

(2004) In: Kelemen, J., Kvasnička, V., Pospíchal, J. (Eds.) Kognice a umělý život IV. Slezská univerzita, Opava, pp. 233-258

## Komentovaný Úvod do kognitívnej biológie

**Ladislav Kováč**

Prírodovedecká fakulta Univerzity Komenského, 842 15 Bratislava

E-mail: kovacl@fns.uniba.sk

**Abstrakt.** Text je doslovným prepisom publikácie, ktorá vyšla pod názvom „Úvod do kognitívnej biológie“ v r. 1986 v Biologických listoch 51 (3), 172-190. Položila základ kognitívnej biológii ako samostatnému prístupu v kognitívnych vedách. Text je komentovaný poznámkami, ktoré vymedzujú dosiahnutú úroveň rozpracovania tohto prístupu do roku 2004. Poznámky sú zakončené zoznamom relevantnej novej literatúry. Odkazy na poznámky sú označené v texte tučne tlačenými číslicami v zátvorkách (1).

*„...prax človeka, miliardkrát sa opakujú, upevňuje sa vo vedomí človeka logickými vzorcami. Tieto vzorce majú pevnosť predsudku, axiomatický charakter práve a len preto, že sa miliardkrát opakujú.“*

*V. I. Lenin (2)*

*„Whoever achieves understanding of the baboon will do more for metaphysics than Locke did, which is to say he will do more for philosophy in general, including the problem of knowledge.“*

*Ch. Darwin (3)*

### 1. Úvod

Bohatstvo tvarov a farieb bolo prvé, čo biológia študovala. Linného systematická biológia bola opisom a klasifikáciou biologických druhov výlučne na základe tvarových a farebných znakov. Mendel odvodil svoje zákony z pokusov s variantmi hrachu, ktoré sa medzi sebou líšili farbou a tvarom. **Tvar a farba boli prvé druhovo-špecifické znaky, ktorým sa biológovia venovali.**

Rozvinutím biochémie sa pozornosť upla na fyziologické a chemické charakteristiky. Oveľa neskôr začali biológovia študovať správanie. Do základných detailov sme poznali anatómiu drozofily, než sme si začali všimáť, že kopulácii samčeka a samičky predchádza presný stereotyp dvorenia, ktorého každý stupeň je geneticky určený a je rôzny u rôznych druhov drozofil (Quinn a Greenspan 1984). Trvalo dosť dlho, kým vtáci spev, oddávna priťahujúci básnikov, prebudil záujem biológov (Nottebohm 1970). Do všeobecného

povedomia biológov pomaly vnika – a do učebníc sa vlastne ešte ani nedostal – poznatok, že **prejavy správania sú práve také isté druhovo-špecifické znaky, ako farby, tvary alebo sekundárne metabolity**. A to aj vtedy, ak sú naučené: gény určujú ako a akému správaniu sa organizmus bude učiť.

Druhovo-špecifické znaky sú výtvormi prírodného výberu. Vytvorený genetickými variáciami uchováva sa poväčšine iba ten variant znaku, ktorý v porovnaní s inými zvyšuje uspôsobenosť organizmu v danom prostredí (4). Takýto znak musí určitým spôsobom a v určitom priblížení odpovedať vlastnostiam prostredia. „*Plutva ryby odráža vlastnosti vody práve tak, ako kónské kopyto vlastnosti tvrdej pôdy stepi alebo ako oko vlastnosti svetla dopadajúceho slnka*“ (Lorenz 1969).

Nie iba tvar oka a farba elementov očnej sietnice odrážajú vlastnosti prostredia. Odrážajú ho aj membrány buniek sietnice, ktoré po zachytení svetelného kvanta pigmentom rýchlo zmenia svoj elektrický potenciál; odrážajú ho aj nervové bunky, ktoré nesú svetelný signál vhodne prekódovaný do mozgu; odráža ich aj mozog, ktorý signál vyhodnotí a rozhodne o tom, ako organizmus zareaguje. Aj tieto zariadenia sú druhovo-špecifické znaky, aj ony sú produktmi genetickej variability a prírodného výberu, aj ony boli vyselektované preto, lebo zvyšovali uspôsobenie organizmu v danom prostredí. A uspôsobenie zvyšovali preto, lebo z množiny podobných zariadení, ktoré sa genetickou variabilitou vytvorili, relatívne najadekvátnejšie vyjadrovali vlastnosti tohto špecifického prostredia. Tie, čo ich vyjadrovali nepresnejšie alebo falošne, boli v evolúcii eliminované.

**Prijímanie a vyhodnocovanie informácií o prostredí, rozpoznávanie i objavovanie nových rysov prostredia, poznanie, sú ďalšou druhovo-špecifickou charakteristikou** vedľa tých, čo si biológia všimla doteraz. Biologický druh rozpoznáva tie aspekty svojho prostredia, ktoré sú dôležité pre jeho prežitie a rozpoznáva ich takým spôsobom, ktorý sa v evolučnej minulosti druhu postupnou selekciou osvedčil. Prežitie druhu je kritériom relatívnej pravdivosti tohoto druhovo-špecifického poznania. Poznanie je preto legitímnym predmetom prírodovedeckého štúdia. Keďže toto štúdium je možné jedine v evolučnej perspektíve, opodstatnene bolo označené svojimi protagonistami ako „**evolučná epistemológia**“ (Campbell 1974) alebo „**evolučná teória poznania**“ (Vollmer 1975). Dôležité princípy tohoto skúmania formulovali Popper (1963), Lorenz (1977), Goodwin (1976) a Riedl (1979). Okrem fylogény poznania veľkolepým projektom je skúmanie ontogenézy poznania; jemu sa, žiaľ na úrovni najzložitejšej, a tým najťažšie analyzovateľnej, na úrovni ľudského poznania, venoval Piaget (1971), duchovný otec „**genetickej epistemológie**“. Je účelné, a nie vždy jednoduché, oddeliť prírodovedný príspevok týchto priekopníckych duchov od ich občasných exkurzií do filozofie a sociológie.

Evolučné úvahy možno komplementovať detailnejšou fyzikálnou a chemickou analýzou poznávacích zariadení. Analyzovať z poznávacieho hľadiska možno aj tie štruktúry a funkcie organizmu, ktoré sa bežne analyzujú z iných hľadísk. Takýto prístup k opisu biologických javov možno označiť za kognitívnu biológiu. Jej elementárne zásady, nepresahujúce bunkovú úroveň, sú predmetom tejto práce. Viac než o výklad princíпов ide v nej o náčrt programových línií, po ktorých by sa kognitívna biológia mohla rozvíjať (5).

## 2. Termodynamika a poznanie

### 2.1. Základné pojmy

Termodynamika poskytuje najvhodnejší pojmový aparát pre kognitívnu biológiu;

všeobecnejší než poskytuje teória informácie. Niektoré knihy o termodynamike sa podrobnejšie venujú práve tým stránkam termodynamiky, ktoré sú významné pre kognitívnu biológiu (Brillouin 1964, Morowitz 1970, Poplavskij 1981).

Všetko to, čo termodynamika študuje, nazýva sa **termodynamický systém**. Všetko, čo leží mimo hraníc systému, nazýva sa **prostredie**. Termodynamický systém charakterizujú **makroskopické vlastnosti**, ako teplota, tlak, koncentrácia chemických zložiek, energia a ich konkrétne hodnoty vyjadrujú termodynamický stav systému. Takýto stav, charakterizovaný makroskopickými veličinami, **makrostav**, môže byť realizovaný väčším počtom **mikrostavov**, napr. plyn v nádobe má makrostav charakterizovaný určitým objemom a tlakom, no tomuto makrostavu odpovedá veľký počet mikrostavov, predstavovaných polohami jednotlivých molekúl v nádobe. Každý mikrostav je rovnako pravdepodobný: práve preto je určitý makrostav tým pravdepodobnejší, čím viac mikrostavov ho môže realizovať. Počet mikrostavov, ktorými môže byť realizovaný určitý makrostav, nazýva sa **termodynamická pravdepodobnosť** (nezamieňať s matematickou pravdepodobnosťou). Termodynamickú pravdepodobnosť ďalej označíme symbolom  $W$ .

Povrch termodynamického systému môže byť priepustný pre rôzne pôsobenia z prostredia. Ak je však pre akékoľvek pôsobenie nepriepustný, systém sa nazýva **izolovaný**. Izolovaný systém vždy dospeje do stavu vnútornej rovnováhy, v ktorej sa jeho makroskopické vlastnosti nemenia a v ktorej ostáva neohraničene dlho. Z nej môže byť vyvedený iba vtedy, keď sa jeho izolácia od prostredia zruší a prostredie naň môže pôsobiť. Zmenu stavov systému nazývame **termodynamický proces**.

V systéme nemusí bežať termodynamický proces ani vtedy, keď nie je od prostredia odizolovaný, a to v prípade, keď sa pôsobenia prostredia na systém a systému na prostredie vyrovnávajú. Takýto systém sa nachádza v **termodynamickej rovnováhe**. Ak takýto systém náhle izolujeme, nič sa v ňom nezmení. Vnútoraná rovnováha je teda nevyhnutný komponent termodynamickej rovnováhy.

Termodynamický systém je **uzavretý** vtedy, keď prostredie naň môže pôsobiť tak, že si vzájomne vymieňajú energie, a to buď v podobe práce (vplyvom síl, po vybraných stupňoch voľnosti), alebo v podobe tepla (bez silového pôsobenia, po spáde teploty). Ak si systém a prostredie vymieňajú navyše aj hmotu, systém nazývame **otvorený**.

Organizmus môžeme považovať za termodynamický systém, a to za systém otvorený, vymieňajúci si s prostredím hmotu aj energiu.

Termodynamika študuje zmeny stavov systému, ktoré nastávajú pri výmene energie medzi prostredím v podobe práce a tepla. Rôznym druhom energie môžeme pripísať rôznu kvalitu, hodnotu. Najušľachtilejšou je napr. gravitačná energia, ktorá sa môže úplne využiť na konanie práce; najmenej hodnotnou je tepelná energia, ktorá poskytuje prácu iba v obmedzenej miere a len so značnými obmedzeniami sa môže meniť na iné formy energie. Mierou kvality energie je funkcia, ktorú voláme **entropia**. Premenu energie vyššej kvality na energiu nižšej kvality nazývame **disipácia energie**. Pri disipácii energie rastie entropia.

Entropia  $S$  je funkciou termodynamickej pravdepodobnosti  $W$ :

$$S = k \ln W, \quad (1)$$

kde  $k$  je Boltzmannova konštanta, rovná  $1,4 \times 10^{-23}$  J/K.

Entropia je pojem, ktorý používa aj teória informácie. V teórii informácie entropia vyjadruje neurčitost' znalostí pozorovateľa a o nejakom jave. Vyjadruje je **Shannonov vzorec**

$$S_{(Q|X)} = -K \sum p_i \ln p_i, \quad (2)$$

kde Q je otázka a X je predbežná znalosť o povahe javu,  $p_i$  je pravdepodobnosť i-tej odpovede, K je konštanta úmernosti. Zo vzorca vyplýva, že ak sú všetky odpovede rovnako pravdepodobné, je entropia maximálna; ak vieme s určitou, aká je odpoveď, všetky p okrem jednej sú nulové a jedno p sa rovná jednej, vtedy je entropia nulová. Informácia je definovaná ako rozdiel entropie, akú má pre pozorovateľa javu pred prijatím správy a po jej prijatí:

$$I = S_0 - S \quad (3)$$

Konštanta K sa v teórii informácie definične rovná  $1/\ln 2$  a vtedy sa entropia meria v bitoch. Môžeme si zvoliť aj inú konštantu, a to  $kN$ , kde k je Boltzmannova konštanta a N je počet molekúl. Potom entropiu meriame v jednotkách J/K, v ktorých sa udáva aj termodynamická entropia.

Vidieť, že vzorec pre entropiu v teórii informácie je podobný vzorcu pre entropiu, aký používa termodynamika. Rozdiel v znamienku sa stratí, keď vo výraze pre termodynamickú entropiu miesto termodynamickej pravdepodobnosti použijeme matematickú pravdepodobnosť. Dodnes sa vedú diskusie, či táto podobnosť je formálna, alebo má hlbší fyzikálny význam. Ak sa entropia informačnej teórie týka prenosu informácie v makrosystémoch, napr. pri telefonovaní, xeroxovaní a pod., táto podobnosť je iba formálna, no ak sa týka prenosu informácie na úrovni molekúl, nejde o podobnosť medzi dvoma matematickými výrazmi, ale o identitu: termodynamická a informačná entropia sú na molekulovej úrovni **identické (6)**.

