

(2007) In: Kvasnička, V., Trebatický, P., Pospíchal, J., Kelemen, J. (eds.) *Mysel, inteligencia a život*. Slovenská technická univerzita, Bratislava, str. 415-440.

# Fundamentálne princípy kognitívnej biológie<sup>1</sup>

Ladislav Kováč

Prírodovedecká fakulta Univerzity Komenského, Bratislava. E-mail:  
kovacl@fns.uniba.sk

**Abstrakt.** Kognitívna biológia sleduje syntézu poznatkov viacerých vedeckých disciplín v rámci jednotného chápania života ako epistemického rozvinutia vesmíru (epistemický princíp). V súhlase s evolučnou epistemológiou považuje evolúciu za progresívny proces hromadenia poznania. Poznanie sa ukladá do konštrukcií organizmov. Štruktúrna komplexnosť tých konštrukcií, ktoré predstavujú zabudované znalosti, predstavuje epistemickú komplexnosť. Na rozdiel od evolučnej epistemológie, kognitívna biológia je založená na predpoklade, že molekulárna úroveň je fundamentálnou pre poznanie. Stojí na princípe minimálnej komplexnosti, ktorý stanovuje, že najúčinnjší spôsob štúdia akejkoľvek charakteristiky života je študovať ju na najjednoduchšej úrovni, na akej sa vyskytuje. Viaceré princípy kognitívnej biológie sú podobné extrémnym princípom fyziky a predstavujú tesné prepojenie medzi ontickou a epistemickou oblasťou. Z evidencie o vedomom prežívaní emócií ľuďmi vyplýva princíp minimalizácie utrpenia. Má význam pre také koncepty ako je onticita, fitness, altruizmus, veda, budúcnosť ľudstva. Tento princíp, rovnako ako ostatné princípy kognitívnej biológie, je deskriptívny, nie normatívny.

## 1. Úvod

*Moderný molekulárny biológ by mohol parafrázovať básnika Popea tvrdením, že správnym objektom pre štúdium človeka je baktéria [1].*

Rozvoj molekulárnej biológie, ktorý sa začal v šesťdesiatych rokoch minulého storočia, je vzrušujúcim a zároveň aj hrozivým. Poskytuje nám stále prenikavejší pohľad do mechanizmov fungovania živej bunky. To umožňuje účinné zásahy do tohto fungovania s dôsledkami, ktoré už možno prekročili ľudskú schopnosť predvídania, hodnotenia a riadenia. Výsledky manipulácie s jadrom bunky budú mať asi dôsledky ešte závažnejšie než výsledky manipulácie s jadrom atómu.

Znepokojujúca je rastúca inštrumentalizácia molekulárnej biológie. Viac a viac sa veda mení na technovedu, ba až púhe inžinierstvo. Priority bádania sa stále viac reorientujú s ohľadom na techniku. V ohromne kompetitívnej oblasti výskumu, s komplikovanými metódami, inštrumentálne poznanie získava prioritu. Situácia v molekulárnej biológii má pritom paralely v iných oblastiach súčasnej vedy. Naše inštrumentálne poznanie, naša schopnosť manipulovať s vecami a udalosťami, izolovane a mimo ich kontextu, sú veľké, naše porozumenie komplexnosti, na ktorej to všetko spočíva, je malé a zaostáva. Navyše, skladajúc dohromady rozobrané veci a udalosti v nových umelých kombináciách, vytvárame systémy o nebyvalej komplexnosti.

Diskrepancia medzi tým, ako málo vieme v porovnaní s tým, ako veľa dokážeme robiť je možno unikátnou v dejinách života na Zemi (nie však, ako bude naznačené neskôr, v histórii života vo vesmíre). Schopnosť vedieť a robiť predstavovala dosiaľ jednotu, išlo o dve strany tej istej evolučnej mince. Dnes sa zdá byť naliehavou potrebou, aby sa povážlivý rozdiel medzi ľudskou schopnosťou poznať a konať, medzi kogníciou a správaním, zmenšil alebo odstránil a táto potreba volá po tom, aby sa prioritami vedeckého výskumu stalo úsilie o

hlbšie porozumenie ľudskej kognícii a správaniu. Konrad Lorenz, ktorý neustále zdôrazňoval túto potrebu [2], by bol možno potešený pohľadom na súčasný rozmach kognitívnych vied.

Vo všeobecnosti kognitívne vedy usilujú o odhalenie *mechanizmov* kognitívnych procesov. Nebezpečie inštrumentalizácie, ba aj zneužitia poznania, je veľké (Changeux, J. P., citované v [3]). V protiklade, možno trochu vágnom, ku kognitívnym vedám stojí epistemológia, ktorá sa usiluje o pochopenie *podstaty* poznania: čím ono je, ako sa vyvíjalo, aká je jeho vesmírna rola. Epistemológia bola tradične ťažiskovou disciplínou filozofie. Súčasné pokusy o jej „naturalizáciu“, hlavne pod označeniami genetická epistemológia [4] alebo evolučná epistemológia ([5, 6], ako aj odkazy na literatúru tam uvedené) môžu byť chápané ako súčasť pokusov o vyňatie z filozofie ďalšej z jej konštitutívnych disciplín a jej premenu na samostatnú oblasť vedy.

Filozofia nevytvára poznanie, aj keď vždy bolo zámerom, aby tomu tak bolo; bola a je zdrojom emocionálne a sociálne účinných vier. Iba niektoré z nich môžu náhodne mapovať niektoré črty sveta do reality konštruovanej človekom. Toto konštatovanie nie je podceňovaním významu filozofie. Keďže ľudská túžba po zmysle a univerzálnom porozumení prýšči z hĺbok emocionálneho podložia, epistemológia bude naďalej súčasťou filozofie. Je prestaviteľné, že epistemológia ako súčasť vedy by sa nemusela rozvinúť do podoby prírodných vied, ale skôr možno do podoby formálnych vied ako sú matematika, kybernetika, štatistická fyzika, teória hier.

Môže molekulárna biológia predstavovať časť, či dokonca základy, „naturalizovanej“ epistemológie? Namiesto toho, aby poskytovala len výkonné nástroje pre odhaľovanie mechanizmov fungovania mozgu, môže molekulárna biológia otvoriť novú cestu k porozumeniu *podstaty* kognitívnych javov, vrátane emócií ba aj vedomia? Akokoľvek by sa na prvý pohľad mohlo toto rozlíšenie javiť nepodstatným, v skutočnosti má zásadný význam. Ak by sa tak stalo, pojmy a metódy molekulárnej biológie, ktoré boli dosiaľ v kognitívnych vedách úspešne najmä na úrovni inštrumentálnej vedy, získali by iný význam. Prístup „zdola nahor“ k epistemologickým problémom, ktorého súčasťou je aj molekulárna biológia, bol nazvaný kognitívnou biológiou [7]. Vzhľadom k tomu, že využíva pojmy a argumenty termodynamiky, môže byť považovaný za nadstavbu bioenergetiky [7, 8, 9]. Niektoré pionierske idey boli formulované Goodwinom [10], ktorý aj označenie „kognitívna biológia“ prvý použil. Hlavný kredit však patrí Hansovi Kuhnovi. V jeho chápaní život od svojho vzniku, počínajúc sebakopírujúcimi nukleovými kyselinami, bol a je nepretržitým hromadením poznania [11, 12].

Táto publikácia je krátkym náčrtom základných princípov, ktoré konštituuju kognitívnu biológiu. Ich počet nie je úplný. Hoci by sa zdalo, že niektoré majú normatívny charakter, bude dokazované, že všetky sú deskriptívne. Ich formálnejší a detailnejší výklad bude predmetom ďalších publikácií<sup>2</sup>.

## 2. Rozvinutie koncepcií

### 2.1 Princíp logickej parity

Vzhľadom k záujmu biológov o rôzne stránky ľudskej kognície je prekvapujúce, ako málo pozornosti sa dosiaľ venovalo biológii logiky. Dokonca aj v štúdiách evolučných epistemológov sú takéto úvahy ojedinelé. Popper vo svojich ranných prácach trval na dôslednom rozlíšení logiky a psychológie pri analýze vedeckého skúmania [13]. Podľa Vollmera ([14] str. 180) povaha logiky je jeden z najťažších problémov a nie je zatiaľ rozriešený. Je možno predpokladať, že pre Lorenza bola logika výsledkom ľudskej evolučnej trajektórie, pritom ale odrážajúca správne relevantné črty sveta [15]. Na druhej strane v

chápaní Piageta [4] logika nie je ľudskému individuu vrodená v tom zmysle, že by existovala v akejkolvek fáze individuálnej ontogenézy. Logicko-matematické štruktúry sa vyvodzujú behom ontogenézy z operácií subjektu na prostredí; predstavujú čosi ako abstraktnú manipuláciu zrelého ľudského jedinca s objektmi jeho prostredia. Vari najdôkladnejšiu analýzu evolučnej povahy logiky poskytol Riedl [16, 17]. Podľa neho evolúcia logiky je úzko zviazaná s evolúciou jazyka a logika je aj určená jazykom. Európska logika so svojou subjekt-predikátovou štruktúrou je podľa Riedla určená štruktúrou európskych jazykov a je iná ako napríklad čínska.

Proti názoru, že logika je „ľudsky špecifická“ či dokonca „kultúrne špecifická“ a že sú vo svete predstaviteľné početné vnútorne konzistentné ale navzájom sa vylučujúce logiky je možno argumentovať, že počítače, neživé stroje, sa riadia pravidlami formálnej logiky. K tomu by sa zas dalo trochu naivne namietnuť, že to tak nemusí byť, lebo počítače sú vynálezmi jedinej kultúry, tej istej ktorá „vynašla“ formálnu logiku. Menej naivnou by sa javila námietka, že operácie počítačov musia byť izomorfné s operáciami ľudskej mysle, ktoré nie sú „kultúrne špecifické“, no sú „druhovo špecifické“, pretože počítače sú len „*exosomatickými nástrojmi*“ ľudského druhu – v analógii s mechanickými náčiniami a strojmi, ktoré Lotka označil ako „*exosomatické nástroje*“ a tento termín potom spopularizoval Georgescu-Roegen ([18] str. 307).

Bude neskôr ukázané evolučnou analýzou, že počítačová metafora ľudskej mysle je nepatričná a zavádzajúca<sup>3</sup>, takže námietka s počítačmi je neopodstatnená. Je pravdepodobné, že v priebehu evolúcie motorické správanie organizmov, mechanická práca na prostredí, presúvanie objektov v priestore a čase, sa stávala stále menej zjavnou, bola postupne internalizovaná, viac a viac redukovaná len na naznačenie konania a transformovaná na vnútorné virtuálne manipulovanie s objektmi. Konečným vyústením tejto trvalo pribúdajúcej abstrakcie je ľudské myslenie – ako abstraktné motorické správanie. Vollmer ([14] str. 104), odkazujúc na Lorenza [19], považuje manipuláciu v imaginatívnom priestore („*das Hantieren im Vorstellungsraum*“) za počiatočnú fázu myslenia.

Objekt nemôže naraz byť i nebyť na tom istom mieste; dva objekty nemôžu naraz zaberat' to isté miesto v priestore, atď. No toto je presne to, čo v abstraktných termínoch vyjadruje logika. Všetky pravidlá formálnej logiky nie sú ničím iným než abstraktným prekladom fyzikálnej nevyhnutnosti. To implikuje, že logické operácie našej mysle, aj našich počítačov, sú iba tautologickými *prekladmi*, ktoré slúžia na to, aby nám fakty sveta robili pochopiteľnejšími. V dôsledku týchto operácií sme schopní organizovať vnemy a pojmy a takto *konštruovať* realitu. Realita je naozaj druhovo špecifická, ba aj kultúrne špecifická, ba do istej miery aj individuálne špecifická, ale neexistuje nijaká druhovo špecifická ani kultúrne špecifická logika. Konštatovanie, že rozštiepenie, dualita a zároveň komplementarita sveta a mysle, je iluzórne, vyjadruje princíp logickej parity.

Logika ako fenomén rozštiepenia svet/mysel' je základňou, na ktorej sa vybuďovala logika ako formálna veda, so všetkými jej vetvami (ako relačná, modálna, temporálna, deontologická atď. logika). Mala by sa vlastne nazývať *veda o logike*. Umožňuje nám vytvárať a triediť pojmy, ktoré uľahčujú naše porozumenie svetu (konceptuálny aspekt), ale aj našu manipuláciu so svetom (inštrumentálny aspekt). Kognitívna biológia požaduje jasné definície pojmov, zvolených na základe kritéria ich maximálnej konceptuálnej a inštrumentálnej užitočnosti, s jednoznačným ustanovením, že všetky pojmy sa vzťahujú na realitu a žiaden z nich nie priamo na svet.

Bolo by asi trochu trúfalé označiť princíp logickej parity za princíp všeobecnej komplementarity. Princíp komplementarity zaviedol Niels Bohr aby vysvetlil dualitu vlna/častica v kvantovej mechanike. Ľudia žijeme vo svete stredných rozmerov, makrosvete. (Toto je termín, štandardne používaný vo fyzike. Odpovedá termínu „*mezokozmos*“, ktorý navrhol Vollmer [20]). Naša myseľ vníma fenomény makrosveta a vhodne ich

konceptualizuje, ale nie je skonštruovaná tak, aby vnímala fenomény mikrosveta, ktorý je popisovaný matematickým formalizmom kvantovej fyziky. Aby sme tento formalizmus previedli do podoby „šitej na mieru človeka“, musíme sa uchýliť k perceptom a konceptom makrosveta. To je dôvod, prečo si predstavujeme elektrón ako časticu pri vysvetľovaní výsledkov z jedného pokusného usporiadania a ako vlnu pri interpretácii dát z iného usporiadania.

