovu názvu explorační učení (podstoupit velké riziko s nadějí, že to vyjde a něco přinese). Idea konekcionizmu říká, že kapacita pro učení a evoluci může vzniknout i když spojovací uzly, tj. jednotlivé propojené elementy jsou bez intelektu a dokonce neživé. Obecněji řečeno, vybavíme-li energii spoje a ne uzly, dostaneme to, co Langton mínil v souvislosti s umělým životem - podstatou života je organizace a ne molekuly. Ukazuje nám to také na směr úvah o tom, jak by mohl vzniknout život a inteligence v univerzu, kde předtím nic takového nebylo.

- Konekcionistické modely však neříkají jak se "vznik" (emergence) projevuje v ekonomice, lidské společnosti či ekosystémech, kde jsou ony uzly inteligentní a neustále se navzájem adaptují. K pochopení je třeba vzít v úvahu obrazné vyjádření koevolučního "tance" spolupráce a soupeření. Především a navíc, podle Farmera, ani konekcionistické, ani koevolucionistické modely neříkají, co dělá život možným. Je ještě potřeba něco navíc. Něco jako druhý zákon termodynamiky - Langtonův objev podivného rozhraní, chaosu na fázového přechodu buněčných automatů je asi pořádný kus odpovědi. Langton říká, že to něco co dělá život i inteligenci možným je určité balancování mezi silami řádu a silami opačnými. Člověk by se měl podle něho dívat na to, jak se systémy chovají a ne z čeho jsou sestaveny. Právě mezi oběma extrémy - řádem a chaosem je ono místo fázového přechodu, okraj, kde také existuje komplexnost. Třída chování, ve které složky systému nejsou ani zcela pevně fixovány, ani nejsou strženy turbulencí. Jsou to soustavy jak dostatečně stabilní, aby mohly uchovávat informace, tak i zanikající, aby mohly informaci předávat dále. A to právě jsou systémy, které mohou být uspořádány tak, aby uměly složité "počítat", reagovat na podněty z vnějšku, být spontánní, adaptivní a živé.

- Přesně řečeno, Langton demonstroval spojení mezi komplexitou a fázovým přechodem jen u buněčných automatů. Nikdo neví, jestli se toto spojení potvrdí u jiných modelů nebo ve skutečnosti. Jsou však důvody, které tomu nasvědčují. Konekcionistických modelů bylo za pár posledních desetiletí řada. Člověk cítí mezi nimi podobnost, ale je těžké vyjádřit věci přesně. Navíc, není zřejmé jak aplikovat myšlenku fázového přechodu - chaosu na koevoluční systémy. Když se vezmou ekonomie a ekosystém, není už tak zřejmé jak v jejich rámci přesně definovat koncepty jako je řád, chaos a komplexnost a tím méně "fázový přechod". Přesto však člověk intuitivně cítí, že to nějak "sedí". Totalitární společenské (a ústředně řízené ekonomické) systémy jsou příliš uzavřené, dlouhodobě se jim nevede. Anarchie v jakémkoliv podobě také neprosperuje. Zdravé společnosti a zdravé ekonomie se zdají být právě na rozhraní a udržují řád i volnost v rovnováze. Jako živé buňky, musí udržovat hustou síť zpětných vazeb a pravidel, přitom ponechat hodně prostoru pro tvořivost, změnu a reakce na nové podmínky. Evoluci se daří v systémech s organizací odspodu nahoru

zajišťující flexibilitu. Současně však musí evoluce držet tento informační tok zkrátka, aby nezničil vlastní organizaci. Musí být nějaká hierarchie řídicí toky informací. A dynamika komplexnosti právě na okraji chaosu se zdá být pro to ideální.

- Jak se však vznikající systémy dostanou do této fáze, jak se tam udrží a co tam dělají? V mlhavě heuristickém vyjadřování stačí přesvědčit sama sebe, že první dvě otázky už zodpověděl Charles Darwin. Dalo by se očekávat, že mechanismy učení a evoluce udržují "okraj chaosu" stabilní, jako přirozené místo pro organizmy. Třetí otázka, co tam systémy dělají, je však o něco "fajnovější". V prostoru všech myslitelných dynamických chování představuje okraj chaosu jen jakousi nekonečně tenkou membránu, oblast speciálního komplexního chování oddělujícího chaos od řádu. Což nevádí, povrch oceánu je také tenký přesně jen jednu molekulu. Když John Holland mluví o "opakujících se inovacích" (perpetual novelty), mluví o adaptivních činitelích (agents), pohybujících se po této tenké membráně.

