

Pokroky matematiky, fyziky a astronomie

Karel Vacek
Světlo a živé systémy

Pokroky matematiky, fyziky a astronomie, Vol. 39 (1994), No. 5, 251--259

Persistent URL: <http://dml.cz/dmlcz/138855>

Terms of use:

© Jednota českých matematiků a fyziků, 1994

Institute of Mathematics of the Academy of Sciences of the Czech Republic provides access to digitized documents strictly for personal use. Each copy of any part of this document must contain these *Terms of use*.



This paper has been digitized, optimized for electronic delivery and stamped with digital signature within the project *DML-CZ: The Czech Digital Mathematics Library* <http://project.dml.cz>

Světlo a živé systémy

Karel Vacek, Praha

Světlo je elektromagnetické vlnění v oblasti $0,35\text{--}0,65\ \mu\text{m}$ a projevuje, jak známo, v různých fyzikálních podmínkách buď svůj vlnový charakter (např. difrakce, interference) či korpuskulární charakter (např. fotoelektrický jev). Hovoříme proto často o jeho dualistickém charakteru, který je tak projevem jeho fyzikální podstaty. Přitom není bez zajímavosti, že vlastně světelná elektromagnetická vlna sama o sobě obsahuje jak energetickou složku ve své amplitudové části, tak i informační složku ve své fázové části. Lze proto říci, že energetická složka je v ní svázána se složkou informační. Máló kdo si však uvědomuje, že tento dualismus má svůj odraz i v živém světě, a to při interakci světla s živým organismem, kdy většinou hovoříme o přenosu energie či informace, které jsou ve své podstatě rovněž svázány. Dnes totiž víme, že získání určité znalosti (informace) vyžaduje energii a že získání určitého množství energie si vyžaduje potřebnou informaci.

Zatím obecně neexistuje pevný vztah [1] mezi zpracováním a akumulací informace a tomu odpovídajícími fyzikálními pochody. Fyzika, chemie a ostatní přírodní vědy se zabývají chováním energie a hmoty v jejich vzájemné interakci, aniž by hodnotily množství informace, která je s tím spojená. Na druhé straně kybernetika se zase zaměřuje na zpracování a akumulaci informace způsobem, který není vázán na odpovídající přírodní děje. Je proto nepochybně zajímavé prozkoumat interakci energie a informace v rámci reálného přírodního pochodu, v němž jsou spojeny vzájemnou interakcí. A živé systémy jsou k tomu zajímavým prostředím.

Dostupná literatura ukazuje, že na interakci světelného záření s živou hmotou je vázána celá řada jevů; namátkově uveďme např. fotosyntézu, zrakový vjem, fotochemické děje (včetně fotolýzy a fotoreparace) a fototaxi (jde o fotomobilní odpovědi mikroorganismů vyvolané snahou uniknout škodlivým světelným intenzitám a získat optimální osvětlovací podmínky pro růst a metabolismus).

V této souvislosti je možno uvést i tak zvané biologické hodiny. Většinou u všech organismů od jednobuněčných až po savce byly zjištěny biologické rytmy a i když není pochyb o existenci biologicky kontrolovaných hodin ve většině organismů, přesto jejich původ a mechanismus zůstává stále zahalen tajemstvím. Poslední pokusy naznačují, že existence velmi vysokého elektrického pole (řádu $10^3\ \text{v cm}^{-1}$) napříč buněčnou membránou může hrát roli v mechanismu biologických hodin. Ze všech faktorů, které mají vliv na biologické rytmy, právě světlo a teplota se však jeví jako nejčastější.

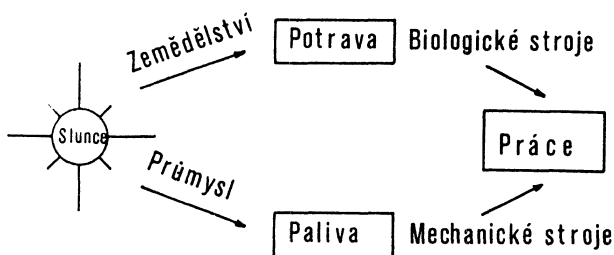
Konečně další oblastí působení světla je fotomodulace enzymů, která zahrnuje aktivaci a dezaktivaci enzymatických reakcí ultrafialovým (UV) a viditelným světlem.