Podľa Bohra [21] musíme použiť ten istý princíp komplementarity, aby sme vysvetlili dualitu sveta a mysle. Sledujúc rovnakú argumentáciu, mohli by sme svet, ktorého sa táto dualita týka, označiť ako „psychosvet“. Zdá sa, že rovnaký princíp treba použiť aj pre vysvetľovanie „megasveta“, sveta galaxií, ktorý je predmetom kozmologického skúmania. Komplementarita psychosveta asi najmä vyplýva v z jeho „mnohorozmernej“ komplexnosti. To je dôvod, prečo by mohol byť užitočný princíp komplementarity pri výklade ešte iného sveta, „sociosveta“, výtvoru kultúrnej evolúcie. Aj ten sa asi svojou komplexnosťou vymyká jednoznačnému ľudskému popisu a možno potrebuje viacero komplementárnych vysvetlení, každé vnútorne konzistentné a pritom sa vylučujúce s inými. Pod všetkými týmito komplementaritami je vlastne dualita svet/mysle.

Princíp logickej parity je dôležitý pre pojem racionality. Bude ukázané neskôr, že je užitočné rozlišovať konceptuálnu a inštrumentálnu racionalitu. Každá z nich nepredstavuje stav, ale proces. U oboch ide o to spojiť dva body trajektórie. Ideálna racionalita odpovedá najkratšej trajektórii, ktorá vedie k cieľu, v najjednoduchšom prípade priamke. Úplnému chýbaniu racionality odpovedá náhodné blúdenie. „Reálna“ racionalita, ktorá zahrňuje „ohraničenú“ racionalitu ľudí [22], leží medzi obidvoma extrémami a je určená stupňom poznania, ktoré je k dispozícii. Z toho je zrejmé, že pojem racionality je paritný s pojmom „extremálnych princípov“ vo fyzike, na ktorých možno spočívajú všetky fundamentálne zákony prírody [23]. Táto parita má možno hlboký zmysel, ktorý ale nebol dosiaľ dostatočne preskúmaný.

Ak fyzikálna nevyhnutnosť môže byť vždy preložená do logickej nevyhnutnosti, je možný aj opačný preklad (až na to, že logika sa zaoberá všetkými možnými svetmi, nielen tými, ktoré vytvorili kontingencie evolúcie nášho vesmíru). Čo je logické, je vždy možné, buď virtuálne, v princípe, alebo ako fakt prírody. Darwinovská interpretácia evolúcie sa všeobecne považovala za teóriu, ktorá je užitočná pri objasňovaní našich pozorovaní živej prírody. Nie je to teória. Je to logická nevyhnutnosť, vesmírny fakt v akomkoľvek vesmíre, v ktorom sa vyskytujú sebareplikujúce entity. V každom prostredí, ktoré obsahuje obmedzené množstvo zdrojov, automaticky musí prebiehať exponenciálne množenie, súťaž a výber medzi sebareplikujúcimi entitami. Biologická evolúcia je takto len dielčím prípadom faktu evolúcie [24]. Replikátorová rovnica [25] je jednou z najfundamentálnejších rovníc vesmíru.

Ako však dokázať, že náš vesmír, so svojou logikou sebareplikujúcich entít, je skutočný a nie iba virtuálny? To bude predmetom posledného z princípov, ktoré analyzuje táto štúdia.

## 2.2 Princíp dvojitého epistemického uzavretia

Je všeobecnou charakteristikou akéhokoľvek živého systému, že zaznamenáva relevantné črty svojho prostredia a na ne adekvátne reaguje tak, aby si udržal svoju permanenciu v danom prostredí, *onticitu*. Vlastne význam konkrétnych vlastností prostredia je určený ich hodnotou, pozitívnou alebo negatívnou, akú majú pre udržovanie onticity konkrétneho živého systému; tie, ktorých hodnota je neutrálna, nie sú zaznamenávané. Ľudský druh sa po dlhú dobu nelíšil v tejto charakteristike od iných biologických druhov, až kým ohromná redundancia ľudského mozgu neumožnila kultúrnu evolúciu. Ako kultúrna evolúcia postupovala, mýty, druhovo-špecifický znak človeka, zaisťujúci onticitu potlačovaním kognitívneho zmätku a podporovaním skupinovej kohézie, sa premieňali na

filozofiu a neskôr na experimentálnu vedu. Len čo sa raz ustanovili, filozofia a veda svojimi autonómnymi dynamikami, v podstate nezávislými na ľudských úmysloch, urobili z neutrálnych vlastností prostredia, ktoré nemali biologickú relevanciu, objekty ľudského zaznamenávania a hodnotenia a zdroje nových foriem správania. Sebauvedomovanie, samo produkt redundancie mozgu, dostalo novú, ďalšiu funkciu: reflexiu sveta a reflexiu o svete.

Pri veľmi hrubom a silno zjednodušujúcom pohľade sa zdá, že pre väčšinu ranných filozofov v rodisku filozofie, antickom Grécku, ľudská reflexia sveta nemala obmedzenia, akokoľvek obmedzenými a povrchnými sú bezprostredné vnímanie a kognícia. *Logos* prírody bol považovaný za izomorfný s *Logom* ľudskej mysle a teda úplne prístupný ľudskému pochopeniu. Postupne sa k tomuto názoru objavovali alternatívy, váhania a pochybnosti, ktoré vyvrcholili v Kantovej transcendentálnej filozofii. Kantov názor na hranice, uložené ľudskému poznávaniu, biologicky reinterpretoval Konrad Lorenz [26]. Túto reinterpretáciu, ktorú anticipovali viacerí Lorenzovi predchodcovia (uvedení v [27]), možno považovať za *základný kameň* evolučnej epistemológie. Predkantovský epistemologický skepticizmus, napr. v podobe štyroch „idolov“ Francisa Bacona, by bolo možno reinterpretovať a „naturalizovať“ podobným spôsobom. Obmedzenia ľudskej mysle dôkladne analyzovali všetci evoluční epistemológovia. Riedl tak urobil vo viacerých knihách a stručne v jednej časopiseckej publikácii [28].

Hranice ľudskej mysle, jej možnosti a obmedzenia, uložené kontingenciami biologickej evolúcie ľudského druhu, sa zdajú byť neprekročiteľné. V dôsledku toho je naša realita, model sveta, druhovo-špecifickou. (Z čoho plynie, že iné biologické druhy majú svoju vlastnú druhovo-špecifickú realitu.) Uzatvárajú nás do sveta stredných rozmerov a malej komplexnosti. Svet za týmito hranicami je od nášho sveta oddelený bariérami, ktoré možno nazvať *Kantovými bariérami*. Keď sa pokúšame prekročiť tieto bariéry, je princíp komplementarity jediným prostriedkom ako interpretovať tie javy, s ktorými sa tam stretávame.

Druhovo-špecifické vymedzenie kognitívnych kapacít možno nazvať prvým epistemickým uzavretím.

Je ale aj iné uzavretie, všeobecnejšie a fundamentálnejšie. Anticipovali ho mnohí filozofi, počínajúc menšinou filozofických „disidentov“ v gréckej antike (Protagoras, Timon, Zenón), cez Humea po Kanta. Rigoróznou formuláciu mu dal v r. 1931 Kurt Gödel svojou teorémou o neúplnosti. Gödelova teoréma sa týka formálnych systémov matematiky a obmedzení, ktorým podliehajú (jednoduchý výklad je v [29, 30, 31])<sup>4</sup>. Akokoľvek množinu konzistentných pravidiel použijeme pre manipuláciu s matematickými symbolmi v systéme axióm, vždy existuje tvrdenie, vyjadrené v jazyku týchto symbolov, ktoré nemožno s použitím daných axióm a pravidiel ani dokázať ani vyvrátiť. Navyše, v uzavretom systéme konečného počtu axióm a pravidiel, nie je ani možnosť povedať, či východzie predpoklady sú logicky konzistentné alebo nie. Ak sa pokúsime vyriešiť problém pridaním nového pravidla alebo novej axiómy, vytvoríme nové nerozhodnuteľné tvrdenie. Aby sme plne porozumeli systému matematiky, musíme systém prekročiť.

Ako poznamenal Hofstadter, aplikovanie Gödelovej teorémy na iné oblasti môže mať istú cenu v prípade, ak aplikáciu chápeme metaforicky a neberieme ju doslovne ([30] str. 696). Matematici bývajú znechutení a podráždení, keď nematematici sa odvolávajú na Gödelovu teorému, aby zdôvodnili svoj skepticizmus, vzťahujúci sa na mimomatematické oblasti. Ako však ukázal Chaitin [32], Gödelovu teorému netreba chápať ako izolovaný paradox ale ako prirodzený dôsledok obmedzení, ktoré na kognitívnu kapacitu ukladá teória informácie. V teórii algoritmickej komplexnosti [33, 34] komplexnosť radu znakov sa rovná počtu bitov minimálneho programu pre zhotovenie tohto radu. Systém môže byť predstavovaný veľmi dlhým radom znakov, ale jeho komplexnosť je malá, ak program, ktorým možno tento rad znakov zhotoviť, sám je tvorený len malým počtom znakov.

Informácia radu je prítomná v „stlačenej“ podobe v minimálnom programe. Ak minimálny program je rovnakej dĺžky ako je rad, jeho informácia nemôže byť komprimovaná, pretože rad znakov je randomný<sup>5</sup>. A keďže minimálny program nemôže byť komprimovaný, je vždy randomný. V nejakom systéme axióm a pravidiel inferencie je možno vždy dokázať, že rad je nerandomný – tým, že sa nájde program na jeho zhotovenie, ktorý má menej znakov – ale neexistuje spôsob ako dokázať, že je randomný a že ho už viac stlačiť nemožno. Počítačový program, ktorý by bol spustený aby toto dokázal, by sa nikdy nezastavil. Vo formálnom systéme o istej komplexnosti nemožno dokázať pre nijaký rad znakov, že je randomný (teda o minimálnej algoritmickej komplexnosti), pokiaľ komplexnosť radu je menšia ako je samotný systém.

To rovno ukazuje, že Gödelova teoréma má vzťah k Turingovmu problému zastavenia ([30] str. 425), Tarskiho teórie pravdy [35] a k Popperovmu princípu falzifikácie [13]. Vlastne všetky tieto formulácie znamenajú to isté konštatovanie o systéme o istej komplexnosti (čo musí platiť nielen pre algoritmickú komplexnosť, ale aj pre iné chápania komplexnosti). Je nemožné – a nemožnosť je založená na logike a teda, s prekladom, na vlastnostiach materiálneho sveta – dosiahnuť úplné poznanie systému o špecifikovanej komplexnosti prostriedkami, dostupnými iba v rámci systému; aby sme to dosiahli, potrebujeme širší systém o väčšej komplexnosti, *metasystém*. Veľkosť komplexnosti formálneho systému určuje veľkosť a hranice jeho *epistemickej capacity*.

Penrosovu snahu ukázať, že vedomá činnosť ľudského mozgu presahuje možnosti počítača [31, 36], možno chápať v tomto kontexte. Ľudská myseľ je možno komplexnejšia ako je komplexnosť formálnych systémov matematiky. Ak ale tieto systémy, a logika ktorá je v nich, sú preložitelné do vlastností fyzikálneho sveta, prekročenie kapacity týchto formálnych systémov by podľa Penrosa implikovalo, že nejaké nové, dosiaľ neznáme fyzikálne princípy určujú nad-počítačovú schopnosť ľudského mozgu. Už Kuhlebeck [37] vytušil hlboký vzťah medzi Gödelovou teorémou o neúplnosti a medzi čímsi, čo on nazval „paradoxom mozgu“. Poukázal na to, že náš svet vedomia je fenoménom mozgu, ale samotný mozog je tiež fenoménom mozgu. Teda je tam uzavretie do kruhu. Aby sa paradox prekonal, bolo by treba iný hypotetický mozog, ktorý by bol umiestnený nie v doméne vedomia, ale v mimomentálnom verejnom časovopriestorovom systéme. Gerlach [38], ktorý upozornil na túto príbuznosť medzi Gödelom a Kuhlenbeckom, navrhol premenovať paradox mozgu na „Kuhlenbeckov paradox“.

Aj Hofstadter analyzoval tento problém. Vyslovil presvedčenie, že nie je nijaká fundamentálna príčina, ktorá by bránila úplnému porozumeniu ľudskému mozgu. Mohol by sa javiť „úplne jasným inteligentnejším bytostiam“ ([30] str. 707). – Nanešťastie, zatiaľ biologická evolúcia na Zemi takéto bytosti nevytvorila.

Princíp druhého epistemického uzavretia je fundamentálne iný ako princíp prvého uzavretia: Konštatovanie, že nejaký systém nemôže byť úplne porozumený prostriedkami systému samotného, platí pre každý formálny systém, akákoľvek by bola jeho komplexnosť. Vzťahuje sa aj na každý živý systém, nezávisle od toho, aké evolučné kontingencie tvarovali jeho kognitívne kapacity a teda aj jeho druhovo-špecifickú realitu. Je to princíp logiky, nie evolúcie. Oba princípy epistemického uzavretia, prvého i druhého, sú vlastne už implicitné v Kantovej epistemológii.