- Jádrem onoho hledaného "druhého zákona termodynamiky" však bude ještě něco jiného. Nebude ani tak o mechanismu, jako spíše o směru evoluce. Vývoj směřuje stále k věcem složitějším, chytřejším a strukturovanějším. Učení a evoluce posunují život po tenké blance fázového přechodu směrem k větší komplexnosti. Proč? Choulostivá otázka. Jak formulovat "pokrok" v biologii? Bez objektivní definice toho, co znamená být "fit", pak "přežití toho nejvhodnějšího" je tautologií - "přežití přežívajících". Přesto se dá vidět trend k rostoucí "solistikovanosti", komplexnosti a funkčnosti. Ať už je to obtížně vyjádřitelné jak chce, rostoucí "kvalita evolučního designu" je jednou z nejvíce fascinujících a nejhlubších nápovědí toho, o čem život je.

- Některé experimenty s autokatalytickými modely umožňovaly občasně spontánní reakce, které měly za následek zničení mnoha autokatalytických jednotek (agents). Jejich zmar však inicioval lavinu inovací v další generaci - některé změny byly zvýrazněny a posléze stabilizovány - až do další havárie. Každý vznik nového změny okolnosti v prostředí a usnadňuje to další generaci. - Vzpomeňte si na vznik termodynamiky kolem roku 1820. Jen malá menšina zastávala názor, že teplo je vlastně mikroskopický pohyb atomů. Nikdo si neuměl představit složité parní stroje, chemické reakce a elektrické baterie apolečně řízené jednoduchým obecným zákonem. Až v roce 1824 publikoval mladý Francouz Sadi Carnot cosi, co vešlo později ve známost jako druhý zákon termodynamiky: myšlenku, že teplo spontánně putuje od teplejších objektů ke studenějším. Statistické vysvětlení tohoto zákona (atomy se snaží stále znáhodňovat) přišlo o dvacet let později. Teprve v r.1840 položil anlický pivovarník a amatérský vědec James Joule experimentální základy prvního zákona termodynamiky - zákona zachování energie. A explicitní matematickou podobu dostaly tyto zákony až v 50. letech 19. století.

- Pomalu se přibližujeme k tomuto bodu formulace teorie o sebeorganizaci, říká Farmer. Jenže organizace se ukazuje být daleko složitější pro pochopení než dezorganizace. Stále nám chybí klíčová myšlenka - alespoň v krystalicky čisté a kvantitativní podobě. Doposud rozumíme jen jednotlivým kusům skládačky, každé v jejím izolovaném kontextu. Například nerozumíme dobře chaosu a fraktálům, které nám ukazují, jak jednoduché systémy s jednoduchými prvky generují složité systémy. Jednou snad budeme schopni poodstoupit a poskládat všechny známé fragmenty do úplné teorie evoluce a sebeorganizace.

- Co hledáme ve vědě o komplexních systémech, je obecný zákon o formování strukturních vzorců v nerovnovážných systémech platný v celém univerzu. Jsme jen několik let zpět před novodobým Carnotem.

- Myšlenka, že na okraji chaosu existuje evoluce, je jen jedním z kroků, kterými se snažíme pochopit vzájemné snoubení sebeorganizace a přirozeného výběru. Kauffman : " Nikdy jsem nepochyboval o tom, že přirozený výběr funguje. Jen jsem si myslel, že ještě hlubší mechanismus je sebeorganizace".Kauffman návštěvou u Johna Maynarda Smithe (biolog na University of Sussex): "...ti, kdo to mysleli s přirozeným výběrem vážně, byli především angličtí venkovští gentlemani - jako Darwin. Ti, kdo mysleli, že přirozený výběr nemá s biologickou evolucí až tak moc společného byli měšťtí Židé!"

Kauffmanova kniha "The Origins of Life", 1992, shrnuje jeho myšlení o této věci za posledních 30 let. Zpočátku byl toho názoru, že sebeorganizace a selekce stojí ve vzájemné opozici. Selekcce může chtít jedno, jenže princip sebeorganizace dovolí systému chovat se jen omezeně. Takže oba principy spolu soupeří, až dosáhnou nějakého bodu rovnováhy, ze kterého selekce neustoupí. Tak se mu věci jevily až do dvou třetin knihy, do poloviny 80.let, kdy přibyl do Santa Fe a slyšel o chaosu. Tam se setkal s pracemi Langtona a Normana Packarda "Adaptation to the Edge of Chaos", 1988. Tam teprve Kauffmanovi došlo, že jeho starý problém (sebeorganizace x selekce) stojí jinak. Živé systémy jsou velmi blízko oné hranici mezi chaosem a řádem, v poloze fázového přechodu mezi oběma, a přirozený výběr není v antagonistické pozici vůči sebeorganizaci. Je to spíše jako zákon pohybu - síla, která trvale tlačí vznikající, sebeorganizující se systémy na okraj chaosu.