Prof. RNDr. KAREL VACEK, DrSc. (nar. 1930), je emeritní profesor MFF UK, Ke Karlovu 3, 121 16 Praha 2.

Fotoaktivace enzymů má vztah k fotocarcinogenezi, k fotomorfogenezi rostlin, k primárním či vedlejším jevům fototerapie, reparace deoxyribonukleové kyseliny (DNA) a k mnoha dalším aspektům biologie a medicíny.

Z této široké škály právě uvedených jevů se pozastavme u dvou velmi důležitých, a to: fotosyntézy — představující přenos a akumulaci energie a zrakového vjemu — představujícího přenos a záznam světelné informace.

Při velmi zjednodušujícím pohledu (podle [2]) můžeme konstatovat, že lidská společnost je závislá na dvou typech strojů: „biologickém“ a mechanickém (viz obr. 1). Oba v konečné fázi produkují práci (energii) při využití určitého množství informace a pomáhají tak udržovat sociální systém. Oba také spotřebovávají různé druhy surovin — potravu (i krmiva) a paliva, tj. karbohydráty a uhlovodíky. Potrava je dispergovaná forma energie, která vyžaduje velké plochy pro transformaci sluneční energie na akumulovanou chemickou energii. Palivo se na druhé straně využívá během posledních



Obr. 1.
Koloběh energie v přírodě.

sta let v kondenzované formě. Potrava i paliva (včetně fosilních) jsou či byly závislé na pozemské a vodní biomase*), která zase spočívá na dvou jednoduchých chemických reakcích: fotosyntéze a fixaci dusíku. V první reakci je minerální uhlík přeměňován na organický uhlík, hlavně jako karbohydráty, ve druhé reakci se minerální dusík přeměňuje na čpavek, využívaný pro stavbu aminokyselin a proteinů. Nemůže tedy docházet ke tvorbě biomasy bez těchto dvou základních reakcí. Klíčovým pochodem v produkci biomasy na Zemi je nepochybně fotosyntetický pochod.

Obecně současný stav výzkumu fotosyntézy lze podle [3] stručně charakterizovat asi takto: Fotosyntéza je pochod, jehož využívají rostliny, řasy a fotosyntetické bakterie k přeměně sluneční energie na užitečnou chemickou volnou energii. K tomu účelu mají fotosyntetické organizmy specializovanou membránu, která vytváří zázemí pro důležité pigment-proteinové komplexy. Rostliny a řasy obsahují jakožto převládající pigmenty chlorofyl a, chlorofyl b a karotenoidy (např. β -karotén); fotosyntetické bakterie pak obsahují bakteriochlorofyly a, b, c, d, e, g. Ve většině případů nejsou tyto pigmenty kovalentně vázány na proteiny, které fixují pigmenty do speciálních a jedinečných uspořádání (celků). Jen ve fycobiliproteinech jsou fycobilinová barviva kovalentně vázána.

Absorpční spektrum fotosyntetických barviv in vivo je obvykle zcela odlišné od spektra izolovaných barviv in vitro. Například bakteriochlorofyl a absorbuje světlo po