Namiesto privolávania nejakého zázračného „metamozgu“, potrebného na to, aby sme dosiahli čo najdôkladnejšie porozumenie podstate ľudskej kognície, môžeme použiť prístup opačný: získať najprv úplné poznatky o kognícii živých bytostí, ktoré sú jednoduchšie ako človek. Keďže komplexnosť jednoduchších živých bytostí je určite menšia ako komplexnosť človeka – a toto sa zrejme vzťahuje aj na epistemické „formálne systémy“ týchto jednoduchších organizmov – ľudský kognitívny systém možno chápať ako „metasystém“ vo vzťahu ku kognitívnym systémom jednoduchších druhov. Potom by extrapolácia týchto

poznatkov až na ľudskú kogníciu mohla byť spôsobom akým obísť „Kuhlenbeckovu bariéru“. Z týchto úvah vyplýva ďalší princíp.

### 2.3 Princíp minimálnej komplexnosti

Problém, ako definovať komplexnosť, nie je rozriešený. To isté slovo sa používa na popis rozdielnych charakteristík rozdielnych systémov. V snahe vyhnúť sa zmätku, je v tejto publikácii slovo komplexnosť používané vždy s prídavným menom tam, kde sú dostupné jednoznačné, pokiaľ možno matematické definície, napr. algoritmickej, termodynamická, epistemická komplexnosť. Tam, kde je slovo použité bez prídavného mena, bude znamenať intuitívny, aj keď dosť vágny pojem na označenie niečoho, čo nie je jednoduché, ale zložené, organizované, komplikované<sup>6</sup>.

Iba málo z toho, čo vieme o ľudskej dedičnosti, bolo získané štúdiom ľudí. Väčšia časť je výsledkom extrapolácií zo štúdií jednoduchších organizmov. Od hrachu zakladajúceho otca genetiky Mendela *smerom nadol* k ovocnej muške Morgana, ešte nižšie ku kvasinkám Ephrussiho a Lindegrena a k baktériám Ledeburga a Monoda, až celkom na dno k fágom Benzera, Delbrücka a Lvoffa, to bola víťazná cesta genetiky a molekulárnej biológie *smerom nahor*.

Max Delbrück, ktorý bol úspešným fyzikom predtým, než sa začal venovať biológii, zvlášť poznačil túto trajektóriu. Jeho ambíciou bolo popísať biologické systémy s rovnakou precíznosťou aká sa používa vo fyzike. Bolo mu zrejmým, že k tomu, aby to dosiahol, musí si k štúdiu zvoliť biologické systémy čo najjednoduchšie. Preto skúmal fototaxiu jednoduchej huby (*Phycomyces*) ako model organizmov, ktoré reagujú na vonkajšie podnety. Historickým sa stalo jeho rozhodnutie v r. 1937 začať študovať bakteriofága: možno ho považovať za začiatok molekulárnej biológie [39]. Bakteriofága možno považovať za najjednoduchšiu živú „vec“. Výskum bakteriofága umožnil vypracovanie koncepcie génu ako jednotky dedičnosti, vhlád do vnútornej štruktúry génu cez intragénové mutácie, vyjasnenie povahy genetickej rekombinácie. To všetko bolo uskutočnené pred tým, ako sa nukleovým kyselinám pripísala rola materiálnych nosičov génov a včasnšie ako biochémia zaujala dominujúce postavenie v molekulárnej biológii.

Delbrückov úspech v genetike, ako dôsledok skúmania najjednoduchšieho systému čo ešte javí dedičnosť, inšpiroval jeho spolupracovníkov a žiakov, aby si zvolili podobný prístup v inej oblasti vedy, v neurobiológii. Študovaná bola *Aplysia*, organizmus len s tisíckami neurónov (na rozdiel od ľudských miliárd) a neskoršie *Caenorhabditis elegans* len so stovkami neurónov. V r. 1998 bola publikovaná kompletná sekvencia všetkých génov v *C. elegans* [40] a hneď prvé zrovnávacie analýzy génov kódujúcich neuronálne funkcie objavili prekvapujúcu homológiu s mnohými neuronálnymi génmi cicavcov a s génmi ľudských neurologických chorôb [41].

Táto skúsenosť, dokázaná aj v iných odvetviach vedy, opodstatňuje formovanie princípu, ktorý má heuristický i konceptuálny význam: Najúčinnější spôsob pre štúdium konkrétneho biologického fenoménu je študovať ho na najjednoduchšom organizme u ktorého sa tento fenomén vyskytuje – tam je experimentálne najprístupnejší a vzhľadom k jeho evolučnej jednoduchosti aj teoreticky najľahšie uchopiteľný.

To je princíp minimálnej komplexnosti. Aby sa ocenila Delbrückova zásluha, možno ho nazývať aj Delbrückovým princípom.

Princíp by sa ľahko použil, ba priam automaticky, keby sme vedeli ľahko určiť evolučnú úroveň, na ktorej sa konkrétny fenomén objavil. No nájsť najnižšiu úroveň nie je ľahkým problémom. Problém súvisí s otázkou homológie a analógie. Dva fenomény môžu vyzeráť rovnako, no pritom mať rozdielny evolučný pôvod. Aj keby boli priam totožné svojou formou i funkciou, ich konceptuálne zjednotenie ostane iba metaforou. Metafora sa

môže stať zavádzajúcou a viesť k naivným interpretáciám. Často je tomu tak ak fenoména nižšej úrovne sa vysvetľujú pomocou fenoménov vyššej úrovne, čo je štandardný prípad antropocentrizmu.

Podstata problému sa stáva jasnou, keď hľadáme homológie na úrovni vyššej ako je molekulárna. Do akej miery je sociálne správanie cicavcov homologické so sociálnym správaním hmyzu alebo baktérií? Je ľudské vedomie homologické s vedomím iných živočíchov? Ak ľudskému vedomiu pripíšeme 100%, má šimpanz 80%, myš 2%, ovocná muška 0,01% a kvasinka 0,000001% vedomia? Otázka siaha až na samotnú podstatu kognitívnych vied: je kognícia charakteristikou všetkých živých bytostí, rovná sa život kognícii, alebo, naopak, je kognícia výlučne charakteristikou človeka? Je podivuhodné, že oba extrémne pohľady existujú v súčasných kognitívnych vedách a majú svojich zástancov a bojovníkov. Aj v samotnej evolučnej epistemológii sa názory rozchádzajú ([42], [43] str. 294). Všetky aspekty tejto principiálnej otázky sú príliš rozsiahle a budú predmetom inej publikácie<sup>7</sup>.

Podstatou problému je zrejme jav, ktorý je známy pod rôznymi menami: emergencia, fulgurácia, diskontinuita, kvalitatívny prechod. Ak v prípade vedomia neprípustíme, že existuje prah pre evolučný pôvod vedomia, skončíme v panpsychizme, pripisujúc vedomie dokonca aj elementárnym časticiam hmoty. Niektoré kvalitatívne prechody, ako fázové prechody v termodynamike alebo perkolácie v štatistickej fyzike, majú exaktný matematický podklad. Na druhej strane veda popisuje niektoré kvalitatívne zmeny ako iba zdanlivé. Je to prípad vizuálneho vnímania, kde kvalitatívne diskontinuity farieb odpovedajú plynulým zmenám vlnovej dĺžky elektromagnetického žiarenia. Práve v tejto oblasti existuje hlavná výzva pre epistemológiu: niektoré „fázové prechody“ sa vyskytujú vo svete a sú prekladané do podoby „fázových prechodov“ v druhovo-špecifickej realite; iné sa týkajú javov ktoré nemajú svoj odraz v realite; a ešte iné – možno väčšina má takúto podobu – sa vyskytujú iba v realite a vnášajú do nej kvalitatívne odlišné fenomény, ktoré nemajú paralely vo svete (a toto sa stáva ešte komplikovanejším vzhľadom k povahe pojmov: všetky pojmy sú navzájom oddelené, vnucujú diskontinuity a rozčleňujú, niekedy celkom arbitrérne, realitu). Rozlíšenie medzi týmito tromi rozdielnymi kategóriami kvalitatívnych prechodov je záležitosťou empirického výskumu a je teda vždy len provizórne. To je príčina, prečo vybrať výskumný objekt s minimálnou komplexnosťou je vždy záležitosťou neistou a jeho adekvátnosť sa dokáže až neskôr podľa výsledkom výskumu.

V každom prípade princíp predpokladá, že existujú rozdielne úrovne komplexnosti živého sveta a že v priebehu biologickej evolúcie komplexnosť živých foriem kontinuálne rástla.

## 2.4 Epistemický princíp

Už od čias Darwina neprestali v biológii diskutovať o tom, či biologická evolúcia je progresívna a má smer. Ak je v biologickej evolúcii pokrok, potom možno hovoriť o jednoduchších a zložitejších, nižších a vyšších organizmoch, možno sa pokúšať o nájdenie a definovanie evolučných tendencií, ba aj formulovať prípadné zákony evolúcie. Ak pokrok nie je, takéto označenia nemajú zmysel a musia byť odmietnuté ako antropomorfizmy.

Podstatou argumentácie tých, ktorí neuznávajú nijaký pokrok v evolúcii, je konštatovanie, že v špecifickom prostredí organizmy – alebo, ak použijeme „pohľad génovými očami“, ich gény – súťažia s inými organizmami o jednoduchú utilitu: darwinovskú fitness. Fitness sa dosahuje rozmanitými spôsobmi. V tom istom prostredí rôzne organizmy môžu používať rôzne stratégie a mnohé stratégie môžu byť rovnako účinné. Prostredím pre individuálny organizmus nie sú len prírodné podmienky, ale aj iné organizmy. Takže fitness individuálneho organizmu je vysoko dynamickou funkciou, v ktorej premennými sú aj fitness



všetkých ostatných organizmov. Človek sa zdá byť organizmom s vysokou fitness, so súčasnou populáciou vyše 6 miliárd individuí. Akokoľvek môže toto číslo vypadáť impozantné, je úplne nepatrné v porovnaní s počtom, ale aj bunkovou hmotou, baktérií. Niektoré bakteriálne druhy existujú na Zemi možno nie príliš zmenené už niekoľko miliárd rokov a zdá sa byť pravdepodobným, že budú existovať aj potom, keď druh *Homo sapiens* už tu viac existovať nebude. Ak teda baktérie prežili tak dlho a majú pred sebou skvelú budúcnosť, niet dôvodu vidieť v evolúcii akýkoľvek pokrok a označovať ľudí za vyššie a baktérie za nižšie organizmy.

Kontroverzia okolo pokroku v evolúcii má svoj pôvod v nedorozumení, vyplývajúcom z dvojznačnej konotácie slova „pokrok“. V európskej kultúre, prinajmenšom od čias osvietenstva, pokrok je považovaný za niečo čo si treba priať, za čosi hodnotné, „dobré“. Bežne sa pokrok považuje za nevyhnutný znak kultúrnej evolúcie: čokoľvek, čo je pokročilejšie (pokrokovjšie?), má väčšiu šancu sa presadiť a pretrvať, má teda, dalo by sa povedať, väčšiu darwinovskú fitness v porovnaní s niečím, čo je konzervatívne a retardujúce.

Keď ale opustíme normatívnu konotáciu, slovo „pokrok“ ostáva ako neutrálne, bezhodnotové vyjadrenie evolučnej tendencie. Tendencia je nepochybniteľná: je to tendencia k objavovaniu sa stále komplexnejších organizmov. Samotný fakt, že baktérie, s ich jednoduchou organizáciou a jednoduchým správaním, sú evolučne staršie ako človek, tvor s mozgom o najväčšej štruktúrnej komplexnosti aká sa dosiaľ v evolúcii vyskytla, je toho dôkazom. Tento fakt nič nemení na možnosti, že fitness baktérií je väčšia ako fitness človeka. Je aj možné, že niektoré baktérie sú evolučne mladšie ako je človek a pritom zároveň majú oveľa menšiu komplexnosť. No takáto možnosť nie je argumentom proti univerzálnej evolučnej tendencii, ktorú možno vyjadriť metaforou komplikovaného *bludiska*: život nepretržite, na všetkých úrovniach, miliónmi druhov, „testuje“ možnosti ako postúpiť dopredu. Ohromná väčšina druhov hynie alebo končí v slepých uličkách, v ktorých nie je viac možnosť ísť dopredu. Ísť dopredu – k akému cieľu?

Pokrok v evolúcii má svoju termodynamickú príčinu. Dynamika sveta je ireverzibilná, určená druhou vetou termodynamiky. Bez jej platnosti by svet mal newtonovský charakter: darwinovské variácie by sa podobali nekonečným hudobným variáciám na tú istú tému. Prirodzený výber by hral reverzibilne s týmito variáciami.

Ako pred časom zdôraznili Fontana a spol. ([44] str. 210), znovu oživujúc stále sa vracajúcu otázku súčasnej biológie, „výber nemá generatívnu silu; jedine vylučuje to, čo nie je 'fit', takže sa týka *kinetického* aspektu evolučného procesu. Hlavný problém evolúcie je problém *konštruovania*: porozumieť tomu, ako vznikajú organizované formy, ktoré sú vystavené prirodzenému výberu a tomu, ako mutácie vedú k organizačným, teda fenotypickým, inováciám.“ Odpoveď v zásade už bola poskytnutá pred tromi desaťročiami termodynamikou nerovnovážnych systémov: systémy ďaleko od rovnováhy sa vyvíjajú spontánne do usporiadaných stavov, nazvaných *disipatívne* štruktúry, v dôsledku fluktuácií [45]. Samozrejme, nie je to úplná odpoveď: *konštrukcie*, aké sa vyskytujú v živých systémoch, sú najmä *konzervatívnymi* štruktúrami, nie disipatívnymi a úlohou ostáva vyjasniť, ako tieto konštrukcie, stále zložitejšie, vznikajú a ako sú udržiavané. Práve tu vystupuje princíp minimálnej komplexnosti do popredia.