- Fyzik Per Bak a kol. z Brookhaven National Laboratory v Long Island publikovali v r.1987 velmi podobné myšlenky, týkající se "self-organized criticality". Jeho formulace fázového přechodu byla přinejmenším stejně jednoduchá a elegantní jako Langtonova, přitom však tak jiná, že občas bylo těžké porozumět, jaký je mezi nimi vztah. Vysvětloval, že jeho kolegové Chao Tang a Kurt Wiesenfeld objevili "sebeorganizující se kritický bod" v r.1986. Zabývali se studiem pevných látek, jevu známého jako "charge-density waves". Uvědomili si, že narazili na něco významného. Příklad : přisypávejte na stůl zrnka písku. Vrš se do kužele tak dlouho, až už se nemohou unést, starý písek se svezde dolů jak se nový přisypává. Úplně obráceně to funguje také - můžete začít s obrovskou hromadou písku - lavinovitě se bude usypávat, až všechen přebytečný písek odpadne. Tak či tak, výsledná hromádka písku je projevem sebeorganizace - v tom smyslu, že dosáhne stabilního stavu sama, aniž by ji někdo explicitně tvaroval. A je ve stavu "kritického bodu", protože zrnka písku na jejím povrchu sotva drží. Je to analogie ke kritickému množství štěpného materiálu - překročíme-li je, nastane řetězová reakce. Mikroskopické povrchy a hrany zrněk jsou do sebe nejruznějším způsobem zaklesnuty a stačí jen málo, aby se daly do pohybu. A když padají další, nedá se říci, co se v jednotlivých případech stane. Možná to celé spadne, možná ne. Možná dojde jen k malému posunu. Velké laviny jsou vzácné, malé časté. Malé přírůstky však mohou spustit cokoliv. Skutečnost, která je matematicky vyjádřena jako "zákon síly" (power law) chování lavin: průměrná frekvence (výskytu) laviny dané velikosti je nepřímo úměrná mohutnosti její síly. Jevy tohoto druhu jsou v přírodě vlastně velmi časté. Tak časté, že se ani neptáme po jejich podstatě. Stejně tak jako zrnka písku i přírůstky energie, vody či elektronů přivádějí mnoho systémů v přírodě do kritického stavu. Dalším příkladem jsou zemětřesení, chování lidí na trhu s cennými papíry, chování městské dopravy. Přes zřejmou podobnost těchto jevů nexistuje obecná teorie, která by je vysvětlovala a tím méně byla schopna předpovědět jednotlivé výskyty přechodového chování. Je to další případ dokládající starý závěr, že pochopení podstaty jevu ještě nemusí vyústit ve schopnost predikce.

- Sebeorganizující kritické stavy se zdály být dalším kusem do hádanky jménem "okraj chaosu". Jde jen o to, kam patří. Je to něco podobného fázovému přechodu. Existují však i

rozdíly - Langtonovy systémy na pokraji chaosu vykazovaly schopnost "počítat" a chovat se téměř jako "živé". Dá se to však říci o jevech, o kterých mluvil Bak? Není jasné jak obě kategorie jevů spolu souvisejí. Je jedna věc mluvit o individuálních činitelích (agents) a jejich poloze na okraji chaosu. To je přesně ona dynamická oblast, dovolující jim myslet a být živými. Jenže co s celými soubory těchto činitelů jako celky? Ekonomie - říká se, že má své "nálady" a prožívá "horečky". Je rovněž v oné poloze na okraji chaosu? A co ekosystém a imunitní systém a globální komunita národů? Intuitivně by tomu chtěl jeden věřit - jako analogiím. Jenže jak takové představy ověřovat? Jak má člověk vědět co je jednoduché a co složité když pozoruje chování na Wall Street? A co to přesně znamená, když řekneme, že globální politika a brazilský deštný prales jsou na pokraji chaosu?

- Bak nabídl odpověď na tyto otázky: dá se říci, že systém je ve stavu "kritického bodu" (na okraji chaosu), jestliže vykazuje vlny změn a převratné změny různých měřítek a jestliže velikost těchto změn se řídí "zákonem síly" (power law). To je jen matematicky přesnější vyjádření toho, co Langton říkal už dávno, tj. že systémy mohou vykazovat složité chování, podobné životu, jen pokud se nacházejí v oné správné poloze vyrovnanosti mezi stabilitou a proměnlivostí. Dá se to doložit na příkladě vyzrálého průmyslového odvětví nebo všude, kde existuje těsně spolupracující populace jednotek (agents). Ty se spolu dostanou do "sebeuspořádaného kritického stavu" (self - organized criticality), s lavinami změn. Nebo podobně i odborníci v paleontologii Stephen J. Gould a Niles Elbridge tvrdí, že proces pomalých evolučních změn je následován prudkými změnami.