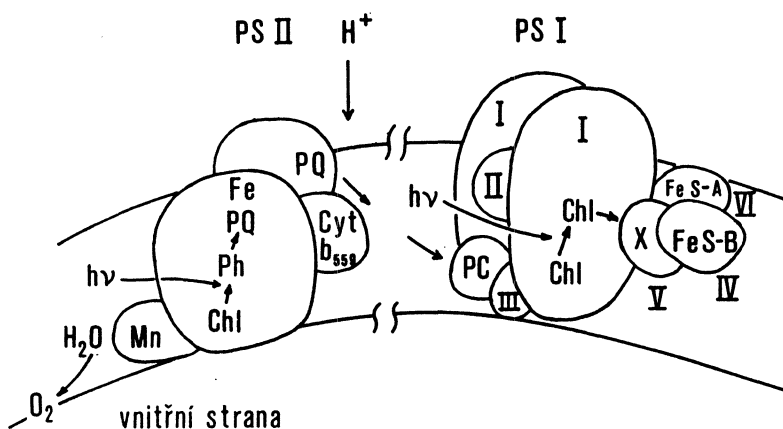
*) fotosyntézou vyprodukovaná hmota

rozpuštění v eteru asi u 780 nm, ale in vivo se jeho absorpce může nacházet kdekoli mezi 800–930 nm. Tyto červené posuvy jsou charakteristické pro každý systém a jsou zčásti vyvolány specifickým okolím, které každý protein vytváří v okolí barviva a zčásti je podmíněn elektronovou interakcí mezi molekulami barviv.

Po absorpci fotonu jednou z molekul fotosyntetických barviv se energie rychle přeneše na sousední molekulu. Tento přenos energie je převážně podmíněn dipol-dipolovou interakcí mezi sousedními molekulami barviv. Teoretické zázemí položil pro tento pochod Förster [4] a Dexter [5]. Celý pochod probíhá velmi rychle (v čase kratším než 10^{-12} s) a je velmi účinný. Experimentální studium těchto přenosových dějů se uskutečnilo v posledních letech jen díky rozvoji laserové techniky v pikosekundové a femtosekundové oblasti. Tak bylo např. zjištěno, že doba života singletních stavů karotenových molekul je řádu 200–300 fs. Během doby života excitovaného stavu může nastat mnoho takových kroků spojených s přenosem energie a excitace tak „putuje“ tak zvaným světlosběrným anténním systémem. Dnes víme, že po absorpci fotonu uplyne několik desítek pikosekund, než se excitační energie dostane do takzvaného reakčního centra, v němž se energie zužitkuje k rozdělení nábojů.

Obecně reakční centra obsahují většinou jedno procento přítomných barviv, zbytek je využit v pochodu „sběru“ energie v anténním systému. Nicméně kvantová účinnost rozdělení nábojů v reakčním centru převyšuje 90 %. Na tom se významně podílí i proteiny v reakčním centru, které přispívají k vytvoření vhodného chemického okolí pro primární reaktanty i rámce pro jejich strukturální organizaci. Reakční centrum je speciální pigment-proteinový komplex, který obsahuje složky, jež jsou důležité pro pochod rozdělení nábojů. Znalost skutečné struktury reakčního centra ve vztahu k jeho funkci velmi vzrostla krystalizací a následným úspěšným určením struktury reakčního centra fotosyntetické bakterie *Rhodospseudomonas viridis* badateli Michelelem, Deisenhoferem a Huberem (Nobelova cena za chemii v r. 1988). Srdcem reakčního centra je speciální pár molekul bakteriochlorofylu, které jsou napojeny na dvě větve elektron-transportních složek. Z neznámých důvodů je jen jedna z těchto větví aktivní ve světle vyvolaném ultrarychlém elektronovém přenosu. Po excitaci speciálního páru se převede elektron během 3 ps na sousední bakteriofeofytin. Vzdálenost od středu na střed mezi speciálním párem a bakteriofeofytinem je dosti velká a předpokládá spoluúčast dalšího bakteriochlorofylu situovaného v blízkosti speciálního páru. Elektronový přenos v přenosovém řetězci k dalšímu elektronovému akceptoru Q_A , tj. molekule chinonového typu, nastane asi za 200 ps, zatímco další přenos k dalšímu chinonu Q_B proběhne v několika stovkách mikrosekund. Vzniklý pozitivní náboj na speciálním páru je odveden cytochromem typu c. Po spuštění této série dějů druhým fotonem vznikne po druhé dvakrát redukovaná a protonovaná molekula Q_BH_2 , která opustí reakční centrum a je nahrazena novým chinonem. Jeden z pozoruhodných aspektů těchto primárních elektronových přenosových dějů je skutečná stabilita fotoproduktů. Reakce spojené s rekombinací náboje, jimiž se akumulovaná energie ztrácí jako teplo, jsou totiž velmi účinně blokovány.