Často sa tvrdilo, že vznik života musel byť veľmi nepravdepodobnou udalosťou, ku ktorej možno došlo iba raz v dejinách vesmíru. Podpora tomuto názoru sa celkom chybné hľadala v druhej vete termodynamiky. Prehliadalo sa, že druhá veta termodynamiky sa uplatňuje vo svete, ktorý je ovládaný fundamentálnymi silami. V poli síl elementárne častice, atómy, molekuly sa spájajú dohromady, čím vytvárajú vyššie jednotky, takže disipácia potenciálnej energie má tvorivú rolu: generuje štruktúry. Dnes sa zdá byť temer isté, že v ktorejkoľvek časti vesmíru, kde sú termodynamické podmienky teploty a tlaku podobné ako boli pred štyrmi miliardami rokov na Zemi, život musí vzniknúť ako fyzikálna nevyhnutnosť.

Keď sa objavili nukleové kyseliny schopné sebakopírovania, vo vesmíre sa vynorila nová kvalita: *molekulárne rozpoznávanie*. Medzi dvomi atómami vodíka a kyslíka, ktoré sa za špecifických podmienok spojujú a vytvárajú vodu, nie je nijaké rozpoznávanie. Toto ich spojovanie, asociácia, je fyzikálnou nutnosťou, je *nomickým* procesom. Ale asociácia molekúl nukleotidtrifosfátov s jednovláknovým templátom sebareplikujúcej nukleovej kyseliny, ktorá vedie k Watson-Crickovmu párovaniu k sebe patriacich báz, je iným typom procesu. Je to nutnosť *ex post*, pseudo-nomický proces, za ktorým je schovaná historická kontingencia: výber makromolekuly s istou špecifickou sekvenciou jednotiek (pričom takáto sekvencia nemusí byť jediná, môže byť degenerovaná) z množiny podobných makromolekúl: výber molekuly ktorá má špecifickú funkciu, javí teda teleonómiu. V protiklade k jednoduchým atómovým alebo molekulárnym asociáciám, molekulárne rozpoznanie je *teleonomickým* procesom, výsledkom evolučnej kontingencie a výberu.

Molekula so schopnosťou sebakopírovania musí mať istú minimálnu komplexnosť; v tomto prípade sekvenčnú komplexnosť. Táto komplexnosť umožňuje molekule plniť funkciu, konať špecifickú prácu na prostredí, ktorej výsledkom je dynamické udržovanie *onticity* molekuly, jej pretrvávanie v prostredí. Aby tomu tak bolo, molekula musí mať určitú minimálnu znalosť o relevantných vlastnostiach prostredia, musí byť istá zhoda, akokoľvek hrubá a abstraktná, medzi týmito vlastnosťami prostredia a štruktúrou molekuly. Vo všeobecnosti, na všetkých úrovniach života, nielen na úrovni molekúl nukleových kyselín, komplexnosť, ktorá slúži určitej funkcii, a jedine ona, odpovedá *zabudovanej znalosti*, preloženej do konštrukcie systému. Prostredie je veľkou množinou možných ník: každá nika je problémom, ktorý treba rozriešiť, pretrvať v tejto nike znamená rozriešiť problém, a riešením je zabudovaná znalosť, algoritmus, predpis ako konať v záujme pretrvania.

A tak je teda život od svojho počiatku poznávacím, kognitívnym systémom: sebakopírujúca molekula, sledujúca svoju onticitu vo svete, a teda najjednoduchší teleonomický systém, je už *subjektom* voči svetu, ktorý je objektom. Na všetkých úrovniach, od najjednoduchšej po najzložitejšiu, celková konštrukcia organizmu, inkarnácia uložených znalostí, predstavuje *epistemickú komplexnosť*. A práve epistemická komplexnosť kontinuálne rastie v biologickej evolúcii, rovnako ako v kultúrnej evolúcii, a dáva evolúcii jej nasmerovanie.

Čo nútilo pôvodné sebakopírujúce molekuly, aby zväčšovali svoju komplexnosť v priebehu evolúcie, aby sa asociovali s inými druhmi molekúl, aby vytvárali vyššie úrovne komplexnosti a teda aj iné úrovne zabudovaných znalostí?

V pokusoch, ktoré robil Spiegelman so sebakopírujúcou nukleovou kyselinou fágu Q<sub>B</sub> v umelom systéme, nedochádzalo k evolúcii k zväčšovaniu komplexnosti nukleových kyselín, ale naopak ku zmenšovaniu – najvyššiu darwinovskú fitness mali molekuly ktoré sa replikovali najrýchlejšie a tieto molekuly sa stávali kratšími, s menšou algoritmicou komplexnosťou [46]. Takto tomu muselo byť v jednoduchom a nemeniacom sa prostredí. V podobných novších pokusoch umelé evolučné reaktory fungujú v stacionárnom stave, s plynulým vtokom substrátov a výtokom produktov, ale tiež za jednoduchých a konštantných podmienok. Za takýchto podmienok sa evolučne selektujú jednoduché, rýchlo sa replikujúce molekuly [47].

Rozdielna je situácia v „evolučnom reaktore“ sveta. Replikujúce systémy sa nachádzajú v „nádobe“ neobmedzených rozmerov, v prostredí ktoré je komplexné a stále sa mení. Malá zmena prostredia stačí na to, aby sa molekula, ktorá sa rýchlo replikuje, ocitla v nepriaznivom prostredí, ktoré replikáciu spomalí a prípadne molekulu zničí. Systémy, ktoré sú *náhodou* komplexnejšie a ktoré by boli v konštantnom prostredí eliminované, môžu naopak v takto zmenenom prostredí získať výhodu tým, že ich vyššia komplexnosť nesie v sebe potenciál pre „prežitie“ v nových podmienkach. Dalo by sa povedať, že ich väčšia komplexnosť

predstavuje komplexnejší formálny systém a teda väčšiu epistemickú kapacitu replikujúcej sa molekuly ako *subjektu*.

Čím je rýchlejšia replikácia komplexného systému, tým viac zdrojov systém spotrebováva, tým je väčšia disipácia voľnej energie v evolučnom reaktore a tým aj väčšia vzdialenosť od termodynamickej rovnováhy. Ku vzd'aloňovaniu sa od termodynamickej rovnováhy dochádza aj vtedy, keď sa začínajú vytvárať konzervatívne systémy, konštrukcie, nesúce viac zabudovaných znalostí. Aby sa konštrukcie udržali, už nie je potrebná disipácia energie: kinetické bariéry udržuujú vzdialenosť od rovnováhy a spomaľujú prechod konštrukcií do rovnováhy.

Toto umožňuje, aby biologická evolúcia bola kontinuálnym rastom poznania: vytváraním subjektov so stále väčšími zabudovanými znalosťami, stále menej pravdepodobných, umiestnených stále ďalej od termodynamickej rovnováhy. Biologická evolúcia je *inventívna* a práve tento fakt je príčinou, prečo je *progredujúca*.

Algoritmická komplexnosť sekvencie jednotiek v jednorozmernom priestore mohla spočiatku približne odpovedať komplexnosti sebareplikujúcej nukleovej kyseliny. Keď nukleové kyseliny sa neskôr asociovali s inými zariadeniami, membránami, tkanivami, jednotlivcami, spoločenstvami, komplexnosť takýchto systémov nadobúda podobu, ktorú už nemožno vyjadriť jednoducho ako sekvenciu ich nukleových kyselín. Aj komplexnosť samotných nukleových kyselín je oveľa väčšia ako je ich sekvenčná komplexnosť: táto komplexnosť zahrňuje aj časovanie prepisu génov. Takže k trom rozmerom priestoru živého systému treba pridať čas ako jeho štvrtú dimenziu ([48] str. 89). Bude ukázané v inej publikácii, že táto komplexnosť má vzťah ku termodynamickej hĺbke Lloyda a Pagelsa [49]. A že k jej vyjadreniu je potrebné uvažovať subjekt a objekt ako nerozdeliteľnú jednotku, na čo v inej súvislosti upozornili Grassberger [50] a Gell-Mann [51].

Vzťah medzi epistemickou komplexnosťou, fitness a pravdou je zložitý a bude analyzovaný v inej publikácii. Individuálny subjekt s veľkou epistemickou komplexnosťou javí robustnosť voči fluktuáciám prostredia. Ale aj veľký počet jednoduchých agentov, napríklad príslušníkov druhu, ktorý existuje vo veľkom počte kópií, rozmiestnených na veľkej ploche a úzko spolupracujúcich, môže byť robustný a prežiť rozmanité ataky z prostredia, ba aj v súťaži vytlačiť komplexné subjekty s rozsiahlym zabudovaným poznaním, pokiaľ je ich málo v porovnaní s jednoduchými agentmi. Práve táto zložitosť vzťahu slúži ako argument pre tých, čo popierajú ideu pokroku v evolúcii. Tento zložitý vzťah je zrejmý aj v kultúrnej evolúcii. Tvrdenie, že „väčšina má vždy pravdu“ je oveľa menej triviálne než by sa zdalo na prvý pohľad. Táto zložitosť robí epistemické „bludisko“ komplikovanejším, ale neprotirečí univerzálnej evolučnej tendencii.

Zabudované poznatky umožňujú teleonomickým systémom postupovať smerom k cieľom (spočívajúcim na ultimátnom cielei onticity) minimalizovaním dĺžky trajektórie k cieľu. Hľadanie cesty, spočiatku v podstate v podobe náhodného blúdenia, sa stáva v priebehu evolúcie stále menej randomným. V tomto zmysle je každý teleonomický systém racionálny, pričom stupeň racionality závisí od veľkosti zabudovaného poznania a je určený rozdielom medzi temer cikcakovitou čiarou a ideálnou trajektóriou v podobe priamky.

Biologická racionalita má jeden celkom podstatný nedostatok: je vždy racionalitou Russellovho moriaka (ktorý je rekurentnou témou Riedlovej epistemologickej analýzy, napr. [52]). Moriak, vykrmovaný sedliakom, očakáva budúcnosť ako pokračovanie súčasných výhod, bez toho, aby mal predstavu, že je to iba príprava na to, aby raz skončil na panvici. Anticipácia je prostou extrapoláciou z minulej skúsenosti. Jediná výnimka sa objavuje na úrovni racionality individuálnej ľudskej osoby: aj keď s veľkými obmedzeniami a ťažkosťami, človek má schopnosť obmedzeného predpovedania a robenia prognóz. No je to možno iba malinký záblesk v dejinách života na Zemi. Kultúrna evolúcia, s jej autonómnou

dynamikou mémov, má možno racionalitu vyššiu ako má premýšľajúci ľudský jedinec, no pritom je to znovu len racionalita Russellovho moriaka.

A to je aj prípad vedy, ktorá býva označovaná za triumf ľudskej racionality. Ako už konštatoval Karl Popper [53], vedecká teória „môže preukázať svoju ‘fitnes’ v podobe schopnosti prejsť úspešne tým testovaním, ktorým už prešla; lenže rovnako ako v prípade živého organizmu, ‘fitnes’ znamená iba súčasné pretrvávajúce a minulé úspešnosť nijako nezaručuje úspech v budúcnosti“.

Niet nijakých dôvodov, prečo by sebakopírujúce molekuly nevznikli aj inde vo vesmíre. Na základe rozumných predpokladov, vyplývajúcich z poznatkov súčasnej vedy, ľahko sa dá vypočítať z Drakeovej rovnice [54], že život musí byť bežným javom vesmíru. Vznik života zdá sa byť nevyhnutnosťou, nomickým procesom, a len po jeho vzniku nastupujú teleonomické procesy. Podľa Koperníkovho princípu [55] naša Zem, aj náš druh nemajú nejaké neobyčajné či výnimočné miesto v priestore a čase. Vesmír ako celok vykazuje *epistemické rozvinutie* tým, že sa v ňom vyskytujú lokálne „ohniská“, v ktorých prebiehajú procesy hromadenia poznania. Metaforu bludiska, ktorou vysvetľujeme postup života na Zemi zároveň s neúspešnosťou ohromnej väčšiny aktérov nájsť cestu a neskončiť v slepej uličke, treba aplikovať na celý vesmír.

Tendencia k epistemickému rozvinutiu vesmíru je nazvaná epistemickým princípom.

My, naša Zem, náš druh, sme aktérmi v tomto rozvíjaní. Majme stále na mysli: nezaberáme nijaké privilegované miesto vo vesmíre. Nemáme nijaký dôvod predpokladať, že z nespočetného množstva aktérov práve my sme vyvolení. Ba máme hodne dôvodov pre domnienku, že tomu tak nie je.

## 2.5 Princíp račtovania

Ako už bolo konštatované, disipácia energie v evolúcii umožňuje nielen udržiavanie disipatívnych štruktúr, ale aj vytváranie konzervatívnych štruktúr, konštrukcií. Konštrukcie sú systémy ďaleko od termodynamickej rovnováhy, oddelené od rovnováhy kinetickými bariérami. Termodynamika konštrukcií zatiaľ nebola rozpracovaná. Rast poznania v evolúcii znamená pribúdanie stále komplikovanejších konštrukcií.