- Kaufman začal přemýšlet, zda tyto kaskády prudkých evolučních změn platí obecně pro všechny "živé" systémy na okraji chaosu: trh akcií, technické sítě, deštný prales atd. Zdá se, že ano. důkazy však chybí.

- Představíme-li si údolí, kde v hloubce jsou nižší vývojové strategie pro přežití, každá náhodná mutace, přinášející změnu znamená postoupit po úbočí výše, pak organizmy na sobě závislé budou ve svých obranných a útočných strategiích přežití postupovat výše vlastně společně - krok za krokem. Jaká bude dynamika tohoto řetězu vývojových změn? Asi taková, jak to definoval již Langton: v uspořádaném režimu, v režimu chaosu a v režimu fázového přechodu mezi oběma. Simulováno počítačem, člověk vidí na obrazovce pulzovat život. Ostrůvky červených a zelených skvrn se navzájem pronikají, "vystřelují" odnože do stran jako náhodné fraktály. Některé části se dostanou do dočasné rovnováhy, jiné mění barvu, jak najdou nový způsob evoluce. A pak občas se přes obrazovku přelije vlna změn, která smete všechno a transformuje ekosystém k nepoznání.

- Hypotéza: když systémy chtějí úspěšně řešit nějaký globální, zkušenosti a rutiny překračující úkol, pak mají tendenci jít ve své organizační struktuře na onen okraj chaosu - ten jim dovolí uvolnit síly a tvořivost potřebnou ke zvládnutí věci - k evoluční změně.

- Další aspekt onoho nového druhého zákona (termodynamiky): proč se organizmy vyvinuly do tak komplexních podob? V čem je výhoda? Walter Fontana: Když se podíváme na univerzum a velikostní měřítko, vidíme rozsah od kvarků po galaxie, vidíme, že komplexní jevy, které spojujeme se životem, se vyskytují jen v měřítku molekul. Proč? Život má chemickou podstatu. Ale proč? Co umožňuje molekulám projevit se způsobem, kterým nemohou kvazary? Prvním zdrojem síly chemických procesů je jednoduše jejich variabilita: atomy mohou - na rozdíl od kvarků (které umí dát dohromady jen protony a neutrony do tříčlenných skupin) - být uspořádány a přeorganizovány do obrovské variační širší konfigurací. mají větší prostor. Druhým zdrojem síly je reaktivita: struktura A může manipulovat strukturou B tak, aby vzniklo něco nového - struktura C.

Tento přístup vynechal záměrně řadu důležitých faktorů (poměrové konstanty, teplotní závislosti a další), které jsou významné pro pochopení chemie. Podle Fontany se však "koncept" chemie dá aplikovat na celou řadu komplexních systémů včetně ekonomie, techniky a dokonce myšlení. A z tohoto důvodu by počítačový model podstatných chemických principů (např. různosti a reaktivity) mohl dobře posloužit jako docela nový přístup ke studiu růstu komplexnosti ve světě.

- A Fontana se do toho pustil. Pokusil se definovat a naprogramovat "algoritmickou chemii". Jak už dávno říkal von Neumann, počítač (computer code) žije dvojitý život. Na jedné straně je to program, tj. serie povelů říkajících počítači, co má dělat. Na druhé straně jsou to jen údaje (data), řetěz symbolů sedících někde uvnitř paměti počítače. Zkusme tedy jakousi "chemickou reakci" mezi dvěma programy. ať se program A načte do programu B jako "vstupní data" a pak nechte se to celé "provede" (execute) do výstupní podoby - což bude počítač brát jako nový program C (Fontana k tomu použil svou interaktivní úpravu jazyka LISP). V dalším kroku vezměme hromadu takovýchto programů sestávajících se z řetězců symbolů, dejme je do simulované mísy zcela náhodně a dívejme se co začne. Dělo se něco vlastně velmi podobného Kauffmanovým autokatalytickým modelům. Tento ALCHEMY program ukazoval na to, že populace čistých procesů - jeho symbolických programů - stačí na spuštění spontánního vzniku některých velmi vitálních struktur. Kauffman to inspirovalo k replikování vlastních pokusů a uvědomil si, že Fontana definoval "abstraktní chemii" jako zcela nový způsob uvažování o problémech vzniku a komplexnosti. Kauffman abstrahoval Fontanův pokus ještě o krok dále. Použil "molekul" v podobě binárního kódu - tedy řad symbolů jako např. lloiooill, io, lllll atd.