V rostlinách a řasách pracují v sérii dvě reakční centra (viz obr. 2) a s nimi spojené antény (fotosystém I a fotosystém II), aby přemostily velký redox rozdíl mezi



Obr. 2. Schematické znázornění struktury reakčního centra (RC) pro PS I a PS II a dalších komplexů v chloroplastech zelených rostlin.

Primární reaktanty RC v PS II jsou vázány na 43 kD bílkovinnou podjednotku. Elektrony jsou přenášeny od vody na P 680 (specializovaný pár dvou molekul chlorofylu) prostřednictvím proteinu obsahujícího Mn, vázaného na membránu. Dále jsou elektrony převáděny na plastochinon PQ směrem z membrány, kde dochází k protonaci. Plastochinon B je vázán na 32 kD bílkovinu. Zpětný přenos elektronů probíhá k donoru v PS I pomocí elektrotransportního řetězce (neznázorněn) obsahujícího chinon, cytochrom b, Fe-S komplex, cytochrom f a plastocyanin. Při tomto pochodu jsou protony čerpány do membrány. RC v PS I je znázorněno jako dimér obsahující 70 kD proteinovou podjednotku P 700 (označeno Chl) a chlorofylový akceptor. Umístění ostatních akceptorů X, Fe-S-B a A je znázorněno na zvláštní podjednotce (II-VI).

potenciálem potřebným pro oxidaci H_2O fotosystémem II (vznik O_2) a potenciálem potřebným pro redukci nikotinamid-adenin-dinukleotid-fosfátu ($NADP^+$) fotosystémem I. V intaktním fotosystému II jsou úzce vázány dva světlosběrné komplexy, CP 43 a CP 47 na fotochemicky aktivní reakční centrum. Převládajícím světlosběrným komplexem fotosystému II je světlosběrný komplex II (LHC II), který představuje asi 50 % veškerého chlorofylu v rostlinách. Přenos excitační energie k reakčnímu centru fotosystému II je velmi účinný a probíhá za méně než 100 ps.

Reakční centrum fotosystému II se podařilo nedávno izolovat a primární pochody byly studovány spektroskopicky. Obecně se předpokládá, že existuje podobnost mezi fotosystémem II a bakteriálním reakčním centrem jak na strukturální, tak i na funkční úrovni. Jeden z hlavních rozdílů je obsah pigmentu reakčního centra fotosystému II a jeho schopnost vázat manganový klastř, který je aktivní při oxidaci H_2O . Jednou ze zajímavých vlastností reakčního centra fotosystému II je jeho citlivost na poškození vyvolaným světlem. Toto poškození se dá spojovat s hromaděním oxidovaných specií, která jsou potřebná pro štěpení vody a (nebo) tvorbu tripletů v reakčním centru vlivem saturace elektronových přenosových pochodů.

Relativně intaktní reakční centrum ve fotosystému I obsahuje primární elektronový donor P 700, patrně dimér chlorofylu a, dále asi 60 světlosběrných molekul chlorofy-

lu a vázaných na stejný pár polypeptidů. V rostlinách a zelených řasách je jádro fotosystému I obklopeno souborem periferních světlosběrných komplexů I (LHC I). Přenos energie od antény k P 700 je opět velmi rychlý a účinný. Primární elektronový přenosový řetězec fotosystému I zahrnuje molekulu chlorofylu a, chinon a několik klastrů FeS.

Shrňme-li závěrem tuto problematiku, můžeme obecně konstatovat, že primární přenos energie ve fotosyntéze má tyto charakteristické vlastnosti:

- 1) Oba fotosystémy ve fotosyntéze představují otevřený autoregulační systém, jehož funkce je podmíněna průtokem energie vhodně uspořádanou strukturou.
- 2) Přenos energie je velmi účinný ($> 90\%$), a tudíž rychlý.
- 3) Je vázán na strukturální a konformační uspořádání pigment-proteinových komplexů, které vlastně představuje unikátní druh informace vázaný v daném místě prostoru.
- 4) Přenosový řetězec je umístěn na biologické membráně.