Dynamika živých systémov, na všetkých hierarchických úrovniach, spočíva v jednosmernom račtovaní<sup>9</sup>. Idea račtu bola do vedy zavedená Feynmanom, ktorý ju použil na ilustrovanie niektorých dôsledkov druhej vety termodynamiky; v podstate ako dôkaz, že rovnovážne fluktuácie nemožno použiť na konanie práce [56]. Jednoduchý mechanický račet je predstavovaný ozubeným kolieskom s asymetricky tvarovanými zúbkami a západkou, ktorá dovoľuje koliesku točiť sa len v jednom smere a bráni pohybu smerom dozadu. Na tomto jednoduchom princípe sú založené molekulárne, evolučné, vývinové, kognitívne, sociálne račety. Na molekulárnej úrovni, konštrukcie dávajú životu možnosť využívať molekulárne račety: zariadenia, ktoré usmerňujú Brownov pohyb častíc v anizotropnom prostredí, v ktorom niet teplotných gradientov, síl a ani makroskopického elektrického poľa [57, 58, 59]. Randomný tepelný pohyb častíc je usmernený tak, aby slúžil funkcii, konaniu užitočnej práce na prostredí. Na prvý pohľad je tu zrejмый vzťah ku koncepcii racionality, ktorá bola načrtnutá v predchádzajúcom oddieli: náhodné blúdenie znamená „nijaká racionalita“, priamka odpovedá „ideálnej racionalite“ (ale tiež nevyhnutému kauzálnemu spojeniu, *nomicité*) a čokoľvek medzi tým predstavuje „obmedzenú racionalitu“. Molekulárne račety sú zariadeniami čo vykazujú *molekulárnu racionalitu* a zároveň môžu byť označené za prototyp systémov s „ohraničenou racionalitou“.

Molekulárne račety boli navrhnuté najmä na vysvetlenie práce molekulárnych motorov, akými sú svalové proteíny alebo ATP syntáza. No v podstate aj jednoduché proteíny môžu fungovať ako račety. Platí to aj pre základné kognitívne zariadenia, molekulárne senzory.

Brownovský pohyb molekuly liganda je usmernený elektrickým poľom senzora, ligand je priviazaný na senzor a časť energie viazania, miesto toho aby bola priamo disipovaná v podobe tepla, sa využije na vykonanie molekulárnej práce senzora: prenesenie signálu cez proteinovú molekulu. Viazanie receptora je spojené, *konjugované*, s prenosom signálu. Je to elementárna forma, na molekulárnej úrovni, fenoménu konjugácie. Podoby, počty, úrovne konjugácií narastali behom evolúcie. Život, popísaný týmito výrazmi, nie je nič iné než ohromný systém nespočetných konjugácií, ktorými je kanalizovaný tok energie, počínajúc radiačnou energiou zo Slnka. Energia preteká stupeň po stupni, cez obmedzené, vybrané stupne voľnosti, až po konečný „výtokový kanál“ tepelnej energie, miesto toho aby bola disipovaná priamo. V tejto optike aj najzložitejšie ľudské činnosti, vrátane vedy a umenia, sú len evolučnými vsuvkami do nezastaviteľného toku a konečnej disipácie slnečnej energie.

Nepretržité vynálezenie stále nových konštrukcií je samo procesom račtovania. Evolúcia ako celok je jeden ohromný račet. V evolučnej biológii je dobre známy Mullerov račet: hromadenie škodlivých mutácií, ktorým narastá mutačná záťaž a ktoré nevyhnutne končí vyhynutím ([60] str. 241). Mullerov račet je len virtuálny, len výnimočne naozaj funguje: sex bol vynálezom, ktorým sa život bráni Mullerovmu račetu. Tento obranný účinok sexu je zosilnený račtami outbreedingu, predstavovanými rôznymi mechanizmami, ktoré zabraňujú príbuzenskému kríženiu, vrátane *tabuizovania incestu* u ľudí.

Dobrou ilustráciou najelementárnejších evolučných račtov je počítačové modelovanie evolúcie RNA [61]. Pravdepodobnosť prechodu medzi dvomi rozdielnymi molekulami RNA, ktoré sa od seba odlišujú jedinou mutáciou, nie je symetrická: deštrukcia štruktúrneho elementu jednobodovou mutáciou je ľahšia než jeho vytvorenie.

Najúčinnejší evolučný račet predstavuje Weismannova bariéra, ktorá oddeľuje genotyp a fenotyp. Vďaka Weismannovmu račetu je žitie individuálneho organizmu, so všetkými jeho mýlením sa, sklamaniami, degeneráciou, stareckou rezignáciou, oddelené od ihriska *evolučného hádzania kockou*, ktoré prebieha na úrovni genómu, a ktoré – ak neberieme do úvahy prípady parazitizmu – posúva genóm jednosmerne ku stále väčšej komplexnosti. To z tejto elementárne molekulárne podoby vyrastá Campbellov jav „variácií a selektívnej retencie“, ktorý pozorujeme na všetkých úrovniach evolúcie, biologickej i kultúrnej [27].

Už bola zmienka o tom, že evolúcia ťahá organizmy stále ďalej od termodynamickej rovnováhy. Prigogine so spolupracovníkmi opakovane zdôrazňoval (napr. [62]), že hmota ďaleko od rovnováhy je tvorivá. Čím mohutnejšia je disipácia energie, tým účinnejšia je sebaorganizácia a tým viac poriadku sa vytvára ireverzibilným spôsobom. Oceňujúc pionierske štúdie Prigogina, môžeme túto celkovú tvorivú činnosť evolúcie nazvať Prigoginovým račtom.

Račtovanie hrá dôležitú rolu v individuálnom vývine<sup>10</sup>. Jednoduchou analógiou so skvelým objavom Georgea Beadlea z ranného obdobia biochemickej genetiky, že vo všeobecnosti jeden gén kóduje jeden enzým, ktorý dostal názov „hypotéza jeden gén-jeden enzým“, to isté by sa mohlo povedať o morfogenéze: „jeden gén-jeden morfologický znak“. Hoci pravdepodobne nijaký vedec takúto analógiu nenavrhol, slúžila ona ako výzva k útokom zo strany rôznych anti-darwinistov a biologických štrukturalistov. Keby každý diskretný znak mnohobunkového organizmu mal byť určený samostatným genómom, a to na každom jednotlivom stupni vývinu, organizmy by museli byť vybavené nejakou zázračnou „superkomplexnosťou“. Dokonca možno aj predstava genómu nie ako plánu, ale ako receptu na upečenie koláča, ktorú navrhol Dawkins ([63] str. 294), hoci predpokladá menšiu zložitosť, je stále možno ešte prináročná. Je preto možné, že pri vývine je v činnosti nejaký druh somatického darwinizmu [64, 65, 66], ktorý je ale obmedzený takým spôsobom, že vždy vyúsťuje do jedného, kvazi-determinovaného stavu, ale bez toho, že by vyžadoval veľmi náročný program alebo nejakú ústrednú autoritu, „genómový mozog“ (či nebodaj „genómový ústredný výbor“). Na každom stupni morfogenézy, počínajúc dvomi bunkami najrannejšieho

embrya, môže dochádzať ku kombináciám rôznych čisto lokálnych asociácií, v podstate stochastických alebo len málo usmernených, ale činnosťou vývinových račetrov špecifických pre každý vývinový stupeň, na každom stupni len vhodné by sa zachovali a tým dávali možnosť pre ďalšie asociácie na vyššej úrovni. Komplexný globálny poriadok by sa takýmto spôsobom spontánne vynáral z výlučne lokálnych interakcií jednoduchých jednotiek.

Toto sa javí ako univerzálny princíp usporadúvania v evolúcii, vývine, kognícii, ba i štruktúrovaní megaspoločenstiev. Princíp minimálnej komplexnosti naznačuje, že by práve molekulárna biológia mohla urobiť podstatný príspevok k jeho vyjasneniu. V našej dobe dostáva tento princíp najväčšiu podporu zo štúdií umelej inteligencie [67]: komplikované správanie sa vynára z interakcií jednoduchých autonómnych agentov, ktorí sú situovaní vo svojom prostredí, pričom každý sleduje len jednoduchý cieľ. Niet tam nijakého ústredného plánovača, ani vnútornej štruktúry ktorá by predstavovala „plán“ systému, ani neexistuje centrálna reprezentácia ktorú by zdieľali všetky agenty.

Princípu račetrovania je implicitný iný princíp. Možno ho nazvať princípom *hierarchickej continuity dizajnu* a voľne ho spojiť s Jacobovým princípom zmajstrovávania, brikoláže (tinkering, bricolage) [68]. Evolučné hádzanie kockou, skombinované s evolučným račetrovaním, robí z evolúcie proces, v ktorom niečo nové vždy nutne stavia na tom, čo už bolo dosiahnuté. Zariadenia a konštrukcie, vynájdené v minulosti, sú pozmenené do novej podoby. Dokonca aj keď sú nie funkčné, zriedkakedy sú celkom odhodené. Skôr fungujú ako rezervy, vcelku alebo rozmontované na svoje súčiastky, ktoré sa dajú využiť ako moduly v iných kombináciách a pre iné účely. Toto je aj jedna z príčin narastajúcej redundancie v evolúcii na všetkých úrovniach biologickej organizácie, od redundancie génov až po veľkolepú redundanciu neurónov v ľudskom mozgu a v jej dôsledku aj ľudskej kultúry. Zvyšovaním redundancie v evolúcii sa život menil z bojovnej hry o prežitie na hru pre zábavu (z *game* na *play*). Adaptívne správanie sa dopĺňovalo *expresívnym správaním*. Po nástupe kultúrnej evolúcie sa k týmto dvom formám správania pridala tretia : *správanie vynútené mémami*.

Kontinuita dizajnu, ktorá tvaruje a obmedzuje evolúciu, je fundamentálne dôležitá vo vývine. Vo vývine ešte prísnejšie než v evolúcii každý nový úkon naväzuje na úkon predchádzajúci. Keďže vývinové úkony sa neustále vetvia, v celej hierarchii úkonov výsledok každého predchádzajúceho je zatláčaný stále hlbšie. Keďže vývin je geneticky riadený, výsledky najrannejších úkonov, nachádzajúce sa hlboko v základoch, sú temer nezmeniteľné. Akákoľvek zmena v ranných génoch embryonálnej fázy, bez ohľadu na to, ako by mohla byť výhodná, predpokladá súčasné znoupravenie všetkých génov, čo určujú neskoršie fázy ontogenézy – pravdepodobnosť takého simultánneho uspôsobenia je prakticky nulová. V evolúcii vývinu dochádza k postupnému nezvratnému zafixovaniu všetkých predchádzajúcich úkonov. Wimsatt [69] nazval tento proces *generatívnym vnáraním* (generative entrenchment). Jeho faktickú ireverzibilitu ilustroval modelom vývinového zámku: je to valcový zámok, s krúžkami, pričom každý krúžok môže mať viac nastavení, no nastavenie krúžku závisí od nastavenia predchádzajúceho krúžku. Zmena v nastavení krúžku ktorý je na začiatku procesu si vynúti zmenu nastavenia všetkých ostatných, čo ale opačne neplatí. Vlastne takýto digitálny vývinový zámok možno vidieť ako druh vývinového račetu. Dobrým konkrétnym biologickým príkladom, na ktorom je zrejma ako kontinuita dizajnu tak zmajstrovávanie, je gén *Pax6* [70]. Gén, ktorého počiatočnou funkciou bolo riadenie diferenciácie fotoreceptora v primitívnom „oku“, ktoré pozostávalo iba z fotoreceptorov, bol evolúciou posunutý do funkcie hlavného regulačného génu v oku hmyzu, myši i človeka. Riadi gény, ktoré boli pridané v evolúcii neskôr, ako sa oko stávalo stále komplikovanejším.

Na tom istom všeobecnom princípe spočíva ľudská kognitívna ontogenéza. Blízko pri dne leží *vpečatovanie* (imprinting). Za tým časovo nasleduje prvotné naplnenie geneticky určených abstraktných, ale pritom špecifických „poštových schránok“ mysle konkrétnymi

pojmi, ideami a návykmi – *incipácia*. Do hierarchie sa potom radí spevňovanie kontingenciami prostredia a nakoniec vrcholí vedomé uvažovanie. Na všetkých týchto úrovniach bežia variácie, lokálne interakcie, selektívna retencia, nové úrovne sa budujú nad neodstrániteľnými nižšími a výsledkom je zjednotená, koherentná a dynamická štruktúra. Vo všeobecnosti čím včasnšie v individuálnom živote sa kognitívny modul zmontuje, tým rezistentnejším je k neskoršiemu pozmeňovaniu. Husserlov termín *Lebenswelt*, ktorý od neho prevzali existencialisti, ktorý je jedinečný každému ľudskému jedincovi a zjavne neprístupný iným, označuje realitu, ktorá je takýmto jedinečným spôsobom konštruovaná v ontogenéze každej jednotlivej osoby [71]. A vlastne aj vznik a vývoj každej špecifickej ľudskej kultúry sa riadi tým istým princípom [72].

Račtovanie v evolúcii, vo vývine, v kognícii plní tú istú funkciu: zaisťuje stupňovité hromadenie a zmysluplné využitie poznania a znemožňuje jeho zmenšovanie alebo rozpad tým, že by procesy bežali smerom dozadu. Račety bežia na všetkých úrovniach, od molekúl po megaspoločenské. Pri analýze hierarchie týchto úrovní je užitočný pojem *granulácie*, ktorý sa vyskytuje v štatistickej fyzike. Jeho významom sa bude zaoberať iná publikácia.