"Chemickými" pravidly jeho modelu byly jen pokyny, jak se mohou určité řetězce symbolů transformovat do jiných (gramatika transformace řetězců symbolů). Některé z řetězců budou delší než původní. Některé z nových řetězců byly sice shodné se starými, vznikly však jiným způsobem : což by odpovídalo modelu, který umí dávat vzniknout novému. Pak tam byly případy, kdy řetězce jen opakovaly samy sebe. A co to má celé společného s tajemným růstem složitosti? Podle Kauffmana možná hodně : "Růst komplexnosti skutečně má cosi společného se systémy vzdálenými stavu rovnováhy, které se budují kaskádovitými skoky do vyšších a vyšších úrovní organizace. Klíčovým poznatkem je, že jakmile jednou vzniknou složitější entity, jsou mezi sebou a na sebe schopny působit." Jakmile jednou dostanete dostatečný stupeň různorodosti objektů vyšší úrovně, projdete jakýmsi druhem autokatalytické přechodové fáze - a dostanete ohromně "plodné" jedince. A toto také asi patří do onoho hledaného nového "druhého zákona dynamiky". Kauffman : "mám pocit, že jedinci se strukturami vyššího řádu vznikají proto, protože mají schopnost rychleji vychytávat věci plynoucí kolem nich". Co bych rád viděl, je teorie spojených procesů, které se budují co objektů, které spolu soupeří o "potravu" - a současně je to nutí být právě na pokraji chaosu. To vše je zatím jen intuice, ale mám z ní dobrý dojem.

- Dooyne Farmer : věda je o spoustě věcech, její předmět má mnoho podob. Je o akumulaci faktů a dat. Je o konstrukci logicky konzistentních teorií, která tato fakta mají vysvětlovat. Týká se objevů nových materiálů a postupů. Ale ve své pravé podstatě se věda zabývá vyprávěním příběhu. Příběhu vysvětlujícím co je svět a jak vznikl takový, jaký je. A podobně jako starší vysvětlení, jako jsou mýty o stvoření, epické legendy a pohádky, příběhy vyprávěné vědou nám pomáhají částečně porozumět tomu, o čem jsme my jako lidé a v jakém vztahu máme být k univerzu. Otázky jako jak život vznikl a proč jsou živé systémy takové jaké jsou, patří k těm základním. Čím více víme o podobných věcech, tím blíže se ocitáme u té nejzákladnější otázky : jaký je smysl života? Věda se však nemůže nikdy

pokusit o přímý útok na otázky, jako je tato. Avšak pokládáním poněkud jiných otázek, jako : Proč dochází k nevyhnutelnému růstu složitosti? můžeme se přiučit čemusi základnímu o životě, co by nabízelo odpověď po jeho smyslu. Podobně jako Einstein osvětlil problém času a prostoru, když se snažil pochopit co je to přitažlivost. Analogie mě napadá z astronomie : když se snažíte dívat na velmi vzdálené hvězdy, je třeba se dívat tak, aby byly na okraji zorného pole oka. Když se na ně díváte přímo, nevidíte je, protože oko je tak citlivější. Podobně, říká Farmer, pochopení nevyhnutelnosti růstu komplexnosti nám nedá vědeckou teorii morálky. Může nám to pomoci pochopit kdo a co jsme a procesům, které vedly k existenci mozku i sociálních struktur - a pak budeme moci se lépe dobrat podstaty morálky než je tomu dnes.

- Když opustíme konvenční náboženství, nevíme jakých pravidel chování se dále držet. Když však jdeme na podstatu věci, náboženství a pravidla etiky poskytují návody pro strukturování chování lidí tak, aby mohla společnost fungovat. V průběhu evolučního procesu lidské společnosti neustále experimentují a úspěchy či neúspěchy těchto pokusů určují, které kulturní ideje a morální kodexy se budou udržovat do budoucna. Teorie, která důkladně vysvětlí to, jak jsou koevoluční systémy vedeny k "pokraji chaosu" nám může mnoho říct o kulturní dynamice a jak lidská společenství dosahují stále unikajícího, proměnlivého bodu rovnováhy mezi svobodou a nesvobodou.

- Pohled na svět skrze brýle "fázového přechodu". Bipolární svět a studená válka dosáhly stability díky věrohodné možnosti vzájemné destrukce . Po desetiletí se nic moc neměnilo. Nyní toto "stabilní" období skončilo a jsme v čase nestability - místní konflikty propukly na řadě míst světa. Možnosti velké války jsou relativně větší - svět je daleko citlivější na počáteční podmínky. Dosažení dalšího období vzájemné stability může stát dosti vysokou cenou - tato období evolučních změn mohou být dosti "drahá". Pochopení těchto souvislostí by mělo vést k rozsáhlé síti vzájemných smluv, zajišťujících klidná řešení sporů - a tato síť by nás měla provést neklidným obdobím.