Empirická skúsenosť je taká, že v izolovanom termodynamickom systéme, pokiaľ nedosiahol rovnováhu, vždy rastie entropia, to znamená, že systém sa vyvíja tak, aby sa dostal do termodynamicky pravdepodobnejšieho stavu. Rast entropie, disipácia energie, je určovateľom prírodných procesov v izolovaných systémoch. Tento empirický princíp je jedným z vyjadrení druhej vety termodynamiky.

Dynamika uzavretých systémov je komplikovanejšia. Systém plus prostredie môžeme chápať ako širší systém, zasa izolovaný, a potom v ňom bude platiť, že entropia bude s časom rásť. No keď uzavretý systém a prostredie berieme ako samostatné systémy, ich interakcie budú zložitejšie; môže sa stať, že v systéme bude entropia klesať a bude o to viacej rásť v prostredí. Mierou spontánnosti procesu v uzavretom systéme je – za podmienok, za akých systémy zaujímajú biológiu – funkcia, ktorú voláme **Gibbsova funkcia**, niekedy Gibbsova energia alebo volná entalpia, pre ktorú platí:

$$G = H - TS, \quad (4)$$

kde H je entalpia, T absolútna teplota a S entropia.

(Entalpia je, s určitými obmedzeniami, vyjadrením celkovej energie systému.)

V uzavretom systéme bežia procesy spontánne dovtedy, kým klesá jeho Gibbsova funkcia a zastavia sa, keď Gibbsova funkcia dosiahne minima. Vtedy sa systém a prostredie dostanú do termodynamickej rovnováhy. Gibbsova funkcia vyjadruje maximálnu prácu, ktorú môže systém vykonať.

Keď je systém v termodynamickej rovnováhe so svojim prostredím, jeho makroskopické vlastnosti sú v rovnováhe s makroskopickými vlastnosťami prostredia a je teda makroskopicky neodlišiteľný od prostredia. **„Odlíšenie od prostredia“ je to isté ako „odchýlenie od termodynamickej rovnováhy“**. Každé termodynamické odlíšenie systému od prostredia predpokladá termodynamickú nerovnováhu medzi systémom a prostredím. Živé organizmy sa od svojho prostredia termodynamicky odlišujú preto, lebo nie sú s ním v termodynamickej rovnováhe. Termodynamická informácia nie je potom nič iné ako miera

toho, ako je systém odchýlený od rovnováhy. Použijúc výraz z teórie informácie, môžeme napísať:

$$I = S_0 - S, \quad (5)$$

kde  $S$  je entropia systému vtedy, keď je v termodynamickej rovnováhe, t. j. neodlišiteľný od prostredia a  $S_0$  je jeho entropia vtedy, keď nie je v rovnováhe s prostredím.

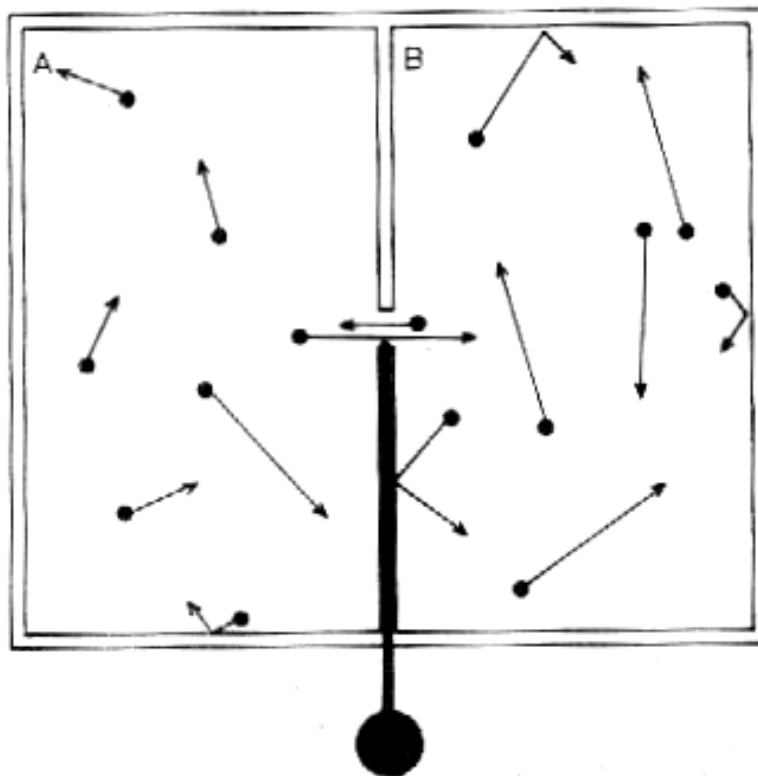
## 2.2. Maxwellov a Szilardov démon

Možno na poznávanie aplikovať termodynamické princípy? Nevymyká sa poznávanie a tým život vôbec termodynamickým zákonom? Takéto úvahy inšpirovali jedného zo zakladateľov termodynamiky J. C. Maxwella, ktorý roku 1871 vyslovil názor, že by závery, čo termodynamika robí z pozorovaní spočívajúcich na sledovaní veľkého počtu molekúl (a teda makrostavov systémov), nemuseli byť aplikovateľné na jemnejšie pozorovania, pri ktorých by sa dali sledovať jednotlivé molekuly. Takéto jemné pozorovania by mohla robiť inteligentná bytosť molekulárnych rozmerov. Túto hypotetickú bytosť neskôr nazvali Maxwellovým démonom. Všimnime si, ako by Maxwellov démon mohol narušovať platnosť druhej vety termodynamiky (obr. 1). Inteligentný démon, schopný pozorovať jednotlivé molekuly, by mohol ovládať zariadenie, ktorým by v izolovanom termodynamickom systéme oddeľoval od seba rýchlejšie a pomalšie molekuly, a tým vytváral tepelný rozdiel v systéme, teda v nerovnováhu. Entropia izolovaného systému by sa znižovala.

Maxwellov démon bol z prírodných vied „vyhnaný“ L. Szillardom (1929) a L. Brillouinom (1964). Démon na svoju činnosť potrebuje energiu. Brillouinov argument je tento: Za tepelnej rovnováhy by aj svetlo v izolovanom systéme bolo v rovnováhe, homogénne rozptýlené všetkými smermi. Démon by molekuly nevidel. Musel by mať zdroj svetla, ktorým by si svietil do systému, aby molekuly mohol vidieť, merať ich polohy a impulzy a na základe toho ich triediť. No vnesenie svetla do nádoby znamená narušenie rovnováhy systému. Zdrojom svetla je pritom ušľachtilá energia (chemická, elektrická), ktorá sa pri svietení čiastočne disipuje a teda stúpa entropia svetelného zdroja. A tak by pokles entropie, spojený s triedením molekúl, bol kompenzovaný vzostupom entropie vo svetelnom zdroji. Nádoba s molekulami, Maxwellov démon a svetelný zdroj predstavujú teraz spojený systém a v tomto systéme, bez ohľadu na triedenie molekúl v nádobe, entropia stúpa. Získavanie informácie bolo spojené so zmenami entropie v súhlase s tým, že termodynamická a informačná entropia na molekulovej úrovni znamenajú to isté. Pri poznávaní sa poznávaný a poznávací systém spája do jedného nového spoločného systému a za získanie informácie v jednej časti tohoto systému sa „platí“ vzostupom entropie v inej časti (7).

Každé poznávanie je zásahom do poznávaného systému, je odchýlením systému od rovnováhy, je nerovnovážnym procesom disipujúcim energiu. Čím väčšie je rozpoznanie medzi systémami, tým ďalej musia byť oba systémy vzdialené od vzájomnej termodynamickej rovnováhy.

V biologických systémoch nastáva triedenie molekúl podobné ako robí Maxwellov démon. Aktívny transport látok je jeho elementárnym prototypom. Ale toto triedenie sa deje na úkor zvyšovania entropie zdroja, za spotreby energie, za disipáciu energie. Zariadenia, čo na molekulovej úrovni získavajú informáciu disipujú energiu, môžeme nazvať **Szilardovými démonmi**. Živé systémy pozostávajú zo Szilardových démonov.



Szilardov démon sa od Maxwellovho démona líši ešte v jednom podstatnom: nemá inteligenciu. Proces poznania je iný, než si bežne predstavujeme a predstava Szilardovho démona nám uľahčuje pochopiť, ako nastáva poznanie v prírode (8).

Obr. 1. Činnosť Maxwellovho démona. V nádobe s plynom, izolovanej od prostredia, nachádzajú sa molekuly plynu, ktoré sú v tepelnom pohybe. Systém je v tepelnej rovnováhe, všade má rovnakú teplotu. To nevyklučuje, že niektoré molekuly plynu sa pohybujú rýchlejšie, iné pomalšie. Nádoba je rozdelená priehradkou na dve polovice a v strede priehradky sú dvierka, ktoré sa môžu (bez trenia) otvárať a zatvárať. Inteligentná bytosť molekulárnych rozmerov (Maxwellov démon) sleduje jednotlivé molekuly, prichádzajúce k dvierkam a dvierka otvára a zatvára tak, aby rýchlejšie molekuly mohli prejsť len z ľavej časti nádoby do pravej a pomalšie molekuly opačne. Tým sa v systéme vytvorí rozdiel teplôt medzi ľavou a pravou časťou nádoby a poruší sa pôvodná tepelná rovnováha.

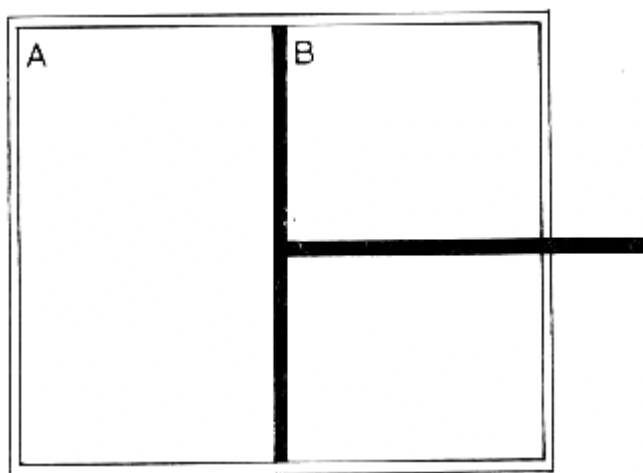
### 2.3. Poznanie a práca

Premeny rôznych foriem energie sa môžu uskutočňovať dvoma odlišnými spôsobmi. Ak sa premena uskutočňuje usmernene, po vybraných stupňoch voľnosti, tento spôsob má makroskopickú podobu práce. Ak sa premena deje neusporiadane, ak sa prejavuje v podobe chaotických pohybov a nárazov molekúl, jej makroskopická podoba je teplo. Transporty látok cez membrány, chemické syntézy, replikácia DNA, pohyb chromozómov pri mitóze, to všetko sú premeny energie formou práce, aj keď určitá časť energie musí pritom nevyhnutne disipovať a premieňať sa formou tepla na tepelnú energiu. Kontinuálnym konaním práce si živý systém zabezpečuje svoje oddelenie od prostredia, svoje prežitie.

Poznanie je podmienkou konania práce v živých systémoch. Obrázok 2 demonštruje význam poznania na elementárnom príklade. Systém dvoch plynov, A a B, nie je spočiatku v rovnováhe, a preto je schopný konať prácu, dovtedy, kým nedosiahne rovnováhu. Prácu skutočne vykoná, pokiaľ membrána oddeľujúca priestory s dvoma plynmi, je schopná odlišiť molekuly plynu A od molekúl plynu B. Ak to nedokáže – buď preto, že je voľne priepustná pre oba typy molekúl, alebo je pre oba typy úplne nepriepustná – systém dospeje do

rovnováhy, no žiadnu prácu nevykoná. Čím väčšia je diskriminácia medzi obidvoma molekulami, tým väčšia je práca, ktorú systém vykoná. V analogickom biologickom systéme diskrimináciu zabezpečuje špecifita membránových prenášačov a konanie práce je uskutočnené poväčšine v podobe syntézy ATP.

Poznanie umožňuje **premenu potenciality na realitu** i využitie nerovnováhy v jednom systéme k vytvoreniu nerovnováhy v inom systéme. Slúži na to, aby v systémoch, ktoré potenciálne môžu konať prácu, práca sa skutočne aj konala. Ďalej slúži aj na konštruovanie týchto systémov, lebo konštruovanie systému je vždy proces, pri ktorom sa energia premieňa usmerneným spôsobom; je prácou.