## 2.6 Princíp minimálneho predsudku

„Od svojho samého začiatku musí byť život vybavený všeobecným poznaním, poznaním, ktoré obyčajne nazývame poznaním prírodných zákonov. Samozrejme nie v zmysle vedomého poznania“ ([53] str. 32). Toto vyjadrenie Karla Poppera je nešťastné. Je možno jednou z príčin, prečo Popper vznik života považoval na „neuveriteľne nepravdepodobnú“ udalosť. Život je *obmedzený všetkými* prírodnými zákonmi, neznamená to však, že ich všetky musel od začiatku (hoci aj nevedome) poznať. Sám Popper, ako všetci evoluční epistemológovia, tvrdil, že poznanie prostredia znamená *adaptáciu* naň („...die Anpassung des Lebens an seine Umgebung ist eine Art von Erkenntnis“). Z toho vyplýva, že adaptácia na jednoduché prostredie sa rovná jednoduchému poznaniu a že behom evolúcie trvalý rast zložitosti ním, ktoré život obsadzuje, znamená trvalý rast poznania – teda, trvalý rast epistemickej komplexnosti.

Obmedzené poznanie bolo významnou príčinou vyhynutia, extinkcie druhov. Prírodné zákony platia, aj keď ich život nepozná. Pokiaľ ide o pravdepodobnosť vyhynutia, iná charakteristika živých bytostí, neodkloniteľnosť ich presvedčení, fanatizmus, už nie je tak jednoznačná. Organizmy sú *fanatici*. Jednoduché organizmy, ktoré nemajú schopnosť učenia sa, ba aj jednoduché samokopírujúce nukleové kyseliny, sú absolútnymi fanatikmi. Organizmy nevynaliezajú a neudržia si hypotézy, ale oplývajú *vierami*, a iba niektoré z týchto vier odpovedajú, v špecifickom prostredí, poznatkom o jeho vlastnostiach. Čo znamená, že len niektoré konštrukcie organizmov predstavujú zabudované poznanie; iné predstavujú *zabudované viery*. Akonáhle je raz adaptovaný na svoje prostredie, jednoduchý organizmus je úplne nemenný. Ak by sme novú mutáciu u baktérie považovali za novú vieru o prostredí, môžeme povedať, že mutant obetuje svoj život, aby dokázal vernosť svojej viere. U organizmov, ktoré majú schopnosť učenia, situácia nie je na toľko rozdielna, ako by sme predpokladali: ako už bolo uvedené, kontinuita dizajnu sa stará o to, aby tie viery, ktoré boli získané v rannej ontogenéze, ostávali zachované a nemenné behom celého individuálneho života. Z hľadiska spoločného génového poolu je to zariadenie adaptívne: je to jeden z hlavných zdrojov vytvárania a udržiavania polymorfizmu, ktorý slúži prežitiu druhu vo fluktuujúcom prostredí. Tým, že sa takto zvyšuje variácia, zväčšuje sa evolučný potenciál druhu. Pri jednej konkrétnej zmene, fluktuácii prostredia, niektorí fanatici zahynú, kým iní, s inými vierami, zväčšia svoju fitness; keď sa evolučné kyvadlo vychýli v opačnom smere, šance pre obe kategórie fanaticov sa obrátia. No druhy, čo by boli zložené iba z liberálov, iba

zo skeptikov, iba z oportunistov by neboli dostatočne robustné aby prežili fluktuácie a nevyhynuli.

Ľudský druh nie je výnimkou. Človek, podobne ako iné živočíchy, nie je popperovským racionalistom, ktorý by horlivo vystavoval svoje výklady sveta testovaniu a bol ochotný nahradiť ich novými. Ľudia sú *mýtofilni*: lipnú pevne na svojich vierach, často ochotní obetovať za ne vlastné životy rovnako zaťato ako baktérie.

Prostredie, v ktorom sa formovali prirodzeným výberom naše mentálne schopnosti, nepodporovalo fitness jednotlivcov, čo boli nerozhodní, váhajúci, tolerantní, ohromení zložitou svetom a náchylní ku kognitívnym zmätkom a existenciálnej úzkosti. V evolúcii musel byť aj silný selekčný tlak na sociálnu konformitu. Mýty, nezmeniteľné, nediskutovateľné, vševedúce, všetko zahrňujúce vysvetlenia sveta, boli najúčinnejším skupinovým „lepídlom“, ktoré robilo zo sociálnej skupiny účinnú kohéznú jednotku a naopak podnecovalo súťaž medzi skupinami. Mýty plnia svoju funkciu aj dnes vo forme organizovaných náboženstiev a vo forme ideológií. „Nedostatky ľudského rozumu“ [28], ktoré vedú ku kognitívnym ilúziám a ku krajným predsudkom, fungujú ako vynikajúca živná pôda pre zdarné množenie a šírenie mémov, ktoré predstavujú kolektívne mýty a ideológie. Pre spevnenie skupinovej kohézie je zvlášť dôležitou kognitívnou ilúziou individuálna, ale aj skupinová *sebaklam*. Sokratova výzva „poznaj sám seba“ je oveľa ťažšie splniteľná než sme pri svojom sebaklame schopní pripustiť.

Mnohé črty fyzickej a mentálnej výbavy ľudí, ktoré boli vyselektované v malých neanonymných skupinách lovcov a zberáčiek v savane, nie sú viac adaptívne v sociosvete, ktorý vytvorila kultúrna evolúcia. Aspoň čiastočné korekcie môže do tejto diskrepancie zavádzať jedinečný objav európskej kultúry: experimentálna veda. Nie ani tak vedomou činnosťou vedcov – jednotlivý vedec nemusí byť o nič menej mýtofilný ako laik, tiež sa pevne drží svojich vier – ale spôsobom, akým veda prekladá svet do podoby reality: experimentálne výsledky neprípúšťajú odchýlenia od racionálnosti, musia byť v súhlase s prírodnými zákonmi, z ktorých možno väčšina je vyjadrením nejakých extrémnych princípov. Experimentálny prístup ukladá na prácu vedcov princíp, ktorý sám tiež je extrémnym princípom a ktorý nie je celkom vyhovuje „prirodzeným“ mentálnym sklonom človeka: princíp minimálneho predsudku. Možno ho nazývať aj Jaynesovým princípom, podľa fyzika, ktorý prvý tento princíp presne formuloval. Princíp sám bol implicitný v názoroch niektorých filozofov, napr. v metafore Occamovej britvy ([73] str. 462), v požiadavke ekonómie myslenia [74], alebo v zásade parsimónie [75].

Jaynes princíp matematicky formuloval. Ak niekto má neúplnú znalosť o niečom, pripísanie minimálne predpojatých pravdepodobností je také, čo pri daných dátach maximalizuje Shannonovu informačnú entropiu [76]. Jaynes elegantne ukázal, že niektoré teorémy termodynamiky sa dajú vyvodiť ako dôsledky tohto princípu. A hádam nie je ani prehnané očakávať, že aj základy niektorých iných vied by sa dali odvodiť z Jaynesovho princípu.

Zrejme je prepojenie medzi princípom minimálneho predsudku a tým chápaním racionality, aké bolo popísané vyššie. Paradoxne však práve úvahy o racionalite sa často nedržia tohto princípu. Racionalita sa chybné chápe ako záležitosť čisto rozumového zdôvodňovania, mentálneho výpočtu, vedomého zvažovania ziskov a strát. Neberie sa do úvahy „*múdrosť tela*“, ktorá sa dosiahla v evolúcii prirodzeným výberom, možnosť racionálneho konania sa upiera iným živočíchom než je človek, racionalita sa pripisuje len individuálnej ľudskej osobe a zabúda sa na racionalitu adaptívnych dynamických systémov. A nadovšetko sa neuznáva racionalita emócií a ich rozhodujúca rola v zmysluplnom správaní. Viera na silu individuálneho ľudského rozumu bola veľkým predsudkom, najmä v európskej kultúre. To je predsudok, ktorý nemá nijaké evolučné opodstatnenie.

Práve princíp minimálneho predsudku opodstatňuje ďalší princíp kognitívnej biológie.



## 2.7 Princíp minimalizovania utrpenia

Keby baktérie mali vedomie a schopnosť sebareflexie, ich svetonázor by celkom isto bol „baktériocentrický“. To isté platí pre potkanov, až na to, že ich konštrukcia reality by bola „ratocentrická“. Jedni i druhí by sa hrdili svojou evolučnou úspešnosťou a pozerali by sa s pohrdaním na človeka, ktorého charakterizujú také evolučné podivnosti, privedené redundanciou jeho mozgu a s ňou spojenou kultúrnou evolúciou, ako je atómová bomba alebo masová televízna zábava. My, ľudia, si môžeme postaviť teoretickú otázku, ako to asi je byť netopierom [77], ale nikdy nebudeme schopní preniknúť do druhovo-špecifickej reality netopierov. Obmedzení sme na našu realitu špecifickú pre človeka a svojimi evolučnými a vývinovými račetmi sme nútení byť antropocentrickí.

Bakteriálny filozof, odsúdený na doživotné pobývanie vo svojom druhovo-špecifickom formálnom systéme, by si staval tie isté dve najvšeobecnejšie otázky, aké si po dva a pol tisíc rokov stavali ľudskí filozofi: (1) Existuje svet alebo je len mojou ilúziou? (2) Ak niečo existuje, prečo to existuje, prečo je vôbec niečo a prečo nie je jednoducho nič? Tak ako jeho ľudský kolega, aby bakteriálny filozof by na otázku nenašiel odpoveď. Aby ju našli, museli by, jeden i druhý, vykročiť zo svojich formálnych systémov – a to je nemožné.

Evidenciu, a to naprosto nezvratnú, získavame my ľudia iným spôsobom. Získavame ju *vedomým prežívaním emócií*. Tým, že si uvedomujeme radosť a bolesť.

Emócie sa vyvinuli ako adaptívne zariadenie, ktoré účinne zaisťuje onticitu živých bytostí. Bolo urobené veľa pokusov vystopovať ich evolučný pôvod [78, 79, 80]. Tak, ako v prípade kognície, názory sa líšia a ležia medzi dvomi extrémami: pri jednom extrémne sa emócie považujú za výlučne ľudské privilegium, druhý extrém pripisuje emócie nielen všetkým živým útvarom, ale aj niektorým neživým objektom, napr. termostatu. Užitočným sa môže ukázať použitie princípu minimálnej komplexnosti. Takto možno hľadať emócie v akomkoľvek teleonomickom systéme, v ktorom sú zabudované zariadenia na vyhodnocovanie stimulov z prostredia [81].

U druhu *Homo sapiens* sa pozoruje zvláštnosť, a možno dokonca jedinečnosť: koincidencia emócií a sebauvedomovania. Práve paralelizmus, či skôr neoddeliteľnosť, týchto dvoch evolučných výdobytkov, dávajú človeku možnosť dvojitej transcencie – vykročiť z formálneho systému logického zdôvodňovania a prekonať fundamentálny imperatív života: úsilie o onticitu, a o nič iné než o individuálnu onticitu, za každú cenu! Neskôr budú uvedené argumenty pre názor, že sebauvedomenie a schopnosť silných emócií, vlastne priam hyperemocionálnosť, sú konečnými produktmi jediného *evolučného trieľu*, evolučnej eskalácie (run-away), takže oba predstavujú viac než adaptívny výdobytok evolúcie. Emócie sú hlavným motorom expresívneho správania<sup>11</sup>.

Napriek úspešným pokusom vysvetliť u človeka altruizmus tými istými elegantnými zdôvodneniami, aké zrejme platia pre všetky biologické druhy, vrátane rastlín a mikroorganizmov, vieme všetci z introspekcie, že ľudský altruizmus má aj vlastný, veľmi účinný zdroj: *empatiu*. Empatia nielen riadi správanie ľudského jedinca voči iným ľudským bytostiam; poskytuje mu aj najprenikavejšiu evidenciu o tom, že nielen on, ale aj iní naozaj existujú [82]. Je to presvedčivejší argument, než by sa získal len racionálnym bayesovským zdôvodňovaním. Bayesovské zdôvodnenie (na ktorom spočíva princíp najmenšieho predsudku) opodstatňuje iný argument, Koperníkov princíp: nikto z nás nezaberá nijaké mimoriadne, privilegované miesto vo vesmíre. Oba argumenty vedú k záveru, ktorý už pred tromi dekadami formuloval Linus Pauling [83]:

*„Evidencia mojich zmyslov mi hovorí, že som človek, taký ako iní ľudia. Keď sa porežem, som poranený, trpím, nariekam. Vidím, že aj iný človek, keď sa poreže, narieka. Z jeho správania robím záver, že aj on trpí rovnako, ako ja. Nič z mojich pozorovaní mi*

*nedáva dôvod veriť, že som niečím špeciálnym, čo by ma zásadným spôsobom odlišovalo od iných ľudských bytostí: miesto toho som vedený k presvedčeniu, že som človek taký ako ostatní. Chcem byť oslobodený od utrpenia ako sa len najviac dá. Chcem žiť šťastným a užitočným životom, spokojným životom. Chcem, aby mi iní ľudia pomohli byť šťastným, aby mi pomohli udržovať moje utrpenie na minime. Je potom mojou povinnosťou pomôcť zas im, aby boli šťastní, snažiť sa o zabránenie utrpenia iných ľudí. Tento argument ma vedie k fundamentálnemu etickému princípu: rozhodovania sa medzi alternatívami konania musia byť robené tak, aby sa minimalizovalo ľudské utrpenie...*

*Tvrdím, že princíp minimalizovania ľudského utrpenia je vedeckým princípom, s logickým, vedeckým základom. Súhlasím s profesorom Jacquesom Monodom, ktorý povedal, že etika musí spočívať na axiómach, rovnako ako geometria. Profesor Waddington poukázal na to, že hoci je možno rozvinúť geometriu na báze iných axióm, všetci ľudia súhlasia s tým, že v praktickom svete treba prijať Euklidove axiomy. Mám pocit, že aj keď máme teoretickú slobodu, aby sme formulovali rozmanité etické systémy, výber rozumného a praktického etického systému je silno obmedzený našimi znalosťami o povahe fyzikálneho a biologického sveta a že jedinými prijateľnými etickými systémami sú tie, čo sú založené na princípe minimalizovania ľudského utrpenia.“*

Etická norma sa môže udržovať v populácii dvoma spôsobmi. Môže pretrvávajúť tým, že zvyšuje fitness jedincov, ktorí sa ňou riadia. V najjednoduchšom prípade by to bol dôsledok recipročného altruizmu – akéhosi výpočtu, ktorý je vlastne implicitný aj v takých univerzálnych morálnych prikázaniach ako je „nerob svojmu bližnému to, čo chceš aby on nerobil tebe“. Ale môže sa tiež jednať o silno virulentný gén, ktorý sa šíri populáciou aj vtedy, ak znižuje fitness tých jedincov, čo sú ním infikovaní. Princíp minimalizácie utrpenia, založený na empatii, kombinuje biologický i kultúrny príspevok. Empatia ako biologická črta by bola jedným z tých abstraktných mentálnych „poštových schránok“, o ktorých už bola zmienka, ktorá môže byť zaplnená buď súcitom, charitou a obetavosťou, alebo závišťou, pomstivosťou či zlomyseľnou krutosťou. Ani jeden z týchto dvoch typov prejavov správania nepozorujeme u iných živočíchov než je človek, čo svedčí o tom, že ich dovoľuje len vlastnosť špecifická pre človeka. Záleží len na konkrétnom zložení génového poolu v nejakom kultúrnom prostredí, ktorý z dvoch typov správania prevláda.