- Předpokládejme, že je skutečně pravda, že společně se vyvíjející komplexní systémy mají tendenci udržovat se na onom "pokraji chaosu". To se velmi podobá myšlence Gai. Říká, že existuje atraktor, stav, ve kterém se všichni kolektivně udržujeme, stav který je plný proměn, kde jednotlivé druhy zanikají a nové vznikají. Představme si, že tuto myšlenku přeneseme do roviny ekonomiky, kde jedny technologie nahrazují jiné atd. Je-li toto celé pravda, pak udržovat se na okraji chaosu je to nejlepší, co můžeme dělat. A svět s těmito vlastnostmi je ten nejlepší, jaký můžeme mít.

9 . Work in Progress

- Santa Fe institute jako katalyzátor změn, které by nastaly stejně - byť jinde.

- Můžeme zvládnout věci spíše s induktivním učením než s deduktivní logikou, jsme schopni přetnout gordický uzel bodu rovnováhy a vyrovnat se s evolucí s otevřeným koncem.

- Mnoho těchto konceptů má již svou historii - viz myšlenky rakouského ekonoma Josepha Schumpetera ve 20. a 30. letech - evoluční ekonomie.

- Srovnání generace Santa Fe Institutu s generací Cowles

Foundation v 50. letech. Arrow, Koopmans, Debreu, Klein, Hurwitz atd. - čtyři Nobelovy ceny a možná další na cestě. To jsou lidé, kteří revolučně zmatematizovali ekonomiku.

- Lidé stojící mimo vědu si myslí, že vědci pracují hlavně pomocí dedukce. Vědci však pracují především s metaforami. A ty metafory se v myslích lidí postupně mění. Před Isaacem Newtonem byl svět plný stromů, nemocí, lidských psyché a jejich chování. Byl zmatený a organický. Také nebe bylo složité. Dráhy planet se zdály být náhodně stanoveny. Co se však

stalo s příchodem Newtona? Vymyslel pár zákonů, diferenciální počet a náhle se hvězdy pohybovaly po jednoduchých a předpověditelných drahách! Toto poznání mělo a má ohromný vliv na psychiku lidí. Nebe - příbytek Boha - bylo vysvětleno, andělé tlačící věci kolem nebyli už nutní. S absencí Boha nastal věk zesvětštění. Éra osvícení, trvající po 18. století, posunula vpřed přesvědčení o primárnosti přírody. Metaforou tohoto věku se stal hodinový stroj. A modelem pro dvě a půl století redukcionistické vědy se stala Newtonova fyzika. Adamu Smithovi stačilo porozumět ekonomii jako stroji - a mohl ve svém Bohatství národů (Wealth of Nations, 1776) tvrdit, že stačí ponechat lidem volnou ruku v prosazování jejich zájmů a neviditelná ruka "nabídky a poptávky" zařídí vše další pro obecné blaho (i on si však všiml odcizení dělníků a jejich vykořisťování) Jednoduchý koncept ovládl ekonomické myšlení od té doby.

- Filozofové jako Russell, Whitehead, Frege a Wittgenstein se na počátku století snažili dokázat, že celá matematika může být založena na jednoduché logice. Z velké části měli pravdu. Ne však celou. Ve 30. letech matematik Kurt Gödel ukázal, že i velmi jednoduché matematické systémy - např. aritmetika - jsou z principu neúplné. Vždy obsahují tvrzení, jejichž pravdivost či nepravdivost není dokazatelná uvnitř daného systému. Alan Turing - za použití stejné logiky - prokázal, že i velmi jednoduchý počítačový program může být "nerozhodnutelný" - nejde dopředu říci, zda se počítač dopravuje odpovědi či ne. V průběhu 60. a 70. let převzali tuto myšlenku pro fyziku z teorie chaosu - i velmi jednoduché rovnice mohou dát udivující a nepředvídané výsledky. Lidé si uvědomili, že logika i filozofie jsou do jisté míry zmatené, totéž platí i pro jazyk, kinetiku v chemii, fyziku a přirozeně i pro ekonomii. Tato zmatenost je prostě systému vtělena a nedá se polapit do pěkné krabičky logiky.