Pokusme se nyní stručně charakterizovat druhou komplexní problematiku, svázanou tentokrát s přenosem informace, tj. problematiku zrakového vjemu, především v jeho primárním stadiu [6]. Mechanismus fototransdukce či transformace světelných signálů na signály elektrické pomocí určitých buněk v retině — fotoreceptorů — začíná absorpcí fotonu zrakovým pigment-proteinem a vede přes sérii nitrobuněčných pochodů ke změnám ve vodivosti membrány. Zrakový vjem začíná tedy u živočichů absorpcí fotonů vysoce specializovanými buňkami. U obratlovců můžeme nalézt dva typy fotoreceptorů umístěných v retině oka, známe je jako tyčinky a čípky. Jsou to strukturálně a funkčně polarizované buňky s vnějším segmentem obsahujícím fotocitlivý membránový systém, s vnitřním segmentem obsahujícím buněčné organelly nezbytné pro metabolické funkce a s koncovou částí obsahující jádro a nervový řetězec se synaptickým zakončením.*) Vnitřní segment je podobný u všech fotoreceptorů obratlovců a obsahuje Golgiho aparát, endoplazmatické retikulum a určitý počet mitochondrií. Organizace vnějšího segmentu buňky je různá u obou typů receptorů obratlovců. Naproti tomu u oka bezobratlých byla nalezena morfologická varieta zrakových buněk.

Fotoreceptorní buňky detekují světlo absorpcí fotonů světlocitlivými pigmenty, které jsou umístěny ve fotosenzorických membránách. Tyto vizuální pigmenty jsou integrální membránové proteiny, skládající se ze dvou složek: polypeptidického řetězce opsinu (40–50 kDA) a karotenoidního derivátu chromoforu, který je kovalentně vázán jako Schiffova báze. Pigmentem fotoreceptorní buňky je rhodopsin, jehož absorpce leží v oblasti 470–530 nm. Ve většině případů byly identifikovány jako chromofory retinal, 3-dehydroretinal a 3-dehydroxyretinal.

Absorpce fotonu retinalem vede k izomerizaci chromoforu retinalu z 11-cis na all-trans konformaci, která se objeví během několika ps. Po sérii transformačních změn se

*) U biologického neuronu se vstupní struktura nazývá dendrit a výstupní axon. Vstupy od jednoho neuronu k druhému jsou vybudovány v bodech zvaných synapse. Když je neuron excitován svými vstupy, vyprodukuje svazek pulzů. Když dojdou pulzy od ostatních neuronů na synaps daného neuronu, vyvolají buď vzrůst rychlosti pulzů či jejich pokles v závislosti na tom, zda jsou napojení inhibiční či excitatorní.

dosáhne aktivovaného metastavu rhodopsinu (R^* u obratlovců, M^* u bezobratlých), který spouští další kroky v transformační kaskádě. U obratlovců byl jako aktivní stav identifikován metarhodopsin II. Ovšem určité důležité změny existují mezi fototransduktorním sledem pochodů u obratlovců a bezobratlých. U bezobratlých se rhodopsin mění světlem na metarhodopsin, který je při fyziologické teplotě stálý, tj. chromofor zůstane během fotocyklu vázán na opsin. Tento stabilní metarhodopsin obvykle světlem reizomerizuje na rhodopsin. Fotoizomerizace vede naopak u obratlovců k disociaci chromoforu od opsinu a pro regeneraci rhodopsinu je potřebný metabolický pochod. Rhodopsin interaguje u obou skupin obratlovců i bezobratlých s tzv. G-proteinem (viz obr. 3), čímž startuje vizuální kaskáda, která nakonec vede ke změnám vodivosti membrány. G-protein (transducin pro obratlovce) fotoreceptorové buňky náleží do rodiny vazebných proteinů guanyl-nukleotidů, které se angažují v kaskádovitých signálních pochodech, jež zesilují signál v mnoha buňkách.