Obr. 2. Rozpoznanie ako podmienka konania práce. Dva priestory sú od seba oddelené pohyblivou pevnou membránou. Ľavý priestor obsahuje molekuly ideálneho plynu A, pravý priestor molekuly ideálneho plynu B. Membrána je voľne priepustná pre molekuly B a nepriepustná pre molekuly A; je teda schopná odlíšiť oba typy molekúl. Membrána je pripojená k páke, ktorá môže konať mechanickú prácu. Molekuly B budú voľne difundovať z pravého do ľavej strany. Molekuly A budú narážať a tlačiť na membránu z ľavej strany, membrána sa bude pohybovať doprava a páka bude konať prácu. A to dovedy kým sa koncentrácie molekúl plynu A po oboch stranách membrány nevyrovnejú.

## 2.4. Energetická cena biologickej informácie

Získavanie informácie na makroskopickej úrovni je tak lacné, že sa doteraz aj v odborných kruhoch hovorí, že informácia je čímsi nezávislým od energie, akási nová fyzikálna entita. Analýzou činnosti Maxwellovho démona sme však videli, že získavanie informácie je proces závislý od energie. Na molekulovej úrovni, kde informačná a termodynamická entropia sú identické, nemožno túto energiu zanedbať. Keďže kognitívna biológia vychádza z analýzy na molekulovej úrovni, má v nej energia spojená s informačnými procesmi základný význam. Ľahko možno vyjadriť ekvivalenciu medzi entropiou udanou v bitoch a entropiou udanou v termodynamických jednotkách (J/K). Ak molekula môže byť v dvoch stavoch, rovnako pravdepodobných, teda s pravdepodobnosťami  $p_1$  a  $p_2$  rovnými  $1/2$ , je neurčitost' o jej stave vyjadrená Shannonovým vzorcom s konštantou

$$K = kN,$$

$$S = + k \ln 2. \quad (5)$$

Stav molekuly by sme zistili napr. jej osvetlením, k čomu by sme spotrebovali energiu. Tá by sa v priebehu zisťovania stavu úplne disipovala. Po získaní informácie o tom, v ktorom stave z týchto dvoch sa molekula nachádza, neurčitosť sa zredukuje na nulu a odstránenie tejto neurčitosti odpovedá 1 bit informácie. Je teda 1 bit rovný k  $\ln 2$ , čo je približne  $10^{-23}$  J/K. To je hodnota, o ktorú by vzrástla entropia prostredia, v ktorom by bol umiestnený systém jednej molekuly. Keby týmto prostredím bol termostat, pre zmenu jeho entropie by platilo:

$$\Delta S = Q/T, \quad (6)$$

kde Q je teplo, ktoré by v dôsledku disipácie získal termostat. Pri fyziologickej teplote  $T = 300$  K by toto teplo malo hodnotu  $3 \times 10^{-21}$  J.

Hydrolyza ATP v bunke za obvyklých podmienok sa spája so zmenou Gibbsovej funkcie rovnej 60 kJ/mol, čiže  $10^{-19}$  J na molekulu. Táto hodnota vyjadruje maximálnu prácu, ktorú hydrolyza ATP môže vykonať. Ak sa pri hydrolyze ATP práca nekoná, ekvivalentné množstvo tepla sa odovzdá prostrediu. Keďže pri rozpoznávaní molekúl sa energia disipuje a rozpoznaniu v hodnote 1 bit odpovedá disipácia energie  $3 \times 10^{-21}$  J, hydrolyza jednej molekuly ATP by sa v ideálnom prípade mohla využiť na rozpoznanie 33 molekúl. Pokiaľ sa pri získaní 1 bit informácie hydrolyzuje 1 molekula ATP, čo je z hľadiska molekulárneho mechanizmu najľahšie predstaviteľné, termodynamická účinnosť procesu je asi 3%.

Pravda, nie každé aktuálne rozpoznanie je v bunke „zaplatené“ s ATP. Ako uvedieme ďalej, pri tvorbe komplexu receptora s ligandom nastáva vždy pokles Gibbsovej funkcie systému. Energia potrebná na špecifické rozpoznanie, je (zjednodušene povedané) „uskladnená“ v receptore a získa sa pri interakcii receptora s ligandom.

## 2.5. Termodynamika rozpoznania a poznania

V zásade treba rozlišovať medzi rozpoznávaním a poznaním. Shannonova definícia informácie sa zakladá na predstave o preskupovaní pravdepodobnosti odpovedí na určitú otázku, aké jednotlivým odpovediam priraduje príjemca pred a po prijatí správy. Iba vtedy má zmysel hovoriť o informácii, ak existuje presne definovaná otázka, to znamená, ak možno v princípe vymenovať všetky alternatívne odpovede na túto otázku (Tribus a McIrvine 1971). Organizmus, zachycujúci informáciu z prostredia, kladie prostrediu otázku a alternatívne odpovede na túto otázku má zabudované v štruktúre svojich receptorov, v štruktúre vyhodnocovacích zariadení a v štruktúre efektorov. Tieto štruktúry boli vypracované v evolučnej minulosti organizmu. Projekt, podľa ktorého sú konštruované, je uložený v genóme organizmu. Aktuálna informácia, ktorú organizmus prijíma, môže byť nová pre organizmus, no nie je nová pre tieto štruktúry. Prijatie a spracovanie informácie organizmom je znovupoznaním a nie získaním nového poznania. **Znovupoznanie je deterministický proces**, činnosť stroja na príjem a spracovanie informácií. Signál je spúšťač pripravenej odpovede. Ak sa príjme naraz viac signálov, vyhodnocujúce zariadenie robí ich algebraické sčítanie, a tým deterministicky vyberie jednu z pripravených odpovedí.

Nové poznanie predpokladá existenciu nových štruktúr, s novou otázkou, s novými alternatívnymi odpoveďami. Nové štruktúry sa v živých systémoch netvorí podľa projektu, ale objavujú sa ako výsledok varíovania a selekcie, metódou pokusov a omylov. Z alternatívnych nových štruktúr, vyjadrujúcich novú otázku, iba tá získa zmysel, ktorá sa



nejakým spôsobom vzťahuje na nové, doteraz informačne nepostihnulé aspekty prostredia. A iba vtedy má šancu naďalej sa udržať, pokiaľ prispieva k zvýšeniu uspôsobenosti organizmu v danom prostredí. **Poznanie je produkt nedeterministických procesov**, varíovania a výberu tých variantov, ktoré nejakým spôsobom vyjadrujú izomorfiu s prostredím (9).

### 3. Poznanie v evolučnej perspektíve

#### 3.1. Prvý senzor: biologická membrána

Viacero teórií v podstate zhodne opisuje prvé fázy vzniku života na Zemi a experimentálne modelovanie začína ich stavať na solídny empirický základ (Oparin 1967, Calvin 1969, Kenyon a Steinman 1969, Fox a Dose 1972). Akokoľvek ľahko možno napodobovať abiotické reakcie v homogénnych roztokoch, je jasné, že najjednoduchší živý systém musel byť od svojho počiatku oddelený od prostredia, musel byť otvoreným termodynamickým systémom. Replikačný systém predstavovaný nukleovou kyselinou a vhodnými katalyzátormi replikácie, musel byť od prostredia oddelený lipidovou membránou a táto membrána musela umožňovať výmenu energie a hmoty s prostredím. Živý systém, najjednoduchšia protobunka, musel byť od svojho počiatku odchýlený od termodynamickej rovnováhy s prostredím, ináč by replikácia nukleových kyselín a selekcia vhodných variantov nemohla natrvalo prebiehať. (Kováč 1978) (10).

Z hľadiska kognitívnej biológie odchýlenie od rovnováhy znamená elementárne rozpoznanie. Čo toto rozpoznanie predstavuje v prípade protobunky? Lipidová membrána je málo priepustná pre polárne látky, napr. pre ióny a v dôsledku toho vzniká cez membránu elektrický difúzny potenciál. Tento difúzny potenciál v povrchovej membráne je údajom o tom, že prostredie má iné vlastnosti než má ním ohraničený systém. **Lipidová membrána je iónovo-selektívna elektróda**. Je elementárnym senzorom. Platí to o membráne protobuniek spreď viacerých miliárd rokov i o membránach recentných buniek.

Lipidové membrány sa zrejme spočiatku vytvárali spontánne v dôsledku asociačných schopností amfifilných lipidov, ktorými oplýval „živný bujón“ oceánu, v ktorom asi vývoj života začal. Neskôr sa syntéza lipidov zrýchlila vďaka katalytickým bielkovinám, ktorých štruktúru určoval genetický zápis v nukleových kyselinách. Nukleové kyseliny sa replikujú a ich štruktúra varíuje v dôsledku chemického šumu, s ktorým sa spája replikácia. Protobunky, konečné morfologické vyjadrenie týchto replikačných a katalytických procesov, súťažia medzi sebou o organické látky, ktoré sú v prostredí a od ktorých závisí ich prežitie a ich zmnoženie. V súťaži vyhráva tá protobunka, ktorá sa replikuje rýchlejšie. Rýchlejšie sa, okrem iného, replikuje preto, lebo vlastnosti jej lipidovej membrány sú také, že vhodne rozoznávajú a odlišujú v prostredí látky, ktoré sú potrebné na replikáciu, od tých, ktoré sú pre ňu nepriaznivé.

V poslednej inštancii je to nukleová kyselina, ktorá určuje tieto vlastnosti lipidovej membrány. Odkiaľ nukleová kyselina „vie“, aké zloženie lipidovej membrány je pre jej replikáciu najvýhodnejšie? Nevie to, samozrejme. Nukleové kyseliny mutujú a súťaži protobuniek prežívajú tie mutácie, ktorých dôsledkom je syntéza takých membrán, čo v

porovnaní s inými lipidovými membránami sú výhodnejšie. Výhodnejšie sú v tom, že správnejšie - z hľadiska záujmov bunky - zaznamenávajú vlastnosti prostredia.

### 3.2. Základný kognitívny element: Nukleová kyselina

Čo je nukleová kyselina v optike kognitívnej biológie?

1. Nukleová kyselina je molekula, ktorá je schopná autoreplikácie preto, lebo rozpoznáva samu seba. Je jedinou molekulou vo vesmíre, ktorá je schopná "sebapoznania" (11).

2. Nukleová kyselina je generátorom hypotéz o povahe prostredia. Každý gén je hypotézou a každá jeho alela je variantom hypotézy. Nové gény sú novými hypotézami. Povrchová lipidová membrána bunky, ktorá získava selektívnu priepustnosť pre protóny (a robí z bunky pH elektródu), je to hypotéza o tom, že v prostredí sú protóny a že ich rozpoznanie by mohlo byť pre prežitie bunky významné.

3. Nukleová kyselina je uskladňovačom hypotéz o prostredí. Je pamäťovým registrom. Hypotéza, že rozpoznanie protónov v prostredí je významné pre prežitie, je uložená v štruktúre DNA a je prenášaná z jednej generácie bunky do druhej.

Prírodný výber je výberom hypotéz o prostredí. Eliminované sú tie mutácie, ktoré v porovnaní s inými sú menej výhodné. Inými slovami: eliminované sú tie hypotézy o prostredí, ktoré v porovnaní s inými neobstáli. Takéto hypotézy sú v evolúcii vyvrátené. Zachovávajú sa tie hypotézy, ktoré v priebehu prírodného výberu neboli vyvrátené (Popper 1963). **Biologická evolúcia spočíva v generovaní hypotéz, vo vyvrácaní hypotéz a v udržiavaní tých hypotéz, ktoré neboli vyvrátené.**

Chemický šum, a teda náhoda, je hlavným "motorom" generovania hypotéz o prostredí. No náhoda iba z nepatrnej miere rozhoduje o tom, ktoré z hypotéz uhynú a ktoré sa udržia. Bunka je termodynamický systém, spojený s prostredím. Prežíva v ňom, lebo rozpoznáva určité rysy prostredia a vďaka tomuto rozpoznaníu sa vyhýba termodynamickej rovnováhe s prostredím. Pri výbere hypotéz ostáva nevyvrátená tá, ktorá v porovnaní s inými vernejšie odráža relevantné vlastnosti prostredia. Biologická evolúcia je evolúciou poznania.

4. Nukleová kyselina je teda tiež zobrazením prostredia, samozrejme veľmi hrubým, približným, no v evolúcii stále sa zdokonaľujúcim. Je približne izomorfným obrazom prostredia v tripletovom kóde nukleotidov.