- Důsledkem je revoluční přístup teorie o komplexních systémech - je vlastně opakem redukcionismu. Její metafora je růst rostliny ze semene, rozvíjení počítačového programu z několika počátečních řádek (code) nebo snad sebeorganizující se hejno tvořené z jednoduše myslících ptáků. Jednoduchá počáteční pravidla modelu nechají systém rozvíjet se do nečekaných podob trhu, majícího dokonce cosi jako osobnost.

- Metafora Newtonova hodinového stroje dobře odpovídá protestantské etice : pilně pracujeme na svých zájmech, neobtěžujeme druhé a Bůh zařídil takový řád, že dosáhneme bodu slušné a přirozené rovnováhy světa. Máme nejlepší ze všech možných světů - a zasloužíme si jej.

Komplexní přístup je však úplně Taoistický. V Taoismu není žádný vtělený řád. Univerzum vnímají jako obrovské, amorfní, stále se proměňující. Nikdy se nedá přišpendlit. Je jako kaleidoskop : svět je stále se měnící strukturní vzorec. Člověk může tiše pozorovat toto proudění změn, uvědomit si, že tyto proměny vedou k větší složitosti, může ponořit své veslo do proudu a pohybovat se od jednoho víru ke druhému. Co s tím pro život ? Pozoruj globální rej a občas se snaž lokální věci pomoci. Nebuď naivní a nechtěj aby oni byli "fér". Přestaň stavět na standardních teoriích, vycházejících z pravidel hry, která jsou překonána.

- Všimni si, že toto není návod k fatalizmu. Je to mocný přístup, využívající nelineární dynamiku systému. Smyslem je vynaložit minimální energii k získání maximálního efektu. Neplýtvěj s energií. Jde o to pozorovat, jednat odvážně a své jednání si naprosto přesně načasovat. (východní bojové sporty)

- Formulování politiky (policy-making) na třech úrovních :

a) konvenční nákladově zisková analýza. Nutí člověka oboje porovnávat, ale také hledat varianty. Problém však spočívá v předpokladu, že problémy jsou dobře definovány.

Prakticky to dopadá tak, že tento přístup vypadá objektivně, ale vychází z kdovíjakých

čísel (a připisování nulové hodnoty věcem, které nikdo neví jak hodnotit) jako podkladů pro subjektivní úsudky, V environmentálních rozhodováních se obvykle jako kritérium navíc bere to, co je dobré pro člověka - což je projev arogance.

b) plně instituční politická analýza. Zjišťování toho, kdo dělá co a proč. Je to vlastně jako ve hře Monopoly. Politický systém není něco vnějšího, stojícího mimo hru. Je spíše výsledkem hry samé - aliance se vytvářejí v průběhu mocenské hry. Otázky jako kdo má co ve hře, jaké aliance je možné očekávat jsou nutné, aby jeden pochopil o co jde. Pak je nutné najít vhodné lidi pro intervence.

c) aplikace dvou různých pohledů na věc. Obvykle dualita člověka a přírody, zděděná z doby osvícenské a přirozená rovnováha mezi nimi, optimální pro člověka. Pak se jde po optimálním řešení, oné rovnováze. Další pohled vyplývá z teorie komplexních systémů, kde není dualita člověk a příroda. Jsme součástí přírody. Pozice se tím mění. Nedá se mluvit o optimalizaci rovnováhy mezi oběma. Dá se spíše uvažovat o akomodaci a společné adaptaci celku, o tom, co je dobré pro celek. Jsaký je vlastně manévrovací prostor v takto pojatém světě. Odpověď je - nechat co nejvíce otevřených možností pro další vývoj. Volit možnosti preferující životaschopnost, něco co bude uskutečnitelné - ne "optimální". Optimálnost se nedá již dobře definovat. Maximalizuje se robustnost, schopnost přežít tváří tvář špatně odhadnutelné budoucnosti. Je třeba si uvědomit nelineárnost dynamiky vývoje a příčinných vztahů jak to jen jde. Neočekávat, že okolnosti se udrží beze změn příliš dlouho.

- Máme-li dosti složitý systém, nejde očekávat, že se situace bude opakovat. A přesto existují témata, která lze rozpoznat. Připisujeme jim význam metafor. Velká část formulování politiky určitého postupu je hledání odpovídající metafory. Špatná politika, opačně řečeno, téměř vždy obsahuje špatnou metaforu.

- Hlavním úkolem vědy v následujících 50 - 100 letech je přesné pochopení toho, jak fungují komplexní systémy.

- V knize (?) genetika Richarda Lewontina se dělí vědci na dvě skupiny : Platonovce (svět je v základě v rovnováze a jde o to ji udržovat - svět jako reflexe archetypů), dále na Herakleitovce (svět jako proudění změn - dvakrát do téže řeky nevstoupíš = Platonova parafráze původního výroku).