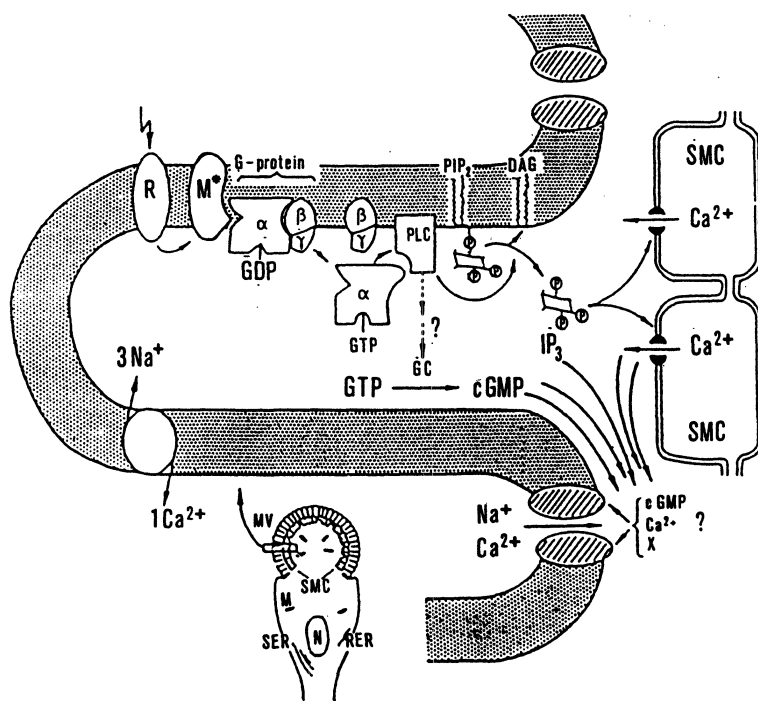
Excitabilní buňky odpovídají změnou membránového potenciálu vyvolaného ionty prostupujícími membránu. Zrakové buňky reagují na světlo s tak vysokou citlivostí, že odpověď může být vyvolána i jen jedním jediným fotonem. Úspěšná absorpce jednoho fotonu způsobí strukturální změny v rhodopsinové molekule. Tato fotoaktivace rhodopsinu, která nastane během několika milisekund, je následována pochodem, který přenáší signál pomocí nitrobuněčných molekul (nosičů informace) ke světelně modulovaným iontovým kanálkům plazmatické membrány. Konečná shodná reakce těchto kanálků vyvolává přechodnou změnu ve vodivosti membrány — měřenou jako elementární excitatorní děj, či kvantový hrbol („bump“). Čas mezi absorpcí fotonu a nasazením hrbolu leží v rozmezí 10–500 ms (latentní čas).

Elektrické signály zrakové excitace mají opačný charakter u obratlovců a bezobratlých: fotoreceptorní buňka u obratlovců je hyperpolarizována následkem poklesu vodivosti a u bezobratlých jsou fotoreceptory depolarizovány vlivem růstu vodivosti membrány. Do této adaptace je hlavně zapojen vápník. Všechny světelné adaptace je možno u obratlovců přiřadit zpětné vazbě vápníku.

Interakce fotoexcitovaného rhodopsinu s G-proteinem, jak již bylo řečeno, je podobná u obou fotoreceptorů bezobratlých i obratlovců. Přesto tyto G-proteiny aktivují různé fotoreceptorní enzymy fotodiasterázy: u obratlovců cyklickou guanylátmonofosfodiasterázu (c GMP) a fotolipázu C u bezobratlých. Ve fotoreceptorech obratlovců vede světlo k rychlé hydrolýze c GMP, která má rozhodující vliv při zavírání kationtových kanálků; o bezobratlých tato otázka zatím není vyřešena.

Shrme-li závěrem tuto část, lze obecně říci, že primární přenos informace při zrakovém vjemu má tyto charakteristické vlastnosti:

- 1) Zrakový aparát představuje otevřený a autoregulační systém, který zprostředkovává přenos informace po kanálech přímé i nepřímé vazby.
- 2) Přenos informace je vysoce účinný (~ 95 %) a poměrně rychlý.
- 3) Je vázán na strukturální a konformační uspořádání pigment-proteinových komplexů na biologické membráně, která představuje unikátní druh informace vázané v daném místě prostoru.
- 4) Přenosový řetězec je umístěn na biologické membráně buňky fotoreceptoru, je zdvojený (tyčinky, čípky) a je prostorově orientovaný.



Obr. 3. Model navržený pro sled pochodů v transdukcii.