Príroda je ľahostajná k utrpeniu. Časť ľudského utrpenia je výsledok úmyselného konania ľudí, ale asi väčšia časť je nezamýšľaná, spôsobená neznalosťou a bezmocnosťou tvárou v tváre slepým prírodným a spoločenským silám. Nevedomosť, neschopnosť, pocit menejcennosti, strach predstavujú živnú pôdu pre mémy závišti a krutosti, ich opak podporuje zhovievavosť, súcitiť, oddanosť, spoločenskú hravosť. Po celé storočia ľudia vedu vysvetľovali a opodstatňovali ako činnosť zameranú na znižovanie neznalosti a bezmocnosti. Všetky princípy kognitívnej biológie opodstatňujú takéto chápanie vedy ako organizovaného znižovania neznalosti. Na druhej strane však reťazec tu uvedených argumentov spojuje vedu priamejšie aj so znižovaním utrpenia. „Hľadanie pravdy“ sa často považovalo za vnútornú normu vedy. Nie je však tomu tak: veda ktorá klame jednoducho vedou nie je. Princíp minimalizovania utrpenia pridáva vede ďalšiu dimenziu. Zas nie ako normu: čím je veda „opravdivejšou“, tým je bližšia tomuto extrémálnemu princípu. Kým Paulingova argumentácia končila normatívnym návrhom ako základom etického systému, toto konštatovanie nie je normatívne, ale len popisné. Vznik vedy a jej ďalšia evolúcia ako inštitúcie boli samou svojou podstatou zviazané so znižovaním ľudských trápení: bolesti, ťažkej práce, biedy, úzkosti. Veda sa stala hlavným nástrojom v ľudskom snažení o minimalizovanie bolesti a maximalizovanie príjemnosti. Kognitívna biológia len vysvetľuje, prečo je tomu tak.

Z toho nevyplýva, že vedecké bádanie, ktorým sa spôsobuje utrpenie, či už nezamýšľané alebo aj zamýšľané, nie je vedou. Je vedou, ale so značným podielom

neznalosti. Tak ako život na Zemi, či život v celom vesmíre, aj veda postupuje dopredu v bludisku: je v ňom veľa chybných ciest a slepých uličiek, ale cesta vpred v ňom predstavuje hlavnú evolučnú tendenciu. Úspech však nie je vopred predpísaný.

### 3. Diskusia

Potrebujeme nový termín kognitívna biológia? Je kognitívna biológia súčasťou evolučnej epistemológie alebo je totožná s evolučnou epistemológiou a len sa skrýva za iný názov? Skôr platí niečo opačné: kognitívna biológia je širšou množinou, s evolučnou epistemológiou ako podmnožinou. Kognitívna biológia vyrástla z molekulárnej biológie, s predpokladom, že vyjasnenie molekulárneho rozpoznávania, spracovávania molekulárnych signálov, organizácie génových sietí, proteínového počítania by mohlo poskytnúť kľúč k pochopeniu vyšších kognitívnych procesov. Zároveň jej úzke spojenie s fyzikou a chémiou by mohlo pomôcť ukončiť neustále spory a zmätky okolo vzťahu medzi informáciou a fyzikálnou entropiou a umožniť presnejší a formalizovanejší popis poznania, epistemickej komplexnosti a racionality.

Niektorí významní fyzici naznačili, že extrémálne princípy fyziky by mohli mať fundamentálny význam pre naše pochopenie prírody ([84, 23, 85]. V zmysle logickej parity by to mohlo platiť aj pre pochopenie fungovania mysle. Hádám nie náhodou sa niektoré princípy kognitívnej biológie podobajú, alebo majú vzťah, k extrémálnym princípom fyziky. Možno sa raz ukáže, že duálnosť ontológie a epistemológie je iba kognitívnou ilúziou.

Bol vyslovený názor, že teória vedeckých revolúcií Thomasa Kuhna, s jej koncepciou zmeny paradigiem, mala zlý vplyv na kognitívne vedy: mnohí kognitívni vedci predstavujú svoje teórie ako nové paradigmy, popierajúce iné [86]. Kognitívna biológia nepredstavuje nijakú zmenu paradigmy. Staví na tradičných pohľadoch viacerých vedeckých disciplín, len sa usiluje o syntézu. Aj keď sa to možno na prvý pohľad nezdá, treba zdôrazniť, že myšlienka o centrálnej role ľudského vedomého prežívania emócií čerpá z hlbokých zdrojov fyziky a molekulárnej biológie. Naznačuje pritom dôsledky tohto prežívania, ktoré možno vyjadrujú revolučný zlom v biologickvej evolúcii: už nie viac onticita sebeckých génov, permanencia sebareplikujúcich entít, ale utrpenie, ktoré vedome prežíva živý jedinec, sa stalo – aj keď možno len na krátku dobu a možno ani nie po prvý raz v dejinách vesmíru – stredom zápletky v dráme, ktorá sa odohráva na javisku sveta.

Treba zdôrazniť, že žiaden z princípov kognitívnej biológie, dokonca ani nie princíp minimalizácie utrpenia, nie je normatívnym. Sú to popisné konštatovanie odvodené z ich axióm. Bolo by predčasné pokúsiť sa o axiomatizovanie kognitívnej biológie. Dostatočným dôkazom čisto popisnej povahy týchto princípov sú niektoré základné postuláty, vyjadrené v podobne idealizovanej podobe v akej sú vyjadrené postuláty Euklidovej geometrie. Prvým východným postulátom je existencia, onticita ľudského utrpenia. Druhým postulátom je empatia ako iná emocionálna kvalita. Minimalizácia svojho vlastného utrpenia je, v ideálnom prípade neobmedzenej empatie, neoddeliteľná od minimalizácie utrpenia blížneho. Veda ako špecifický ľudský vynález je v tejto činnosti nápomocná. Netreba sa pritom odvolávať ani na individuálnu či inkluzívnu fitness, ani na recipročný altruizmus. Tvrdenie, že tento princíp minimalizácie utrpenia je normatívny, by bolo ekvivalentné tvrdeniu, že extrémálne princípy fyziky, napríklad princíp najmenšieho účinku, sú normatívne.

To, samozrejme, neznamená, že vedci sú vo svojej činnosti poháňaní súcitom a vedomou snahou byť užitočnými pre ľudstvo. Tendencia vedy znižovať ľudské utrpenie plynie z jej vnútornej dynamiky, v ktorej prijímanie a podpora vedy, ale aj technovedy, verejnosťou hrá podstatnú rolu. Trend k úplnému odstráneniu utrpenia, k jeho redukcii na nulu, ktorý je trojjediným dôsledkom evolučnej eskalácie ľudskej hyperemocionality, vedomia a mémovej dynamiky (ktorá v sebe zahŕňa aj vedu), prekračuje ľudskú biológiu,

a to aj ľudskú darwinovskú fitness: utrpenie malo adaptívnu povahu v úsilí o existenciu; a nulové utrpenie (v kombinácii s maximom umelých príjemností, ktoré možno budú zanedlho poskytovať techniky virtuálnej reality) môže aj toto úsilie o existenciu zredukovať na nulu. Lenže musí byť prežitie naďalej najvyššou hodnotou pre ten druh vedomého života, aký sa vyvinul na Zemi?

Toto konštatovanie je zásadné pre porozumenie rozsahu toho, o čo usiluje kognitívna biológia. Bolo by omylom chápať ju iba ako pokus o vyjasnenie molekulárnych základov kognície. Princíp račtovania, v kombinácii s epistemickým princípom, vysvetľuje, ako jednosmerný beh evolučných a vývinových račtov generuje stále väčšiu komplexnosť, ktorá teraz vyvrcholila v podobe ľudskej vedomej emocionality a v podobe vedy. Kognitívna biológia zahrňuje ľudskú transcenciu, ale zároveň usiluje o postihnutie jej biologických, a molekulárnych, koreňov.

Kognitívna biológia je nielen vedou, ale aj konceptuálnym programom. Hoci nie ako veda, ako program má aj normatívne aspekty. Program má svoje opodstatnenie v presvedčení, ktoré možno po prvý raz vyjadril Claude Lévi-Strauss: 21. storočia bude storočím vedy o človeku – alebo nebude. Hlavné konštatovanie programu znie takto: Cieľom vedy *musí byť* minimalizovanie ľudského utrpenia *plus* optimalizácia ľudskej hmotnej a duchovnej pohody. (Toto konštatovanie, na rozdiel od predchádzajúceho popisného konštatovania o zjavnosti tejto tendencie v evolúcii vedy, je normatívne.) Kognitívna biológia ako program sa pritom drží zásady, že pre plnenie tohto príkazu je pri súčasnom stave poznania treba študovať ktorúkoľvek z čŕt ľudskej prirodzenosti za využitia organizmov s minimálnou komplexnosťou, ba aj čisto molekulárnych systémov, u ktorých sa ešte táto črta vyskytuje. Vstupné motto tejto štúdie možno trochu modifikovať (a vyjadriť s mierne normatívnou konotáciou): najúčinnější prístup k štúdiu človeka, k zmenšovaniu utrpenia a zaisťovaniu ľudského šťastia bude možno ešte po nejakú dobu spočívať v štúdiu baktérií.

## Poznámky

- <sup>1</sup> Po prvýkrát uverejnené v angličtine pod názvom *Fundamental principles of cognitive biology* v časopise *Evolution and cognition* 6 (2000) 51-69. Táto poznámka, tak isto ako ďalšie, čo nasledujú, nebola v pôvodnom texte.
- <sup>2</sup> Súčasná úroveň rozvinutia tohto prístupu bola načrtnutá v roku 2004 v publikácii *Komentovaný úvod do kognitívnej biológie*. V: Kelemen, J., Kvasnička, V., Pospíchal, J. (Eds.): *Kognice a umělý život* IV. Opava: Slezská univerzita, str. 233-258.
- <sup>3</sup> Dôvody, prečo je počítačová metafora mozgu neadekvátna, boli analyzované v týchto publikáciách autora: (1) *Evolutionary primacy of emotions: the brain is a gland and psychoses are emotional derangement*. V: New York: *Symposium on evolutionary theory and psychopathology* 1999. (2) *Fedorovské inšpirácie*. V: *Kognitívne vedy* IV. Bratislava: ChF STU 2001, str. 39-46. (3) *Ľudské vedomie je produktom evolučnej eskalácie emocionálneho výberu*. V: Kelemen, J. (ed.): *Kognice a umělý život* III. Opava: Slezská univerzita 2003, str. 75-93. (4) *Life, chemistry and cognition*. *EMBO Rep.* 7 (2006) 562-566.
- <sup>4</sup> Na Slovensku sa Gödelovým vetám a matematickým paradoxom venuje Pavol Zlatoš. Jeho kniha má názov *Ani matematika si nemôže byť istá sama sebou*. Bratislava: Iris 1995.
- <sup>5</sup> Anglické slovo „random“ sa do slovenčiny niekedy prekladá ako „náhodný“. Kvôli jednoznačnosti zdá sa byť výhodnejším slovo neprekladať a do slovenčiny zaviesť novotvar „randomný“. Slovo „informácia“ je vo výklade Chaitinových názorov ponechané, ale samotné chápanie informácie je predmetom kritickej analýzy autorom: *Information in biology: A time for rethinking the fundamentals*. *Plant Signaling & Behavior*, v tlači.