- Program SFI týkající se "globální udržitelnosti", 1988. Program začal seminářem zabývajícím se otázkou "jak se vyhnout katastrofám dalších 100 let?" To je problém celých generací. Chápat, že jsme na "okraji chaosu" a přitom se vyhnout prudkým a rozsáhlým přeměnám. Jak se vyhnout katastrofám "třídy A" (nukleární válka) a katastrofám "třídy B" (srovnatelné s II. svět.válkou). Po skončení studené války rychle vyvstal do pořadí problém populační exploze (katastrofa typu Paula Ehricha). Pak jsou v pořadí ekologické katastrofy jako je oteplování díky skleníkovému efektu (což někteří považují za katastrofu typu A). Workshop v r.1990 (spolupředsedové Cowan a Gell-Mann) o "udržitelnosti". Zakladatel MacArthurovy nadace formuloval následující změny, které musí lidská společnost prodělat během pár desetiletí :

a - demografická - ke zhruba stabilní světové populaci,

b - technická - minimální vliv na přírodu v přepočtu na hlavu,

c - ekonomická - do světa, ve kterém se účtují skutečné náklady na zboží a služby - včetně ekologických nákladů tak, aby v rámci světové ekonomie existovaly motivy k tomu žít spíše z "úroků" (toho co příroda poskytuje z nahraditelných zdrojů), než vytěžovat její "kapitál"

d - společenská - vzájemné sdílení příjmů spolu s růstem příležitostí pro "nedestruktivní zaměstnanost" chudých oblastí světa,

e - instituční - ustavení globálních aliancí k urychlení úsilí na řešení globálních problémů tak, aby různorodé přístupy byly integrovatelné dohromady,

f - informační - svět, ve kterém jsou vědecké poznatky, vzdělání a globální monitorování dostupné masám lidí tak, aby rozuměli problémům, kterým je třeba čelit.

A navíc - dostat se tam ještě předtím, než nastane některá z katastrof typu A.

- Jedním z problémů obzvláštní důležitosti je objevit jak to udělat, aby naše západní kultura omezila svou chuť na materiální zboží a poněkud "zduchovněla".

- Problém adaptace za podmínek nepřetržitých změn a nepředpověditelnosti. Jedna z ústředních otázek, vážících se také na problém udržitelného rozvoje. Cowan : problém má ten aspekt, že obvykle se uvažuje o změně ze stavu A do stavu B. jenže stav B vlastně není pevný - i ten je nepřetržitá proměna. Musíme se přizpůsobovat proudu nepřetržité proměnlivosti a ne změnám v diskretních krocích. (kniha Havelocka Ellise: The Dance of Life). Avšak ani to není přesné - nejde o tanec, nemá ani dané tempo. Jsme spátky u Herakleita - vše je v pohybu. Termín "udržitelný" to zcela nevyjadřuje. Navíc z konceptů jako je "okraj choasu" a "sebeorganizující se kritický bod" (self-organized criticality) vyplývá, že musíme považovat za přirozené i katastrofy typu A. Per Bak zjistil, že je poměrně normální zažívat období převratných změn typu "lavin". jenže systémy jako studuje per Bak nemají kulturu ve smyslu kolektivní paměti, sumující poznání z generace na generaci - kumulativní moudrost dané populace. Také věřím, že nezbytnou součástí lidské vize je přesvědčení o tom, že jsme schopni utvářet svou budoucnost. Můžeme se snažit zmenšovat pravděpodobnost katastrof v každé generaci. Můžeme tu pravděpodobnost iterovat den po dni a stále činit příslušné korekce a tak připravovat lepší výchozí podmínky pro příští generaci.

- Věda o komplexních systémech pro mne představuje navíc i novou integraci vědeckého úsilí, rostoucím způsobem tříštěné do specializací během několika posledních století. Sloučení analytické přesnosti fyziků s vizemi lidí ve společenských vědách.

- Evoluce nikdy nepůsobí jen na jedince, ale vždy probíhá u celého ekosystému, celé populace.

- Otevřené otázky mladých na závěr workshopu (i knihy):

- Jak poznáte, že právě něco vzniká ?

- Je jen jeden způsob vzniku nebo může jich být více ?

- Co dělá ze souboru entit individuum ?

- A jsou stupně individuálnosti ?

- Je evoluce věc přežití toho nejschopnějšího nebo toho nejstabilnějšího ? Nebo jen přežití těch, co přežili ?

Langton se už jen smál. Na to vše nemám dobré odpovědi. Všechny tyto pojmy, jako jsou vznik, život, adaptace a komplexnost - to jsou všechno věci, kterým teprve musíme přijít na kloub.