### 3.3. Poznanie ako správanie

Prostredie prvotného oceánu, v ktorom vznikol a vyvíjal sa život, nebolo asi nikdy termodynamicky homogénne. Vyvíjajúce a medzi sebou súťažiacie organizmy zvyšovali jeho nehomogénnosť. V niektorých častiach priestoru bolo živných látok viac, v iných menej. Bunka, v ktorej sa náhodne objavila hypotéza o nehomogénnosti prostredia, získala výhodu pred tými, ktoré mali "nulovú hypotézu".

Fenotypickým vyjadrením hypotézy o nehomogénnosti prostredia je pohyb bunky. Spontánny Brownov pohyb, spôsobený chaotickými tepelnými pohybmi častíc, sa amplifikuje, bunka nahodilo blúdi: pohybuje sa jedným smerom a potom tento smer náhle mení. **Náhodilé blúdenie vyjadruje najjednoduchšiu hypotézu o nerovnováhe v prostredí:** je nehomogénne, no nijaká zákonitosť v nehomogénnom rozmiestnení látok sa nepredpokladá. Bunka sa v prostredí pohybuje tak, ako kedy jej pohyb riadil generátor náhodilých zmien.

Nerovnomerné rozdelenie látky v prostredí sa prejavuje tak, že v prostredí existuje jej

koncentračný gradient. Keď je látka užitočnou živinou pre bunku, získava bunka v prostredí výhodu, ak je schopná tento koncentračný gradient rozpoznávať a pohybovať sa proti koncentračnému spádu. Evolučné hypotetizovanie vypracováva receptor pre látku, zariadenie na vyhodnocovanie údajov receptora a tým aj zariadenie, ktoré prerozdeľováva pravdepodobnosti pohybu: pohyb už nie je rovnako pravdepodobný vo všetkých smeroch, ale je pravdepodobnejší v smere proti koncentračnému spádu.

Štúdium **chemotaxie** u baktérií *Escherichia coli* pomohlo osvetliť rôzne stránky takéhoto zariadenia, umožňujúceho bunke motorickým správaním získavať údaje o prostredí a na tieto údaje adekvátne reagovať (obr.3).

Baktéria má receptory pre rozmanité látky v médiu. Signál, zachytený týmito receptormi, je spracovaný viacerými bielkovinami cytoplazmy a spracovaný údaj prenesený k bičíku. Bičík umožní pohyb buď smerom k rastúcej koncentrácii látky, ak je tato látka pre bunku priaznivá, alebo v opačnom prípade do nej. Systém spracovania signálov zahrnuje jednoduchú pamäť, ktorá bunke poskytuje údaj, či sa pohybuje po gradiente koncentrácie, alebo proti nemu. Ak sa pohybuje v priaznivom smere, bičík dostáva signál, aby sa otáčal v tom istom zmysle a baktéria pokračuje v pohybe. Ak je pohyb v nepriaznivom smere, bičík sa začne otáčať v opačnom zmysle, a to sa prejaví krátkym zastavením baktérie, a potom zmenou smeru pohybu. Ak jeden receptor zachytáva signál odpovedajúci atraktantu a iný zároveň signál odpovedajúci repelentu, bunka robí algebraický súčet signálov a výsledný pohyb je výsledkom takéhoto deterministického vyhodnotenia.

Objavenie sa motorického správania zdokonalilo poznávanie. Poznávanie sa stáva aktívnym procesom. Už nie iba génom druhu v priebehu evolúcie „ohmatáva“ prostredie svojou metódou pokusov a omylov, ale aj individuálny organizmus v priebehu individuálneho života. Vďaka správaniu vynára sa možnosť individuálneho učenia: organizmus „emituje“ rôzne varianty správania (v najjednoduchšom prípade produkované generátorom náhodilých zmien) a prostredí spevňuje varianty, ktoré zvyšujú uspôsobenie organizmu v tomto prostredí. Veľká časť repertoáru správania slúži poznávaniu. Prírodný výber nevyvracia už len nevhodné hypotézy, tvorené genetickou variabilitou, ale aj tie, čo sa objavujú v priebehu individuálneho života.

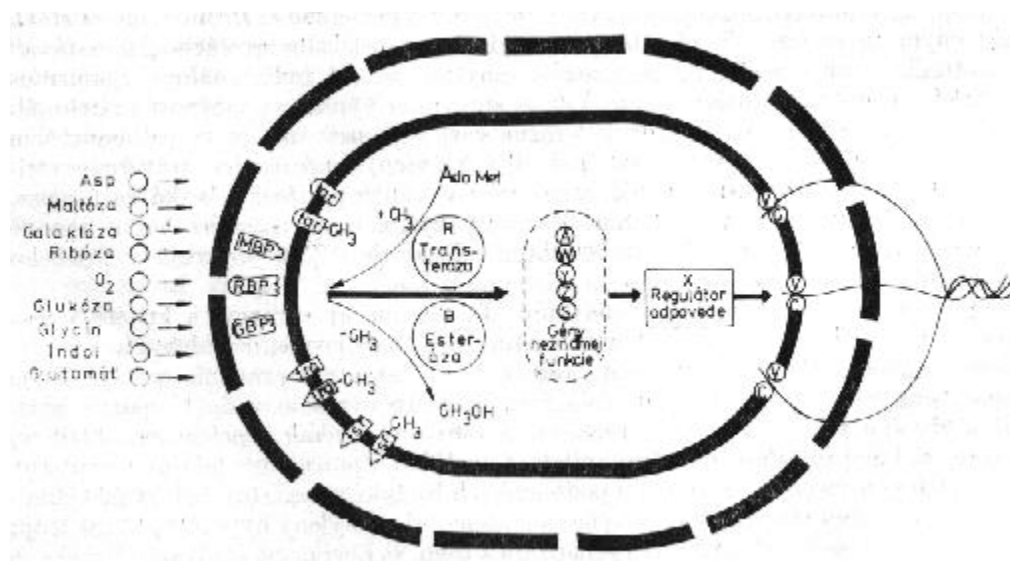
Ale správanie slúži nie len k poznávaniu. Je súčasne aj výrazom a kritériom rozpoznania. Adekvátnosť správania v určitom prostredí je mierou adekvátnosti rozpoznania relevantných rysov tohoto prostredia. Aberantné správanie, pokiaľ nie je spôsobené vadným motorickým aparátom, je vždy výrazom vadného poznávania. Boli získane mutanty *E. coli*, ktoré, namiesto aby unikali repelentnej, škodlivej látke, sú k nej priťahované (Muskavitch et al. 1978). Spracovanie údajov receptorov je v nich pomýlené; v prírodných podmienkach by takéto varianty boli rýchlo eliminované a s nimi eliminovaná, a tým vyvrátená, aj pomýlená hypotéza, ktorú majú o povahe prostredia. Psychiatri vychádzajú z toho, že aberantné správanie človeka je výrazom narušenia tých kognitívnych funkcií, ktoré sa v evolúcii druhu *Homo sapiens* vytvorili a osvedčili.

Vykročme krátkou poznámkou nad úroveň bunkového poznávania. Dôležitým typom správania u vyšších, evolučne mladších, organizmov je komunikatívne správanie. Týmto správaním emituje organizmus informácie pre iných jedincov, obyčajne príslušníkov toho istého druhu. (Nemožno vylúčiť, že sa ojedinele vyskytuje aj pri jednobunkových organizmoch, napr. v podobe „milostnej hry“ u hypotrich – Grell 1973). Je potrebné sa o ňom zmieniť preto, lebo jeho štúdium môže snáď otvoriť cestu k porozumeniu vyšším

kognitívnym funkciám (Griffin 1978). Možno ono nám pomôže nahliadnúť aj do povahy vedomia, „procesu, v ktorom informácia o početných individuálnych modalitách recepcie a percepcie je kombinovaná do jednotnej mnohorožmernej reprezentácie stavu systému a jeho prostredia a integrovaná s informáciou o pamäťových údajoch a potrebách organizmu generujúceho emociálne reakcie a programy správania, ktoré slúžia uspôsobeniu organizmu k jeho prostrediu“ (Thacker a John 1977) (12).

### 3.4 Ako sa javí svet baktérii *Escherichia coli*

Ekologická nika druhu určuje podobu sveta pre tento druh. Ale i opačne; podoba a rozsah znalostí prostredia určujú podobu a rozsah ekologickej niky. Baktéria *E. coli*, štandardný objekt výskumu biochémie a genetiky, môže poslúžiť ako príklad na demonštrovanie druhovo-špecifického vytvárania obrazu sveta. Ale súčasne aj na osvetlenie niektorých ďalších princípov kognitívnej biológie.

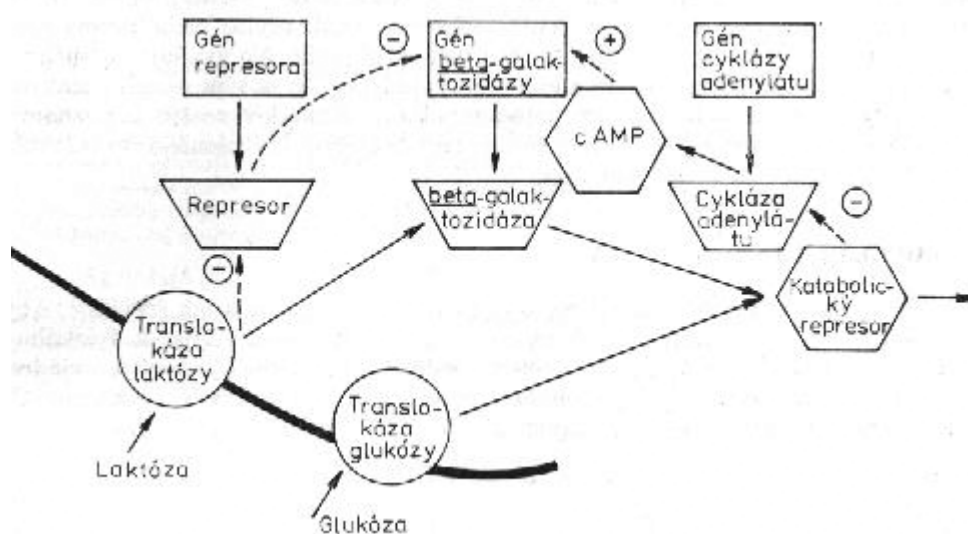


Obr. 3. Senzory prostredia u baktérie *E. coli* (Koshland 1983). Rôzne efektory vstupujú cez póry vonkajšej membrány a reagujú s receptormi v periplazmatickom priestore (GPB, receptor pre galaktózu; RBP, receptor pre ribózu; MBP, receptor pre maltózu) alebo s receptormi umiestnenými vo vnútornej membráne (tar, receptor pre aspartát; tsr, receptor pre serín). Molekuly v membráne sú metylované transferázou v cytoplazme (produkt *cheR* génu) a demetylované esterázou (produkt *cheB* génu). Peptidy kódované génmi A, W, Z, Y a S sú cytoplazmatické a majú nejakú, dosiaľ nevyjasnenú funkciu v spracovaní signálov. Spolu s metylázou a esterázou kontrolujú regulátor odpovede X. Produkt *cheC* génu v bičíku je časťou detektora signálov, ktorý zaznamenáva hladinu X a prenáša informáciu k bičíku. Produkt *cheV* génu sa na tom zúčastňuje zatiaľ nevyjasneným mechanizmom.

*E. coli* žije vo vodných roztokoch. Svet tejto baktérie je teplý i chladný, lebo baktéria má receptory pre teplotu. Jej svet vie byť málo i silno kyslý, ako ju o tom informujú receptory pre pH. Tento svet tvorí nejaká desiatka rôznych druhov molekúl, ktoré baktéria registruje svojimi receptormi (obr.3). Milióny iných druhov molekúl sú pre *E. coli* neznáme, nepatria do jej sveta, sú „vecami osebe“. Hoci my opisujeme pohyb *E. coli* v trojrozmernom priestore, jej svet nemá priestorových dimenzií, má iba časový rozmer: pohyb v gradientoch

látok nezaznamenávajú dva receptory na proximálnom a distálnom konci bakteriálnej bunky, ktoré by ju informovali o polohe v priestore, ale údaj toho istého receptora je porovnávaný v čase (Macknab a Koshland 1972).

Ale i existencia v tomto jednoduchom, jednodimenzionálnom svete je možná iba vďaka neustálemu prijímaniu a spracovávaniu informácií v bunke. Povšimneme si z tohoto hľadiska v zjednodušenej schéme známy systém indukcie beta-galaktózidázy a pomocných enzýmov v bunke *E. coli* (obr.4).