- <sup>6</sup> Rozdiel medzi „komplexnosťou“ a „komplikovanosťou“ je zásadný. Diskutovaný bude v inej publikácii.
- <sup>7</sup> Problém je analyzovaný v práci Ľudské vedomie je produktom evolučnej eskalácie emocionálneho výberu. V: Kelemen, J. (ed.): *Kognice a umělý život* III. Opava: Slezská univerzita 2003, str. 75-93.
- <sup>8</sup> V tomto texte sa vychádza z bežnej teórie vzniku života, ktorá jeho počiatok vidí v objavení sa nukleovej kyseliny schopnej sebareplikácie. Je možná iná predstava súčasnej chemickej evolúcie proteinov, nukleových kyselín a lipidov; rozvinutá bola autorom a spolupracovníkmi v publikácii Kováč, L., Nosek, J., Tomáška, Ľ.: An overlooked riddle of life's origins: Energy-dependent nucleic acid unzipping. *J. Mol. Evol.* **57** (2003) S182-S189.
- <sup>9</sup> Slovo račet je novotvarom, zavedeným ako ekvivalent anglického slova „ratchet“. V češtine sa občas používa slovo „rohatka“, technici na Slovensku a v Česku používajú aj slovo „račňa“.
- <sup>10</sup> Treba odlišovať slovo „vývoj“, ktorým sa prekladá anglické slovo „evolution“ a slovo „vývin“, čo je prekladom slova „development“.
- <sup>11</sup> Objavenie sa emócií a sebauvedomovania ako výsledok evolučného trieľu bolo medzitým analyzované v publikácii Ľudské vedomie je produktom evolučnej eskalácie emocionálneho výberu. V: Sinčák, P., Kvasnička, V., Pospíchal, J., Kelemen, J., Návrat P. (eds.): *Slovensko-České rozpravy o umelej inteligencii*. Stará Lesná: Slovenská spoločnosť pre umelú inteligenciu 2003, str.21-39. Expresivita a expresívne správanie budú popísané v inej publikácii.

## Literatúra

- [1] Koshland Jr., D.E.: A response regulator model in a simple sensory system. *Science* **196** (1977) 1055-1063.
- [2] Lorenz, K.: *Der Abbau des Menschlichen*. München: Piper 1983.
- [3] Butler, D.: Advances in neuroscience „may threaten human rights“. *Nature* **391** (1998) 316.
- [4] Piaget, J.: *Biologie et connaissance*. Paris: Gallimard 1967.
- [5] Radnitzky G., Bartley III, W.W. (eds.): *Evolutionary epistemology, rationality, and the sociology of knowledge*. La Salle: Open Court 1987.
- [6] Riedl, R., Delpo, M. (eds.): *Die Evolutionäre Erkenntnistheorie im Spiegel der Wissenschaften*. Wien: WUV Universitätsverlag 1996.
- [7] Kováč, L.: Úvod do kognitívnej biológie. *Biol. listy* **51** (1986) 172-190.
- [8] Kováč, L.: The future of bioenergetics. *EBEC Reports* **4** (1986) 26-27.
- [9] Kováč, L.: Overview: Bioenergetics between chemistry, genetics and physics. *Curr. Topics Bioenerg.* **15** (1987) 331-372.
- [10] Goodwin, B.: *Analytical physiology of cells and developing organisms*. London: Academic Press 1976.
- [11] Kuhn, H.: Selborganisation molekularer Systeme und die Evolution des genetischen Apparats. *Angew. Chem.* **18** (1972) 838-862.
- [12] Kuhn, H.: Origin of life and physics: Diversified macrostructure - Inducement to form information-carrying and knowledge-accumulating systems. *J. Res. Develop.* **32** (1988) 37-46.
- [13] Popper, K.: *The logic of scientific discovery*. London: Hutchinson 1957. (Po prvý raz uverejnené vo Viedni v 1934 s titulom *Logik der Forschung*.)
- [14] Vollmer, G.: *Evolutionäre Erkenntnistheorie*. Stuttgart: Hirzel 1987. (Prvé vydanie v 1975.)

- [15] Lorenz, K.: *Die Rückseite des Spiegels*. München: Piper 1973.
- [16] Riedl, R.: *Biologie der Erkenntnis*. Berlin: Parey 1979.
- [17] Riedl, R.: *Wahrheit und Wahrscheinlichkeit*. Berlin: Parey 1992.
- [18] Georgescu-Roegen, H.: *The entropy law and the economic process*. Cambridge, Mass.: University Press 1971.
- [19] Lorenz, K.: Die angeborenen Formen möglicher Erfahrung. *Z. Tierpsychologie* **5** (1943) 235-409.
- [20] Vollmer, G.: Mesokosmos und objektive Erkenntnis - Über Probleme, die von der evolutionären Erkenntnistheorie gelöst werden, str. 29-91. V: Lorenz, K., Wuketits, F. M. (eds.): *Die Evolution des Denkens*. München: Piper 1983.
- [21] Bohr, N.: *Atomphysik und menschliche Erkenntnis*, vol. I. Braunschweig: Vieweg 1964.
- [22] Simon, H.A.: *Reason in human affairs*. Stanford: Stanford University Press 1983.
- [23] Feynman, R.P., Leighton, R.B., Sands, M.: *The Feynman lectures in physics*. Vol. III. Reading: Addison-Wesley 1966.
- [24] Eigen, M., Winkler, R. (1975) *Das Spiel*. München: Piper 1975.
- [25] Schuster, P., Sigmund K.: Replicator dynamics. *J. Theor. Biol.* **100** (1983) 533-538.
- [26] Lorenz, K.: Kants Lehre vom Apriorischen im Lichte gegenwertiger Biologie, str. 95-124. V: Lorenz, K., Wuketits, F.M. (eds.): *Die Evolution des Denkens*. München: Piper 1983. Po prvý raz uverejnené v *Blätter für deutsche Philosophie* **15** (1941) 94-125.
- [27] Campbell, D.T.: Evolutionary epistemology, str. 413-463. V: Schilpp, P.A. (ed.): *The philosophy of Karl Popper*. La Salle: Open Court 1974.
- [28] Riedl, R.: Deficiencies of adaptation in human reason; a constructivist extension of evolutionary epistemology. *Evol. Cogn.* **1** (1995) 27-37.
- [29] Nagel, E., Newman, J.R.: *Gödel's proof*. Paul: Routledge and Kegan 1958.
- [30] Hofstadter, D.A.: *Gödel, Escher, Bach: An eternal golden braid*. Harmondsworth: Penguin Books 1980.
- [31] Penrose, R.: *Shadows of the mind*. Oxford: Oxford University Press 1994.
- [32] Chaitin, G.J.: *Algorithmic information theory*. Cambridge: Cambridge University Press 1990.
- [33] Kolmogorov, A. N.: Three approaches to the quantitative definition of information. *Problemy peredači informciji* **1**(1) (1965) 3-11.
- [34] Chaitin, G.J.: Randomness and mathematical proof. *Sci. Amer.* **232** (5) (1975) 47-52.
- [35] Tarski, A.: The semantic conception of truth and the foundations of semantics, str. 52-84. V: Feigl, H., Sellars, W. (eds.): *Readings in philosophical analysis*. New York: Appleton-Century-Crofts 1949.
- [36] Penrose, R.: *The Emperor's new mind*. Oxford: Oxford University Press 1986.
- [37] Kuhlenbeck, H.: *The human brain and its universe*. Basel: Karger 1982.
- [38] Gerlach, J.: Gödel-Theorem and Kuhlenbeck-Paradox. *Naturwiss.* **75** (1988) 393-398.
- [39] Stent, G. S.: *Molecular biology of bacterial viruses*. San Francisco: Freeman 1963.
- [40] *C. elegans* sequencing consortium (1998) Genome sequence of the nematode *C. elegans*. A platform for investigating biology. *Science* **282** (1998) 2012-2018.
- [41] Bargmann, C. I.: Neurobiology of the *Caenorhabditis elegans* genome. *Science* **282** (1998) 2028-2033.
- [42] Heschl, A.: *Das intelligente Genom*. Berlin: Springer 1998.
- [43] Vollmer, G.: *Was können wir wissen?* Band 1. Die Natur der Erkenntnis. Stuttgart: Hirzel 1985.
- [44] Fontana, W., Wagner, G., Buss, L.W.: Beyond digital naturalism, str. 211-227. V: Langton, C.G. (ed.): *Artificial Life*. Cambridge, Mass.: Massachusetts Institute of Technology Press 1997.

- [45] Prigogine, I.: *Introduction to thermodynamics of irreversible processes*. New York: Wiley 1967.
- [46] Spiegelman, S.: An approach to the experimental analysis of precellular evolution. *Quart. Rev. Biophysics* **4** (1971) 213.
- [47] Küppers, B.: Towards an experimental analysis of molecular self-organization and precellular Darwinian evolution. *Naturwiss.* **66** (1979) 228-243.
- [48] Jacob, F.: *Le jeu des possibles*. Paris: Fayard 1981.
- [49] Lloyd, S., Pagels, H.: Complexity as thermodynamic depth. *Ann. Phys.* **188** (1988) 186-213.
- [50] Grassberger, P.: Problems in quantifying self-generated complexity. *Helv. Physica Acta* **62** (1989) 489-511.
- [51] Gell-Mann, M.: *The quark and the jaguar*. New York: Freeman 1994.
- [52] Riedl, R.: *Darwin, Zeus und Russells Huhn*. Wien: Kremayr & Scheriau 1994.
- [53] Popper, K.: Die erkenntnistheoretische Position der evolutionären Erkenntnistheorie, str. 29-37. V: Riedl, R., Wuketits, F.W. (eds.): *Die Evolutionäre Erkenntnistheorie*. Berlin: Parey.
- [54] Drake, F.D.: *The Drake equation: a reprisal*. New York: Byron Press 1990.
- [55] Gott III, J.R.: Implications of the Copernican principle for our future prospects. *Nature* **363** (1993) 315-319.
- [56] Feynman, R.P., Leighton, R.B., Sands, M.: *The Feynman lectures in physics*. Vol. II. Reading: Addison-Wesley 1966.
- [57] Magnasco, M.O.: Forced thermal ratchets. *Phys. Rev. Lett.* **10** (1993) 1477-1481.
- [58] Peskin, C.P., Garrett M.O., Oster G.F.: Cellular motions and thermal fluctuations: the Brownian ratchet. *Biophys. J.* **65** (1993) 316-324.
- [59] Astumian, R. D.: Thermodynamics and kinetics of a Brownian motor. *Science* **276** (1997) 917-922.
- [60] Maynard Smith, J.: *Evolutionary genetics*. Oxford: Oxford University Press 1989.
- [61] Fontana, W., Schuster, P.: Continuity in evolution: On the nature of transitions. *Science* **280** (1998) 1451-1455.
- [62] Nicolis, G., Prigogine, I.: *Die Erforschung des Komplexen*. München: Piper 1987.
- [63] Dawkins, R.: *The blind watchmaker*. New York: Norton 1987.
- [64] Edelman, G. M.: *Neural darwinism*. New York: Basic Books 1987.
- [65] Kupiec, J. J.: A Darwinian theory for the origin of cellular differentiation. *Mol. Gen. Genet.* **255** (1997) 201-208.
- [66] Britten, R. J. Underlying assumptions of developmental models. *Proc. Natl. Acad. Sci. U. S.* **95** (1998) 9372-9377.
- [67] Maes, P.: Modelling adaptive autonomous agents. In: Laghton C.G. (ed.): *Artificial life*. Cambridge, Mass.: MIT Press 1997.
- [68] Jacob, F.: Evolution and tinkering. *Science* **196** (1977) 1161-1167.
- [69] Wimsatt, W.C.: Developmental constraints, generative entrenchment, and the innate-acquired distinction. V: Bechtel, W. (ed.): *Integrating scientific disciplines*. Dordrecht, Nijhoff 1986.
- [70] Desplan, C.: Eye development: governed by a dictator or a junta? *Cell* **91** (1997) 861-864.
- [71] Kováč, L.: Prirodzený svet („životný svet“) ako biologický problém. *Vesmír* **71** (1992) 505-506.
- [72] Kováč, L.: European culture in the global conflict of cultures: a view of a biologist. V: Fukač, J., Chlup, Z., Mizerová, A., Schauerová, A. (eds.): *The crossroads of European culture*. Brno: Vutium Press 1999.
- [73] Russell, B.: *A history of western philosophy*. London: Unwin paperbacks 1961.

- [74] Mach, E. (1923) Die ökonomische Natur der physikalischen Forschung, str. 217-244. V: *Populärwissenschaftliche Vorlesungen*. Leipzig: Barth 1923.
- [75] Sober, E.: Parsimony, str. 249-254. V: Keller, E.F., Lloyd, E.A. (eds.): *Keywords in evolutionary biology*. Cambridge, Mass.: Harvard University Press 1992.
- [76] Jaynes, E. T.: Information theory and statistical mechanics. *Phys. Rev.* **106** (1957) 620-630.
- [77] Nagel, T.: What it is like to be a bat. *The Philosophical Review* **83** (1974) 435-451.
- [78] Plutchik, R.: Emotions and evolution. *Internat. Rev. of Studies on Emotion* **1** (1991) 37-58.
- [79] Damasio, A.R.: *Descartes' error. Emotion, reason, and the human brain*. New York: Putnam's sons 1994.
- [80] Wimmer, M.: Evolutionary roots of emotions. *Evol. Cogn.* **1** (1995) 38-50.
- [81] Kováč, L.: Evolution of affective evaluation of external stimuli, str. 867-874. V: Novák, V.J.A., Mlíkovský, J. (eds.): *Evolution and environment*. Prague: Czechoslovak Academy of Sciences 1982.
- [82] Buber, M.: *Ich und Du*. Leipzig: Insel Verlag 1923.
- [83] Pauling, L.: Scientists in politics, str. 97-105. V: Tiselius, A., Nilsson, S. (eds.): *The place of values in a world of facts*. Stockholm: Almquist and Wiksell 1970.
- [84] Planck, M.: Das Prinzip der kleinsten Wirkung, str. 91-101. V: *Vorträge und Reden*. Braunschweig: Vieweg 1958.
- [85] Landau, L.D., Lifšic, J.M.: *Kratkij kurs teoretičeskoj fiziki*. Vol. 1. Moskva: Nauka 1969.
- [86] Taatgen, N.: The atomic components of thought. *Trends in Cogn. Sci.* **3** (1999) 82.