Světlo se pohltí rhodopsinem (R), který se přemění na aktivovaný metarhodopsin (M). M interaguje s G-proteinem (α , β , γ). Tato interakce vede k výměně guanyláttrifosfátu (GTP) na vázaný guanylátdifosfát (GDP). Současně se uvolní α subjednotka do cytoplazmy, kde aktivuje fotolipázu C (PLC). Aktivovaná PLC katalyzuje hydrolýzu fosfatidyl-inositol-difosfátu (PIP_2) na inositol-trifosfát (IP_3) a diacylglycerol (DAG). IP_3 difunduje do cytoplazmy, kde otevírá iontové kanálky v membráně uložených nitrobuňkových iontů Ca (SMC). Ca^{2+} se uvolňuje ze SMC a je navržen jako kandidát na konečný nitrobuňkový přenašeč. Tímto kandidátem může být i c GMP (na dosud neznámou látku X). GC – guanylátcykláza, M – mitochondrie, MV – mikrovilli, N – jádro, REN-SER – endoplazmatické reticulum.

Na závěr svých úvah provedme stručnou rekapitulaci problematiky energie (entropie) a informace [7]. Teorie informace, tak jak byla vyvinuta Shannonem [8] a Wienerem [9] definuje funkci I jako míru informace mající kapacitu informačního kanálu či informační akumulaci kapacitu systému. Pokud bychom tedy vybrali zprávu (informaci) z takového souboru, složeného z určitého podsouboru zpráv, každý s pravděpodobností p_i , že bude vybrán, pak se I rovná součtu příspěvků každého podsouboru ($\ln p_i$) váženého jeho pravděpodobností p_i a můžeme napsat

$$I = - \sum p_i \ln p_i$$

(vzhledem k tomu, že $p_i < \ln p_i$, přidáváme záporné znaménko, aby I bylo kladné).

Z termodynamiky víme že entropii S lze vyjádřit jako

$$S = -k \sum_{i=1}^n p_i \ln p_i.$$

Tím je entropie S úměrná I (Shannonově informaci). Řečeno jinými slovy, entropie je úměrná znalosti, kterou bychom měli, kdybychom věděli, ve kterém mikrostavu se celý systém nacházel. Energie je zapotřebí k získání informace, ale není varietou energií; je určitou entitou.

Pochody, které vedou k ustavení pořádku na chemické úrovni, jsou způsobeny chemickými přeměnami, zahrnujícími energetické změny, které se dají použít pro výpočet změn entropie metodami klasické termodynamiky, a tím tuto funkci učinit jakýmsi „měřítkem“ pořádku. Pokud je však na chemický systém vložena vyšší forma organizace, pak její organizační příspěvek může vzniknout a udržet se rozdílným způsobem, který nemusí zahrnovat podstatné energetické změny a entropie vypočtená na základě takovýchto energetických změn by nebyla svázána s „organizační“ rolí. Organizace na vyšší úrovni jsou ovlivňovány přenosem informace: hesla, znaku, signálu a podobně. Energie a hmota se mohou stát nositeli signálů, ale jejich organizační význam není přímo svázán s množstvím přenesené energie či hmoty. Co je důležité, je význam, který získá signál v rámci organizace. Biologické systémy, jak jsme viděli na uvedených příkladech, jsou mnohem více uspořádané a strukturované než fyzikální systémy; udržují sníženou entropii uvnitř svých hranic pomocí energie, kterou čerpají z okolí. Při získávání této energie zvyšují entropii okolí a celková změna entropie systému s okolím je tím kladná. U hierarchických systémů se entropie dá vypočítat na jakékoli úrovni, pokud je znám počet „mikrostavů“ náležejících této úrovni a redukce vyvolaná přidáním organizačních omezení. Informace, pokles entropie a organizace jsou tak vzájemně propojeny jen tehdy, pokud se všechny tyto veličiny vztahují ke stejné úrovni. Celkově entropie, informace, uspořádanost a organizace jsou navzájem propojeny a kterákoli se dá vyjádřit pomocí druhých.