Obr. 4. Schéma toku informácie pri indukcii galaktózidázy v *E. coli*. Smer toku informácie vyjadrujú šípky, - označuje aktivačný, - inhibičný účinok.

Laktóza v prostredí sa musí rozpoznať translokázou. Po prenesení do bunky sa musí ďalej rozpoznať represorovou bielkovinou, ktorá po naviazaní laktózy stráca schopnosť rozpoznať operátorové miesto laktóзовého operónu a brániť jeho prepisu. Prepis operónu je naopak stimulovaný s cAMP, ktorého tvorba je však znemožnená vtedy, keď cykláza adenylátu rozpozná a viaže katabolický represor. Tvorba katabolického represora zasa závisí od rozpoznania glukózy v prostredí translokázou pre glukózu.

Keď je represorom zablokovaný prepis laktóзовého operónu, neprepisuje sa ani gén pre translokázu laktózy. Ako sa potom môže laktóza v prostredí rozpoznať a preniesť do bunky, aby začala indukčný proces? Indukčný proces môže začať jedine preto, lebo aj neindukované bunky majú v membráne nepatrné množstvo translokázy pre laktózu. Prítomnosť tejto translokázy v neindukovaných bunkách je výrazom nedokonalosti systému, výrazom toho, že systém represor-operátor-gén pre translokázu-mediátorová RNA-bielkovina translokázy nie je informačne dokonale nepriepustný. Je výrazom šumu, ktorý je prítomný v systéme (Goodwin 1976). Vidíme však, že šum je dôležitý: keby ho nebolo, indukcia enzýmov by nemohla začať. Nedokonalosť bunkových zariadení, nepresnosti, prítomnosť šumu, sú pre bunku celkom nevyhnutné. Nevyhnutné sú nielen teleonomicky, ale aj kauzálne: za každé zvýšenie presnosti a redukciu šumu musí bunka energeticky platiť a čím je poznanie presnejšie a frekvencia chýb menšia, tým je energetická cena vyššia. Prílišná

dokonalosť bola by prílišným luxusom, energeticky neúnosne drahým. Na rôznych úrovniach evolúcie je presnosť rozpoznávania optimalizovaná (Ehrenberg a Kurland 1984), pričom asi dostupnosť energie pre všetky funkcie bunky (rozpoznávanie je len jednou z nich) je rozhodujúca (13).

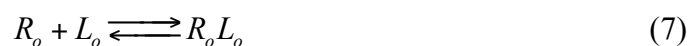
Systém indukcie beta-galaktózidázy je tiež dobrou demonštráciou rozdielu medzi znovupoznaním a poznaním. Bakteriálny druh *E. coli* je schopný adaptácie na laktózu preto, lebo jeho príslušníci sa v minulosti s laktózou stretli a celý aparát rozpoznania a rozloženia laktózy bol vypracovaný evolučným experimentovaním. Tento aparát je vyjadrením hypotézy, ktorá sa osvedčila a nebola vyvrátená. Adaptácia na laktózu nie je objavením sa nejakého aktuálneho spoznania nových rysov prostredia. Je iba znovupoznaním. Nijaká biologická adaptácia nie je novým poznaním, ale je iba oportúnnym znovupoznaním toho, čo už bolo poznané v minulosti, čo bolo v minulosti jednoduchou metódou pokusov a omylov draho vykupené.

Keď sa bunky *E. coli* dostanú do živých pod, v ktorých sa nachádzajú molekuly chloramfenikolu, zahynú. Chloramfenikol inhibuje v bunkách životne dôležitý proces. Náhodná mutácia premení jeden z acetylačných enzýmov tak, že enzým získa schopnosť acetylovať chloramfenikol, a tým ho inaktivovať (Lebek 1968). Táto mutácia je jednou z mnohých hypotéz, ktoré sa v rámci chemického šumu vytvorili hypotézou, ktorá vyjadriala určitú vlastnosť prostredia, čo bola bunkám *E. coli* dovtedy neznáma a ktorá je z hľadiska ich existencie a prežitia významná. Rozšírilo sa poznanie baktérie *E. coli* (14). Súčasne sa tým rozšírila jej ekologická nika: varianty *E. coli*, schopné rozpoznávať (a inaktivovať) chloramfenikol môžu žiť v prostredí, v ktorom sa nachádzajú molekuly chloramfenikolu.

Už sme sa zmienili o tom, že pohyb *E. coli* v roztokoch, prejavujúci sa náhlymi zmenami smeru, nie je náhodné blúdenie, je blúdenie v preferovaných smeroch, vybraných na základe signálov s údajmi o okamžitých vlastnostiach prostredia. Ale aj generovanie hypotéz na úrovni genómu, o ktorom sme predpokladali, že v ranných fázach biologickej evolúcie bolo celkom náhodilé, už na evolučnej úrovni *E. coli* sa stáva zložitejšie: jeho frekvencia nie je vždy rovnaká. V mimoriadne nepriaznivých podmienkach indukuje sa v *E. coli* poplašné zariadenie, ktoré sa vhodne nazvalo SOS systém. Jedným z jeho prejavov je zvýšená mutabilita (Witkin 1976), t. j. zrýchlenie generovania hypotéz. Väčšina hypotéz bude mylná alebo nezmyselná a zaplatí sa za ne uhynutím buniek, v ktorých sa objavili. No zvyšuje sa súčasne šanca, že sa objaví hypotéza, ktorá adekvátne vyjadri to, čo sa v prostredí nečakane objavilo a týmto spôsobom, zasa len metódou pokusov a omylov, rozšíri sa poznanie. Rekombinácie a transpozície génov sú inými nástrojmi zrýchleného vytvárania nových hypotéz, a tým rastu poznania.

#### 4. Molekulárna recepcia

Rozsiahlou oblasťou kognitívnej biológie je štúdium receptorov a ich špecificity. Aby poznávací systém rozpoznal nejakú vlastnosť prostredia, musí dojsť k fyzikálnej interakcii receptora R, súčasti poznávacieho systému, a ligandu L, ktorý je vyjadrením vlastnosti prostredia. Pri dokonalom rozpoznaní z množiny  $i$  receptorov R, jediný receptor R interaguje s jediným ligandom L z množiny  $j$  ligandov  $L_j$ :



$$\frac{[R_o L_o]}{[R_o][L_o]} - K_o = e^{-\Delta G / RT}, \quad (8)$$

No dokonalé poznanie je fikciou; vždy existuje určitá pravdepodobnosť  $P_{ch}$ , že budú rozpoznané, chybné, aj iné ligandy:

$$P_{ch} = \frac{\sum_{j=1}^{N-1} [R_o L_j]}{[R_o L_o] + \sum_{j=1}^{N-1} [R_o L_j]} = \frac{\sum_{j=1}^{N-1} [L_j] K_j}{[L_o] K_o + \sum_{j=1}^{N-1} [L_j] K_j} \quad (9)$$

Selektivita rekogničného procesu bude teda závisieť od pomeru rovnovážnych konštánt a pre ligand  $L_o$  bude rásť, keď sa bude zväčšovať pomer  $K_o / K_j$ , a teda i pomer medzi (logaritmicke vyjadrenými) hodnotami zmien Gibbsových funkcií správneho ( $\Delta G_o$ ) a chybného ( $\Delta G_j$ ;  $j \neq 0$ ) rozpoznania. Špecificita rozpoznania, presnosť informačného „čítania“ predpokladá čo najväčší rozdiel medzi zmenami Gibbsových funkcií spojených s asociáciou receptora so správnym a nesprávnym ligandom.

Pokusy vyjadriť presnosť a špecifiku molekulárneho rozpoznania na základe kvantovo chemických výpočtov energie interakcií (napr. Pincus a Scheraga 1981, Weinstein et al. 1981) majú zatiaľ obmedzenú nádej na úspech. Rozdiely v energiách medzi príbuznými chemickými látkami sú primálne na to, aby selektivitu vysvetlili. Ako sme uviedli, zmena Gibbsovej funkcie zahrňuje zmeny energie, vyjadrené za bežných podmienok entalpiou, ako aj zmeny entropie, ktorých výpočty si vyžadujú iný fyzikálny prístup. Je zatiaľ skoro nemožné brať plne do úvahy dve okolnosti, ktoré majú rozhodujúci význam:

1. Receptory sú bielkovinami. Molekula bielkoviny môže uchytiť molekulu ligandu z viacerých strán; ligand je priviazaný na viaceré miesta na povrchu bielkoviny, pričom tieto miesta medzi sebou pri nekooperujú. Rozpoznanie na úrovni bielkoviny je preto kooperatívny proces a trochu sa podobá kryštalizácii látky z roztoku. Receptor, ale aj ligand, menia svoju konformáciu, aby dosiahli stav s minimom Gibbsovej funkcie, pričom toto minimum je globálne minimum zahrňujúce zmeny Gibbsových funkcií (teda minimalizovanie energie a maximalizovanie entropii) medzi molekulami i vo vnútri molekúl (Scheraga 1984).

Priestorová štruktúra bielkoviny je dynamická, bielkovina je vystavená fluktuáciám v štruktúre (a tým i v hodnotách Gibbsovej funkcie). Pri veľkom počte takýchto fluktuácií v jednej molekule stredne veľká molekula bielkoviny strávi 30% svojej existencie v stavoch, ktoré sa o 660 kJ líšia od strednej hodnoty Gibbsovej funkcie (Cooper 1984). V receptore niektoré z týchto stavov sú možno priaznivejšie pre interakciu s ligandom. Vo všeobecnosti sú fluktuácie v komplexe „usporiadanejšie“ ako je voľný receptor. Na fluktuáciu v konformačných stavoch receptora sa teda môžeme pozeráť ako na generovanie hypotéz, testovanie prostredia a na rozpoznanie ligandu receptorom ako na úspešný výsledok veľmi rýchleho sledu pokusov a omylov, ktoré robí receptor.

2. Interakcia receptora s ligandom je len súčasťou rozpoznávacieho procesu, ktorý je vo svojom celku nerovnovážny. Ku kvantitatívnemu opisu poznávania nám preto v princípe nemôžu stačiť výpočty energií a iných termodynamických stavových funkcií, ale musíme rozumieť kinetike procesu a poznať hodnoty kinetických konštánt. Ak je receptor enzýmom, komplex receptora s ligandom je veľmi rýchle prevádzaný do aktivovaného stavu a je možné, že v aktivovanom stave nastáva spresnenie rozpoznania ligandu (Jencks 1976). Pre enzýmy najsprávnejšou mierou rozpoznania je konštanta špecificity, ktorá je pomerom

rýchlostnej konštanty a Michaelisovej konštanty (Fersht 1977)

$$k_A = k_o/K_M \quad (10)$$

Ak  $A_1$  je substrátom reakcie s Michaelis-Mentenovej kinetikou a s rýchlostnou konštantou  $k_{o1}$  a Michaelisovou konštantou  $K_{M1}$  a  $A_2$  je substrátom pre ten istý enzým s odpovedajúcimi konštantami  $k_{o2}$  a  $K_{M2}$ , pomer rýchlosti  $v_1$  a  $v_2$ , keď sa zmiešajú substráty  $A_1$  a  $A_2$  dohromady pri koncentráciách  $a_1$  a  $a_2$  je

$$v_1/v_2 = \frac{(k_{v1}/K_{M1})a_1}{(k_{v2}/K_{M2})a_2}. \quad (11)$$

Z výrazu (11) jasno vyplýva význam konštanty špecificity. Enzým môže mať vysokú afinitu ku substrátu, no ak sa tento substrát rozkladá pomaly, bude v súťaži s ním mať prednosť iný substrát, ku ktorému má enzým síce malú afinitu, no ktorý sa rozkladá s väčšou rýchlosťou. Súčasťou špecificity interakcie receptora s ligandom je často vysoká afinita receptora pre ligandu. To znamená, že rovnovážna konštantá interakcie



$$K = \frac{[RL]}{[R][L]} = \frac{k_1}{k_{-1}} \quad (13)$$

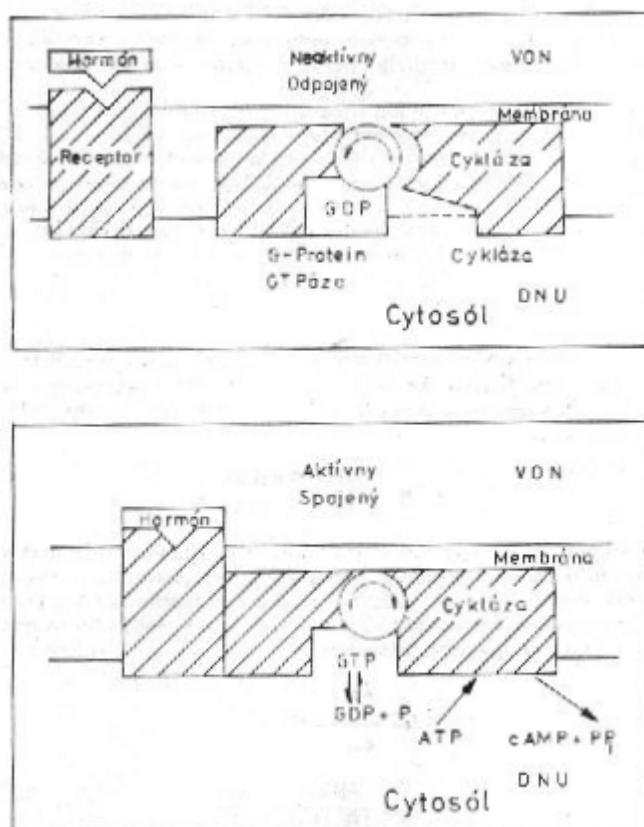
je vysoká, čiže vysoká je aj rýchlostná konštantá asociácie  $k_1$  a naopak nízka je konštantá disociácie  $k_{-1}$ . Napr. receptor tukových buniek, ktorý rozpoznáva inzulín, má rýchlostnú konštantu asociácie  $k_1 = 1,5 \times 10^7 \text{ M}^{-1} \text{ s}^{-1}$  a rýchlostnú konštantu disociácie  $k_{-1} = 7,4 \times 10^{-4} \text{ M}^{-1} \text{ s}^{-1}$ , takže poločas existencie komplexu RL je ( $T_{1/2} = 0,693 / k_{-1}$ ) 16 min (Cuatrecasas 1971). Aby rozpoznanie mohlo byť kontinuálne, musí sa obnoviť stav, v ktorom je opäť k dispozícii voľný receptor. Tam, kde prijatie, odovzdanie a spracovanie signálu nemusí byť veľmi rýchle, napr. pri účinku viacerých peptidických hormónov, je komplex receptora s ligandom povrchovej membrány bunky zabudovaný nový receptor (Goldfine 1981). No v prípade, keď signalizovanie musí byť rýchle, uvoľnenie receptora z komplexu s ligandom sa deje zložitejším spôsobom. Jeden zo známych prípadov je fungovanie receptora pre katecholamíny (obr.5). Tento receptor získava vysokú afinitu pre ligand vtedy, keď reaguje s G bielkovinou (bielkovinou viažucou guaninové nukleotidy). Tento trojitý komplex je potom fosforylovaný s GTP, afinita sa mení, receptor môže regenerovať a byť pripravený na nové rozpoznanie. Fosforylácia s GTP vyjadruje skutočnosť, že celý proces sa uskutočňuje mimo rovnováhy a potrebuje energiu.

Tento systém ilustruje inú stránku rozpoznávania: amplifikáciu prijatého signálu a jeho premenenie na iný signál. G bielkovina po fosforylovaní s GTP získava afinitu k cykláze adenylátu v membráne, je rozpoznávaná cyklázou, cykláza sa stáva aktívnou a syntetizuje cAMP. Zatiaľ čo s molekulou receptora interagovala jediná molekula hormónu, syntetizuje sa teraz veľký počet molekúl cAMP; sme svedkami molekulárnej amplifikácie signálu (Citri a Schramm 1980). No G bielkovina je súčasne GTPázou; po rozložení GTP sa afinita G bielkoviny k cykláze stráca a cykláza prestáva syntetizovať cAMP. Stupeň amplifikácie je teda daný pomerom aktivít cyklázy a GTPázy. Amplifikácia signálu je proces, ktorý spotrebúva energiu.

O tom, že presné rozpoznanie je kinetickou záležitosťou, nás najlepšie presvedča obrovská presnosť replikácie DNA a syntézy bielkovín. Keby sme počítali iba s rozdielmi Gibbsových funkcií pri interakcii jednotlivých báz nukleových kyselín, replikácia DNA v bunke by mala bežať s chybou  $10^{-1}$ , zatiaľ čo v skutočnosti je táto chyba  $10^{-8} - 10^{-10}$ .

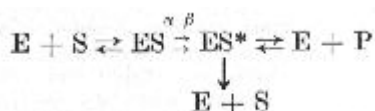


Zmenšenie chyby je dané tým, že DNA polymerázu je súčasne korekčným zariadením: ona nielen „číta“ štruktúru DNA, ktorú kopíruje, ale „číta“ aj to, čo prepísala a chyby koriguje. Do novotvoreného reťazca je síce zaradený aj nesprávny, nesprávne rozpoznaný nukleotid, no potom je vyradený a dodatočne nahradený správnym. Korekčné zariadenia spresňujú aj činnosť syntézy aminoacyl-tRNA i činnosť elongačného faktora Tu-GTP v proteosyntéze (Fersht 1980).



**Obr. 5.** Schéma štruktúry receptora pre  $\beta$ -katecholamíny a jeho interakcia s G proteínom a cyklázou adenylátu (Helmreich a Bakardjjeva 1980). Hormón interaguje s receptorom, receptor s G proteínom a ten po fosforylácii s GTP stráca afinitu ku komplexu receptora s hormónom a získava afinitu k cykláze adenylátu, ktorú aktivuje.

**Korekčná, edičná činnosť spresňovanie rozpoznania sa deje mimo rovnováhy a spotrebúva energiu.** Jej všeobecný princíp je tento (Hopfield 1984, Ninio 1975): substrát S a enzým E interagujú za tvorby komplexu ES, ktorý je, za spotreby energie, prevedený do stavu s vyššou energiou  $ES^*$  (pričom donor energie  $\alpha$ , s vysokým obsahom energie, prejde do stavu s nižšou energiou  $\beta$ , napr. ATP na ADP). Komplex  $ES^*$  môže reverzibilne disociovať na enzým E a produkt P, no môže tiež reakciu, ktorá je v podstate nevratná oddisociovať substrát a regenerovať enzým



(14)

Potom platí

$$f_{\text{poz}} = \left( f_0 \frac{r^A}{r^B} \right) \frac{[B]}{[A]}, \quad (15)$$

kde  $f_{\text{poz}}$  je chyba, ktorá sa pozoruje v prípade, keď edičný mechanizmus je v činnosti;  $f_0$  je chyba, s ktorou je spojená tvorba intermediátu  $ES^*$  pri rovnakej koncentrácii správneho (A) i chybného (B) substrátu;  $[A]$  a  $[B]$  sú aktuálne koncentrácie substrátov;  $r^A$  je stechiometrický pomer medzi počtom molekúl spotrebovaných k počtu molekúl vytvoreného produktu P, keď je prítomné jedine A;  $r^B$  je analogický výraz pre B. Účinné zvýšenie presnosti v dôsledku edície je dané pomerom  $r^A/r^B$ , ktorý musí byť oveľa menší ako 1. Chybný substrát musí byť oveľa viac „vyhadzovaný“ z komplexu  $ES^*$ , pričom každé „vyhodenie“ spotrebúva energiu.

Nerovnovážna, na energii závislá korekčná a spresňovacia činnosť prebieha zrejme na všetkých úrovniach biologickej organizácie. Jej výrazom je metabolický obrat v bunke, pri ktorom chybné zosyntetizované bielkoviny sú degradované rýchlejšie ako bielkoviny správne (Goldberg a St. John 1976). Existuje pri diferenciácii tkanív, kde sú eliminované chybné útvary, i pri vytváraní nervového systému (Clarke 1981). Má nesporne základný význam pri zabezpečovaní presnosti mozgových funkcií; no o spôsobe, akým sa to deje, nemáme zatiaľ ani najzákladnejšie predstavy (13).

## 5. Záver

V tabuľke 1 sú zahrnuté základné princípy kognitívnej biológie.

Neodarwinizmus nepredpokladá nijaké nasmerovanie biologickej evolúcie. V optike kognitívnej biológie je biologická evolúcia progresívny proces, predstavovaný trvalým rastom poznania. Tento rast poznania znamená vzd'alo vanie sa od termodynamickej rovnováhy a toto vzd'alo vanie znamená zrýchľovanie disipačných procesov. V nasmerovaní biologickej evolúcie nejde o nijaký metafyzický princíp, heglóvské vynáranie sa ducha prírody alebo theilhardovský vývoj k bodu Omega. Ide o jeden z prejavov tendencie prírody k rastu entropie, ako ju vyjadruje druhá veta termodynamiky (16).

Biologická evolúcia je však súčasne evolúciou evolúcie (Kováč 1982). Poznanie, vytvárané a modelované evolúciou, je samo súčasne aj určovateľom temp a smerov evolúcie.

Kognitívna biológia ponúka nový prístup ku skúmaniu ľudského poznania. Bolo by nezmyslom vykladať ľudské poznanie mechanizmami, akými svet poznáva baktéria a bolo by nezmyslom pripisovať baktérii vlastnosti ľudského ducha. Biologická evolúcia je hierarchizujúcim procesom, v ktorom sa neustále objavujú nové úrovne a nové kvality. Zdôrazňujú to biológovia, čo v evolučnom prístupe vidia nástroj skúmania problémov, ktoré sa týkajú všetkých biologických druhov, včítane človeka. To, žiaľ, často ignorujú tí, čo takéto skúmanie odsudzujú v dôsledku neporozumenia alebo emociálneho zaujatia. Spôsob, akým je občas kritizovaná sociobiológia, je na to dobrý príklad.

Sociobiológia pritom najlepšie ilustruje, ako môže súčasné biologické myslenie dostať do úplne nového svetla odveké otázky, čo človek kladie sebe a prírode. Túto prácu končíme

citovaním riadkov, ktorými fundamentálne dielo o sociobiológii začína (Wilson 1975):  
„*Camus povedal, že jedinou závažnou filozofickou otázkou je samovražda. To nie je pravda*“

### **Tab. 1. Princípy kognitívnej biológie**

1. Pravdepodobnosť existencie systému závisí od jeho stability. Živé organizmy sledujú stabilitu. Prežíva to, čo je stabilné.

2. Stabilita systému je daná jeho vnútornou organizáciou a jeho schopnosťou neutralizovať rušivé vplyvy prostredia. Táto schopnosť závisí od toho ako systém pozná prostredie, v akom rozsahu nesie v sebe izomorfný obraz prostredia.

3. Živý systém pozná prostredie v tej miere, v akej odlišuje jeho nenáhodné vlastnosti na pozadí náhodilého šumu. Každý organizmus má svoj druhovo-špecifický svet.

4. Poznávanie prostredia živým systémom sa uskutočňuje metódou pokusov a omylov. Živý systém je generátorom hypotéz. Rast a vývoj poznania spočíva vo vyvracaní chybných hypotéz a pretrvávaní tých, ktoré neboli vyvrátené. V elementárnej podobe každý mutant predstavuje jednu hypotézu.

5. Odpoveďou organizmu na zmenu prostredia je alebo vyvrátenie hypotézy (v elementárnej podobe ako vyradenia nevhodného mutanta) alebo adaptácia. Adaptácia nie je novým poznaním, ale je vždy iba oportúnnym použitím jednej z alternatívnych hypotéz, ktoré boli generované v minulosti a neboli vyvrátené.

6. Biologická evolúcia je evolúciou poznania. Je súčasne evolúciou poznávacích zariadení. Organizmy sú kognitívne systémy.

7. Základnými poznávacími zariadeniami sú:

a) dezoxyribonukleové kyseliny, ktoré sú elementárnymi generátormi hypotéz a prostredí a súčasne registrami týchto hypotéz,

b) lipidové membrány ako nešpecifické filtre, ako senzory iónov a ako nosiče bielkovinových senzorov

c) bielkoviny, ktoré slúžia ako hlavné senzory prostredia. Množina senzorov obsahuje: enzýmy, translokátory a receptory.

8. Z týchto základných poznávacích zariadení sa v evolúcii vypracúva hierarchia poznávacích štruktúr. Na vyšších evolučných úrovniach sa generovanie hypotéz nedeje náhodile, ale spočíva v prerozdeľovaní pravdepodobností. Jedinec nie je reprezentantom jednej hypotézy, ale sám je generátorom hypotéz. Generovanie a vyvracanie hypotéz sa uskutočňuje v ontogenéze. Nervový systém a veda sú logickými článkami v biologickej evolúcii ako evolúcii poznania.