Je zajímavé [10], že z hlediska teoretické biologie je DNA jakožto materiál uskladňující genetickou informaci těsně svázána se skutečností být kvantově degenerovanou hmotou, která má velké a silné interaktivní ne vazebné elektronové obaly, velkou dielektrickou konstantu (řádově 10^5) s výskytem tripletních excitovaných stavů. Přitom proteiny a pigment-proteinové komplexy mají podobné vlastnosti, tzn. že se rovněž projevují jako kvantově degenerované systémy. Elektronový excitovaný stav, který se objevuje v těchto materiálech, je tripletový stav, který je mnohem stabilnější a má delší dobu života než singletní stav. Obecně tedy singletní energetický stav nemusí být z hlediska přenosu energie (informace) v živých organizmech tak efektivní jako tripletový stav.

Na závěr můžeme konstatovat, že problematika duality energie a informace v biologických systémech a ovšem i v systémech ekologických dosáhla významného pokroku v dekodování organizace a struktury přenosu a záznamu informace v živých systémech. Jde nejen o další rozvoj a pokrok teoretického studia „hláskování“ genetického kódu, ale především o rozvoj dalšího pochopení role proteinů (především jejich elektrických vlastností) v toku informace uvnitř biosystémů.

L i t e r a t u r a

- [1] ŠLECHTA J.: Proc. of the 13th Int. Congress on Cybern., Namur, Belgium, 1992, Symposium XXXII, 923.
- [2] BASSHAM J. A.: Biotechn. and Bioengin. Symposium No. 8, ed. E. L. GADEN JR., John Wiley, 1978, 511.
- [3] VAN GRONDELLE R., ZUBER H.: JI. Photochem. Photobiol., B Biology 15, 1992, 1-2, 1.
- [4] FÖRSTER TH.: Ann. Phys., 1948, 2, 55.
- [5] DEXTER D. L., HELLER W. R.: Phys. Rev. 84 (1951), 377.
- [6] RAYER B., MAYNERT M., STIEVE H.: JI. Photochem. Photobiol., B Biology 7 (1990), 107.
- [7] TRIBUS M., MC IRVINE E.: Scientific Am., 1971, September, 179.
- [8] SHANNON C. E., WEAVER W.: *The Mathematical Theory of Communication*. Univ. of Illinois, Urbana, Ill., 1949.
- [9] WIENER N.: *Cybernetics*. MIT Press, Cambridge, 1961.
- [10] LIU G. Q., HUANG J. F., WANG Y.: *Protein and Genetic Information Flows*. Proceedings of the 13th Int. Congress on Cybern., Namur, Belgium 1992, Symposium XXXII, 909.

Osemdesiatiny akademika Štefana Schwarza

Tibor Katriňák

Čitateľ iste teraz očakáva dlhý článok líčiaci prácu a život vynikajúceho (česko-)slovenského matematika Štefana Schwarza. Núka sa nám však lepšia možnosť. Napriek svojmu pokročilému veku je akademik Schwarz hodne čulý a stále produkuje nové články. Jeden z takýchto zaujímavých článkov vyšiel nedávno na stránkach slovenského kultúrneho časopisu *Tvorba* v rámci diskusie Fórum tolerancie. Prevzali sme ho pre *Pokroky* a veríme, že sa z neho čitateľ dozvie viacej o autorovi ako z nejakého oslavného článku.

Na úvod uvediem len niekoľko suchých životopisných dát. Akademik Štefan Schwarz sa narodil 18. mája 1914 v Novom Meste nad Váhom. Vysokoškolské štúdium absolvoval na Prírodovedeckej fakulte Univerzity Karlovej v Prahe v rokoch 1932–1936. V rokoch 1936–1939 pôsobil ďalej na tejto fakulte ako asistent na jej Matematickom ústave. R. 1939 bol preložený na novozriadenú Slovenskú vysokú školu technickú do Martina a neskôr do Bratislavy. V r. 1946 sa habilitoval za docenta na Prírodovedeckej fakulte Univerzity Komenského v Bratislave a v r. 1947 sa stal profesorom SVŠT, kde pôsobil až do r. 1986.

V päťdesiatych rokoch stál Š. Schwarz pri zrode Matematickej olympiády na Slovensku a dnes je najstarším slovenským (predvojnovým) členom Jednoty. V r. 1952