9. Poznávanie je svojou podstatou nerovnovážny proces závislý od energie a disipujúci energiu. V biologickej evolúcii sa trvalo zvyšuje rýchlosť poznávania, a tým aj rýchlosť disipácie energie.

10. Poznávanie živými systémami, od elementárnej úrovne až po vedecké poznanie, spočíva v hypotéze materializmu. Táto hypotéza nebola celou evolučnou skúsenosťou života vyvrátená. Keďže poznanie je produktom prírodného výberu, je pravdepodobne stále adekvátnejším, aj keď druhovo a historicky podmieneným odrazom objektívnej reality (15).

*ani v tom zmysle, ako to bolo mienené. Biológ, ktorý sa zaoberá otázkami fyziológie o evolučnej histórii vie, že sebauvedomenie je vymedzované a formované emočnými kontrolnými centrami a limbickom systéme mozgu. Tieto centrá zaplavujú naše vedomie so*

všetkými emóciami – nenávisťou, láskou, vinou, strachom a inými – nad ktorými premýšľajú filozofi etiky, snažiaci sa dopátrať štandardov dobra a zla. Čo potom, musíme sa opýtať, vytvorilo hypothalamus a limbický systém? Vyvinuli sa prírodným výberom. Toto jednoduché biologické konštatovanie treba dôkladne domyslieť, aby sme vysvetlili etiku a filozofov etiky, ak nie aj epistemológiu a epistemológov. Sebaexistencia, alebo samovražda, ktorá ju ukončí, nie je centrálnou otázkou filozofie. Hypotalamo-limbický komplex automaticky popiera takúto logickú redukciu tým, že stavia proti nej pocity viny a altruizmu. Týmto spôsobom sú emočné kontrolné centrá filozofovho mozgu múdrejšie ako jeho solipsistické vedomie” (17).

## Literatúra

- Brillouin, L., Scientific Uncertainty and Information. Academic Press, London 1964.
- Calvin, M., Chemical Evolution. Clarendon Press, Oxford 1969.
- Campbell, D., in Schilpp, P., (edit.), The library of Living Philosophers, vol. 14. Open Court, Lassalle 1974.
- Citri, Y., Schramm, M., Nature 287: 297, 1980.
- Clarke, P. G. H., Persp. Biol. Med. 25: 2, 1981.
- Cooper, A., Progr. Biophys. Mol. Biol. 44: 181, 1984.
- Cuatrecasas, P., Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A. 68: 1264, 1971.
- Ehrenberg, M., Kurland, C. G., Quart. Rev. Biophys. 17: 45, 1984.
- Fersht, A. R., Enzyme Structure and Mechanism. Freeman, San Francisco 1977.
- Fersht, A. R., Trends in Biochem. Sci. 6: 202, 1980.
- Fox, S. W., Dose, K., Molecular Evolution and the Origin of Life. Freeman, San Francisco 1972.
- Goldberg, A. L., St. John, A. C., Ann. Rev. Biochem. 45: 747, 1976.
- Coldfink, I. D., Biochim. Biophys. Acta 650: 53, 1981.
- Goodwin, B. C., Analytical Physiology of Cells and Developing Organism. Academic Press, London 1976.
- Grell, K. G., Protozoology . Springer Verlag. Berlin 1973.
- Griffin, D. R., Behav. Brain Sci. 4: 627, 1978.
- Helmreich, E. J. M., Bakardjieva, A., Bio-Systems 12: 295, 1980.
- Hopfield, J. J., Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A. 71: 4135, 1974.
- Jencks, W. P., Advances Enzymol. 43: 219, 1975.
- Steinman, G., Biochemical Predestination. McGraw-Hill Book, New York 1969.
- Kenyon, D. H., Koshland, D. E., Trends in Neurosciences 6: 133, 1983.
- Kováč, L., in Haškovec, C. (ed.), Plazmatická membrána a buněčná funkce. Academia, Praha 1978.
- Kováč, L., in Novák, V. J. A., Mlíkovský, L., (eds.), Evolution und Eenvironment. ČSAV, Praha 1982.
- Lebek, G., Die infektiöse Antibiotika-Rosistenz. Bern 1968.
- Lorenz, K., in Pribram, K. H. (ed.). On the Biology of Learning. Harcourt, Brace, World, New York 1969; český preklad Academia, Praha 1974.
- Lorenz, K., Behind the Mirror. Harcourt, Brace, Jovanovich, New York 1977.
- Macnab, R. M., Koshland Jr., D. E., Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A. 69: 2509, 1972.
- Morowitz, H. J., Entropy for Biologists. Academic Press, New York 1970.
- Muskavitch, M. A., Kort, E. N., Springer, M. S., Goy, M. F., Adler, J., Science 201: 63, 1978.

- Ninio, J., *Biochimie* 57: 587, 1975.
- Nottebohm, F., *Science* 167: 950, 1970.
- Oparin, A. I., *Voznikovenije žizni na zemle*. Izd. Akad. nauk SSSR, Moskva 1967.
- Piaget, J., *Biology and Knowledge*. Edinburgh University Press, Edinburgh 1971.
- Pincus, M. R., Scheraga, H. A., *Acc. Chem. Res.* 14: 299, 1981.
- Poplavskij, R. P., *Termodinamika informacionnych procesov*. Nauka, Moskva 1981.
- Popper, K. R., *Objektive Eerkenntniss. Ein evolutionärer Entwurf*. Hoffmann und Campe, Hamburg 1963.
- Quinn, W. G., Greenspan, R. J., *Ann. Rev. Neurosci.* 7: 67, 1984.
- Riedl, R., *Biologie der Erkenntniss*. Parey, Berlin 1979.
- Scheraga, H. A., *Carlsberg Res. Commun.* 49: 1, 1984.
- Sturtevant, J. M., *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.* 74: 2236, 1977.
- Szilard, L., *Z. f. Phys.* 53: 840, 1929.
- Thaker, R. W., John, E. R., *Foundation of Cognitive Processes*, Erlbaum, Hillsdale 1977.
- Tribus, M., McIrvine, E. C., *Sci. Amer.* 224(3): 179, 1971.
- Vollmer, G., *Evolutionäre Erkenntnistheorie*. Hirzel, Stuttgart 1975.
- Weinstein, H., Osman, R., Topiol, S., Green, J. P., *Ann. N. Y. Acad. Sci.* 367: 434, 1981.
- Wilson, E. O., *Sociobiology*. Belknap, Cambridge, Mass. 1975.
- Witkin, E. M., *Bacteriol. Rev.* 40: 869, 1976.

## Poznámky

(1) Koncepcia kognitívnej biológie sa rodila postupne počas autorovho pôsobenia vo funkcii klinického chemika v Psychiatrickej liečebni v Pezinku (1971-1976). Tu vznikli aj prvé publikácie, z ktorých táto koncepcia vyrastala ([1] – [5]). Koncepcia vyzrela počas autorovho pôsobenia vo funkcii výskumného pracovníka v Ústave fyziológie hospodárskych zvierat Slovenskej akadémie vied v Ivanke pri Dunaji (1977-1989), aj zásluhou podnetných diskusií so zamestnancom tohto ústavu, odborníkom v informatike Petrom Fedorom. Význam Fedora pre kognitívnu biológiu bol zhodnotený v nekrológu [6], i v prednáške konanej na jeho počesť [7], a ukotvenie počiatkov kognitívnej biológie v Ivanke bolo zdôraznené v dialógu o vedeckej epistemológii [8]. Kognitívna biológia je dnes rozvíjaná na Prírodovedeckej fakulte Univerzity Komenského v Bratislave. Využívajú sa pritom cenné impulzy, ktoré poskytuje spolupráca s Ústavom Konrada Lorenza pre výskum evolúcie a kognície v rakúskom Altenbergu, najmä stimulujúce diskusie so zakladateľom a prvým riaditeľom Ústavu Rupertom Riedlom. V plodnom zátiší Ústavu v Altenbergu, ktoré v rokoch 1996-1999 pripomínalo atmosféru Platónovej Akadémie, vznikli aj prvé náčrty troch štúdií, ktoré sú pre ďalší rozvoj a nasmerovanie kognitívnej biológie základné, Fundamentálnych princípov kognitívnej biológie [9] a Prírodopisu komunizmu [10], [11]. Posledné dve štúdie zároveň demonštrujú šírku záberu kognitívnej biológie – od analýzy na úrovni molekúl ([12] – [19]), po špecifický prístup k psychologickým ([20] – [25]) a sociálnym fenoménom ([26] – [33]).

(2) Hoci Lenin, po dlhé roky nespochybniteľná autorita pre sovietskych filozofov, bol až neveriteľným filozofickým ignorantom ([34], str. 95), jeho chápanie logiky doteraz ostáva jedným z možných. V tomto zmysle je logika aj interpretovaná kognitívnu

biológii, aj keď bolo zdôraznené, že biológii logiky bolo doteraz venované prekvapujúco málo pozornosti a otázka si vyžaduje ďalšie skúmanie [9].

(3) Darwin si túto myšlienku zapísal do svojich denníkov. V uvedenej verzii ju cituje Piaget [35].

(4) Uspôsobenosť, alebo uspôsobenie, bol termín ktorý v tomto slovenskom texte odpovedal anglickému termínu „fitness“. Dnes sa postupne v slovenskom a českom jazyku udomácňuje slovo „fitnes“ bez prekladania; neustálil sa však jeho rod. Žiadúce by bolo ujednotenie, s používaním v ženskom rode (teda napr. „darwinovská fitnes“).

(5) V neskoršej práci o fundamentálnych princípoch kognitívnej biológie [9] sa zdôrazňuje, že niektoré pionierske idey vyslovil Goodwin, ale hlavný kredit je pripisovaný Hansovi Kuhnovi, v chápaní ktorého je život od svojich počiatkov procesom trvalej akumulácie poznania. V dobe písania tohto textu autor Kuhnove práce nepoznal.

(6) Ani za 18 rokov, čo ubehli od uverejnenia tohto textu, nedošlo k ujednoteniu názorov a o vzťahu termodynamickej a informačnej entropie sa naďalej intenzívne diskutuje. Klasické i nové publikácie na túto tému boli zhromaždené a vydané v podobe knihy [36]. O jednoznačné vyjadrenie chápania termínu „informácia“ v koncepcii kognitívnej biológie sa autor pokúsil v prednáške na konferencii „Frontiers in informatics“ 11. decembra 2003, organizovanej Masarykovou univerzitou. Definitívny anglický text tohto chápania informácie je v záverečnej fáze prípravy a bude zaslaný na uverejnenie.

(7) Dnes sa od Brillouinovej interpretácie činnosti Maxwellovho démona upúšťa na základe modelu Bennetta [37], ktorý v myšlienkovom pokuse ukázal, že démon by mohol molekuly lokalizovať aj v úplnej tme. Bennett, vychádzajúci z Landauerových teoretických úvah o termodynamike informácie, argumentuje, že stupňom, na ktorom dochádza k disipácii energie nie je samotná detekcia molekúl, ale vymazávanie záznamu z pamäti démona. Samozrejme, naďalej platí, že démon nenarušuje druhú vetu termodynamiky, takže pôvodný Szilardov a Brillouinov argument v princípe naďalej platí.

(8) V biologickej literatúre sa dosť často prirovnávajú molekulárne zariadenia k Maxwellovmu démonovi, ale už s jasným poznaním, že démon spotrebováva energiu. Keďže pôvodné Maxwellovo chápanie bolo iné, je treba v prípade, že sa metafora démona používa, dôsledne hovoriť nie o Maxwellovom, ale o Szilardovom démonovi.

(9) Problému molekulárneho rozpoznanie (recognition) a poznania (cognition) bude venovaná samostatná publikácia. Nie každá molekulárna interakcia je rozpoznaním. Keď interagujú molekuly vodíka a kyslíka, dochádza k nomickej interakcii – je nutná. Keď medzi sebou interaguje externý ligand a proteínový receptor, ide o interakciu, ktorá sa objavila ako výsledok evolučného procesu, nie je to interakcia nomickejšia, ale teleonomická: len teleonomická molekulárna interakcia je rozpoznaním. Túto interakciu umožňuje receptor. Ale len vtedy, ak je receptor schopný konať molekulárnu prácu (zmenou konformácie preniesť prijatý signál do inej časti molekuly), je zároveň senzorom. A len recepcia plus molekulárna práca predstavujú spolu senziu a tým aj molekulárne poznanie (cognition). To, čo v pôvodnom texte je nazývané poznaním alebo poznávaním, odpovedá v angličtine nie výrazu „cognition“, ale „knowledge acquisition“ a je správnejšie nazývať „pribúdaním znalosti“. Pribúdanie znalosti je nedeterministickým procesom, spočívajúcim v pokusoch a omyloch. Iný dôležitý termín molekulárnej kognície je termín „signifikácia“ [25].

(10) Príspevkom kognitívnej biológie k problému vzniku života na Zemi je argument, že je treba chápať fungovanie života ako prácu molekulárnych strojov a teda vždy uvažovať aj genézu mechanizmov premeny energie. Zásadným je odlíšenie replikátora a replikanta. Táto analýza viedla k záveru, ktorý má všeobecný význam v kognitívnych vedách, najmä pri úvahách o možnostiach virtuálneho a umelého života: „*logical possibility does not equal*

*thermodynamic feasibility*“ [18]. Treba odlišovať prirodzený (“natural”) život, aký sa na Zemi vyvinul, spočívajúci na chémii ([7], [12], [25]) (n-life), od virtuálneho života, ktorý „žije“ na obrazovke počítača (v-life) a od umelého (“artificial”) života (a-life), ktorý bude človekom čoskoro skonštruovaný a ktorý možno postupne niektoré formy prirodzeného života zo Zeme vytlačí.

(11) Problém „autoreplikácie“ je analyzovaný v [18]. Ukázané je, že ide o vlastnosť systému, nie jednotlivých molekúl. V práci sú tiež odkazy na umelé „autoreplikačné“ systémy, ktoré boli skonštruované v laboratóriu.

(12) Kognitívna biológia chápe vedomie ako súhrn senzorických a emocionálnych kválií a ľudské vedomie ako „produkt evolučnej eskalácie emocionálneho výberu“ [25]. Od svojho zrodu kognitívna biológia akcentovala rolu emócií v poznávaní ([2], [5], [9], [20] – [23], [33]). Výraz „cognition and emotion“ je nesprávny – emócie sú neoddeliteľnou súčasťou poznávania u vyšších živočíchov, včítane človeka. Miesto „cognition“ (poznávanie) treba v tomto zmysle používať termín „cogitation“ (kogitácia) [25]. Poňatím poznania ako správania kognitívna biológia spochybňuje počítačový model psychiky ([2], [25]). Aj ľudské myslenie je chápané ako sukcesia abstraktných motorických aktov ([9], [25]).

(13) Význam edičných a korekčných mechanizmov je z hľadiska kognitívnej biológie podrobne analyzovaný v najnovšej práci [19]. S dôležitým záverom: Aktívne sebaudržovanie je špecifickým znakom života a replikácia je sekundárnym, podriadeným procesom, účinnou formou udržiavania onticity biologickej entity.

(14) V poznámke (9) je uvedené aktuálne spresnenie použitých termínov.

(15) Iná formulácia princípov je v [9].

(16) Vo fáze rozpracovávanía je publikácia, v ktorej bude ukázané, že tvorba štruktúr, disipatívnych i konzervatívnych, je priamym dôsledkom druhej vety termodynamiky. To sa vzťahuje aj na inherentnú tvorivosť života, o ktorej sa písalo vo viacerých publikáciách ([7], [9], [13], [25]).

(17) Počas 18 rokov, čo uplynuli od uverejnenia Úvodu do kognitívnej biológie, technický pokrok ľudstva, a zároveň prehĺbenie zaostávania vied o človeku a spoločnosti za prírodnými vedami sa tak zväčšili a trhlina, oddeľujúca prírodné a kultúrne vedy, tak narástla, že súčasnú situáciu možno označiť termínom „ľudstvo v ohrození“ [38]. Je treba sa urýchlene snažiť o prekonanie tejto trhliny, o syntézu prírodných a kultúrnych vied. Kognitívna biológia by mohla v tomto úsilí o syntézu vied, ale aj v analýze súčasného stavu ľudstva, zohrať významnú úlohu. V tomto smere boli zamerané viaceré publikácie, minulé i súčasné ([39] - [50]).

### Literatúra k poznámkam:

- [1] Kováč, L. (1977) Critical analysis of the chemical theories of memory. *Studia psychol.* 19, 191-201
- [2] Kováč, L., Varečka, L. (1978) Afektívne hodnotenie sladkosti v závislosti na vnútornom stave organizmu. *Českoslov. psychol.* 22, 20-26
- [3] Kováč, L., Peterajová, E., Pogády, J. (1978) Behavior of *Drosophila melanogaster* is affected by drugs. *Experientia* 34, 604-606
- [4] Kováč, L., Peterajová, E., Pogády, J. (1979) *Drosophila melanogaster* – a new subject in research on behavior and in pharmacology. *Agressologie* 20D, 239-244

- [5] Kováč, L. (1982) Evolution of affective evaluation of external stimuli. In: Novák, J. V. A., Mlíkovský, J. (Eds.) Evolution and Environment. Academia, Prague
- [6] Kováč, L. (1990) Za Petrom Fedorom. Alma Mater 1, 56
- [7] Kováč, L. (2001) Fedorovské inšpirácie. In: Beňušková, L., Kvasnička, V., Pospíchal, J. (Eds.) Kognitívne vedy IV. STU, Bratislava, pp. 39-46
- [8] Kováč, L., Rybár, J. (1994) Úsilie o vedeckú epistemológiu. Organon F 1, 133-141
- [9] Kováč, L. (2000) Fundamental principles of cognitive biology. Evolution and Cognition 6, 51-69
- [10] Kováč, L. (2002) Natural history of Communism. I. Pliability of human beings and immutability of human nature. Central Europ. Polit. Sci. Rev. 3, 74-110
- [11] Kováč, L. (2002) Natural history of Communism. II. Autonomous dynamics of memes and institutions. Central Europ. Polit. Sci. Rev. 3, 111-164
- [12] Kováč L. (1987) Overview - bioenergetics between chemistry, genetics and physics. Curr. Top. Bioenerget. 15, 331-372
- [13] Kováč, L. (1995) Biologická evolúcia: od zápasu ku hre, od nevyhnutnosti ku slobode. Tvorba 5 (6), 3-6
- [14] Kováč, L. (1998) A unified concept of enzymes, translocators and receptors: proteins are molecular cognitive devices. An abstract of a communication at the Small meeting on yeast transport and bioenergetics. Častá-Papiernička
- [15] Tomáška, L., Nosek, J. (2000) Molekulárna darwinovská evolúcia in vitro, in vivo, in silico: Od dlhokrých žiráf k mitochondriálnym teloméram. Kognitívne vedy III., CHTF STU, Bratislava, pp. 62-79.
- [16] Kováč, L. (2001) Metafora evolučných krosien: kto je tkáč a čo tká? V: Kelemen, J., Kvasnička, V., Pospíchal, J. (Eds.) Kognice a umělý život. I. Slezská univerzita, Opava, pp. 131-140
- [17] Tomáška, L., Makhov, A.M., Nosek, J., Kucejová, B., and Griffith, J.D. (2001) Electron microscopic analysis supports a dual role for the mitochondrial telomere-binding protein of *Candida parapsilosis*. J. Mol. Biol. 30, 61-69
- [18] Kováč, L., Nosek, J., Tomáška, L. (2003) An overlooked riddle of life's origins: Energy-dependent nucleic acid unzipping. J. Mol. Evol. 57, S182-S189
- [19] Kováč, L. (2004) The inward struggle for life: a case of yeast. Submitted
- [20] Kováč, L. (1995) Homo felix: Desat' otázok o biológii šťastia. Nová Prítomnosť 1 (5) 4-5
- [21] Kováč, L. (1995) Biopedagogy: teaching and learning in the optics of cognitive biology. In: Stránský, Z. Z. (Ed.) The University on the Threshold of the New Millennium. Vol. I. Masaryk University, Brno, pp. 83-88
- [22] Kováč, L. (1995) Dotyky a vône: neobjavené kontinenty umenia. Nová Prítomnosť 1 (11) 23-24
- [23] Kováč, L. (1995) Homo felix: Desat' otázok o biológii šťastia. Nová Prítomnosť 1 (5) 4-5
- [24] Kováč, L. (2000) Človek je fanatik zmyslu. Kritika & Kontext 5, No. 1, 98-99
- [25] Kováč, L. (2003) Ľudské vedomie je produktom evolučnej eskalácie emocionálneho výberu. In: (Kelemen, J., Ed.) Kognice a umělý život. III. Slezská univerzita, Opava, pp. 75-93
- [26] Kováč, L. (1994) Veda v optike kognitívnej biológie. Vesmír 73, 508-509
- [27] Kováč, L. (1994) Dejiny videné kognitívnou biológiou. Vesmír 73, 567. Tvorba T 4 (8), 23-24
- [28] Kováč, L. (1995) Zelený mýtus. Nová Prítomnosť 1 (8), 24-25



- [29] Kováč, L. (1997) Ľudské práva v konflikte kultúr. Os 1 (6) 7-9, Nová Prítomnosť 3 (10) 15-16
- [30] Kováč, L. (1997) Genéza kultúry a genéza moci: pohľad biológa. Tvorba 7 (3) 31-33. Os 5 (9) 7-9
- [31] Kováč, L. (2002) Rozkladný terén súčasnej vedy: *quo usque tandem?* In: Kelemen, J., Kvasnička, V. (Eds.) Kognície a umelý život. II. Slezská univerzita, Opava, str. 61-76
- [32] Kováč, L. (2003) Memetika. In: Hulín, I. (Ed.) Úvod do vedeckého bádania 1. Slovak Academic Press, Bratislava, pp.373-380
- [33] Kováč, L. (2004) Beyond utopias: Evolutionary rationalism and noocracy. In: European Communities (Ed.) Modern biology and visions of humanity. Multiscience Publishing Co., London, pp. 125-138
- [34] Kováč, L. (1991) Kolieska na anjelovi. Slovenský spisovateľ, Bratislava
- [35] Piaget, J. (1971) Biology and knowledge. Edinburgh University Press, Edinburgh
- [36] Leff, H. S., Rex, A. F. (Eds.) (1990) Maxwell's demon. Hilger, Bristol
- [37] Bennett, C. H. (1987) Demons, engines and the second law. Sci. Amer. 257 (11), 108-116
- [38] Kováč, L. Ľudstvo v ohrození: potreba syntézy prírodných a kultúrnych vied. Vesmír 78, 644-649, 697-700 (1999), 46-49, 105-109 (2000). Tiež vo: Beňušková, Ľ., Kvasnička, V., Pospíchal, J. (Eds.) Hľadanie spoločného jazyka v kognitívnych vedách. Iris 2000, pp. 83-120
- [39] Kováč, L. (1990) Geist und Ungeist in der Wissenschaft der 20. Jahrhunderts. In: Peterlik, M., Waldhäusel, W. (Eds.) Geist und Wissenschaft im politischen Aufbruch Mitteleuropas. Boehlau, Wien
- [40] Kováč, L. (1992) Environmentally sound technology and sustainable development. ATAS 7: 25-27
- [41] Kováč, L. (1992) Biotechnology: expectations, disappointments, dangers. In: Biotechnology and Development, U. N., New York
- [42] Kováč, L. (1995) Science and technology, central planning and the market: a lesson from the communist failure. Proc. Int. Symp. on Biotechnology. Manila, Philippines
- [43] Kováč, L. (1999) European culture in the global conflict of cultures: a view of a biologist. In: Fukač, J., Chlup, Z., Mizerová, A. and Schauerová, A. (eds) The crossroads of European culture. Vutium Press, Brno, pp. 435-446
- [44] Kováč, L. (1999) Quo vadis, homine? Mosty 9 (1) 3, Univerzitní noviny 8 (1) 46-48
- [45] Kováč, L. (2002) The two cultures revisited: New widening gaps. World Futures 58: 1-11
- [46] Kováč, L. (2002) Triumf a bieda vedeckého poznania. Os 5 (6) 8-10
- [47] Kováč, L. (2002) Spoločnosť v bezvedomí. Experiment komunizmu zostal nevyhodnotený. Univerzitní noviny 9 (12) 54-56, Domino fórum 12 (1) 9
- [48] Kováč, L. (2003) Experimental politics. Abstract for a conference of International Political Science Association, Durban
- [49] Kováč, L. (2003) Osudová otázka 21. storočia: Moc a sleposť inštitúcií. Univ. noviny 10 (1) 29-31
- [50] Kováč, L. (2003) Science and September 11th: a lesson of relevance. World Futures 59, 319-334

