

Pokroky matematiky, fyziky a astronomie

Karel Vacek; S. Vacková

Některé problémy přeměny energie v biologických systémech

Pokroky matematiky, fyziky a astronomie, Vol. 29 (1984), No. 3, 143--148

Persistent URL: <http://dml.cz/dmlcz/138623>

Terms of use:

© Jednota českých matematiků a fyziků, 1984

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>

Některé problémy přeměny energie v biologických systémech

Karel Vacek, S. Vacková, Praha

1. Úvod

Procházíme-li historií fyziky, brzy zjistíme, že dějiny fyziky až do začátků tohoto století jsou především dějinami studia základních vlastností a základních typů interakcí převážně v neživé (anorganické) přírodě. Teprve v druhé polovině tohoto století se výrazněji zájem fyziků soustřeďuje i na živé (biologické) objekty a systémy, a kromě jiného to fyzikům přináší například i řadu Nobelových cen v přírodních vědách mimo fyziku (např. Crick, Békésy v biologii, Landolt v chemii a další). Dlouhodobé prognózy dokonce předpovídají skutečně nové fundamentální objevy vedle subnukleární fyziky právě v oblastech interdisciplinárních – mezi fyzikou a biologií, resp. chemií. Interdisciplinarita v těchto oblastech se stává dokonce trochu i „módou“ a řada známých fyziků se výrazně přeorientovává právě na tyto oblasti (např. Fröhlich, Davydov, Haken a další). Na závěr této úvodní části je na místě zdůraznit, že zatímco v historickém vývoji fyziky hrála problematika energie, podle našeho názoru, významnou úlohu, nikdy však dominantní, pak v biologii a v chemii měla tato problematika vždy dominantní postavení. Teprve v tomto století objevující se syndromy energetické krize, charakterizované na jedné straně rychlým růstem populace na celém světě a s tím spojeného exponenciálního růstu spotřeby energie a potravin – a omezeností, resp. dostupností zdrojů energie a potravy na straně druhé, se fyzikové výrazně orientují i na tuto problematiku. Přitom nezávisle a mnohem dříve, jak již bylo řečeno, se v biologických vědách zájem biologů soustřeďoval na problém energie jako na problém ústřední, neboť stručně řečeno bez energie není života. A z této obecné problematiky vykrystalizovává i bioenergetika, o jejichž některých rysech bychom se chtěli v tomto článku zmínit.

2. Obecná charakteristika hlavních bioenergetických pochodů

Všechny funkce biologických systémů nebo jejich podsystémů (až na úroveň buňky či organely) jsou podmíněny dodávkou energie. Pro toto tvrzení lze uvést řadu příkladů:

- metabolismus buňky a organel
- regulační membránové pochody a reprodukční pochody
- přenos a záznam informace při vidění, při nervové činnosti
- produkce potravy, kyslíku
- činnost svalů atd.

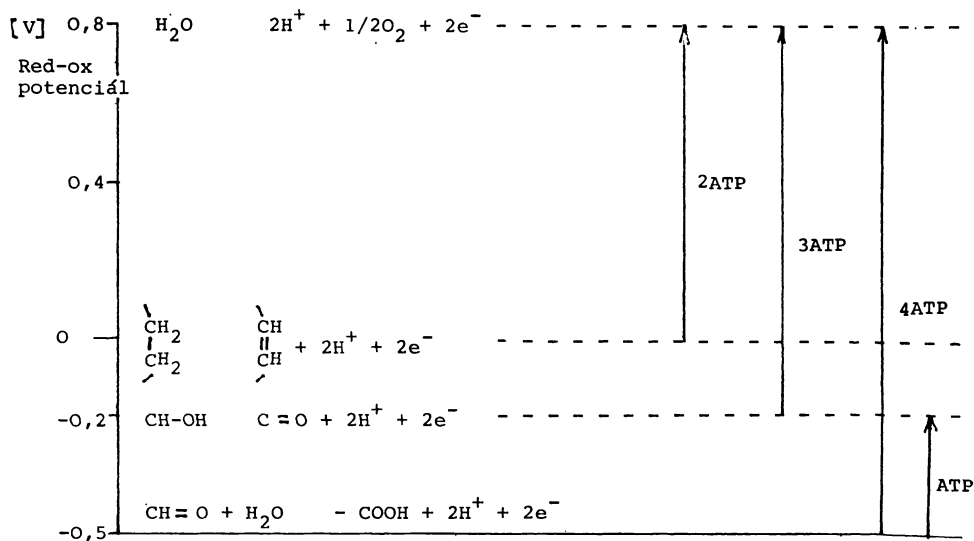
Většina těchto pochodů, jež jsou spojeny s generací nebo přenosem či přeměnou, popř. akumulací energie od úrovně bakteriální až po úroveň rostlinného nebo živočišného organismu, je vlastně obsahem bioenergetiky. Z energetického hlediska je celá biosféra

na Zemi představuje asi 2.10^{11} tuny uhlíku, což odpovídá uložené energii asi 3.10^{21} J; z toho lidstvo spotřebuje jen asi 0,5% ve formě potravy a zbytek zůstává doposud překvapivě energeticky nevyužit.

Chemická podstata většiny pochodů, schematicky zachycených na obr. 1, 2 a 3, je v podstatě známa a obecně probíhá v red-ox systémech syntetizujících nebo rozkládajících ATP. Schematicky jsou tyto děje zachyceny na obr. 4. Naproti tomu biologická funkce jednotlivých systémů, úzce vázaná na strukturu těchto systémů, zatím většinou známa není. A zde právě vystupuje do popředí nezastupitelná role fyziky při charakterizaci nejenom odpovídající struktury biologických systémů, ale v souvislosti s tím i funkcí těchto systémů (tj. pochodů jimi vyvolaných či regulovaných).

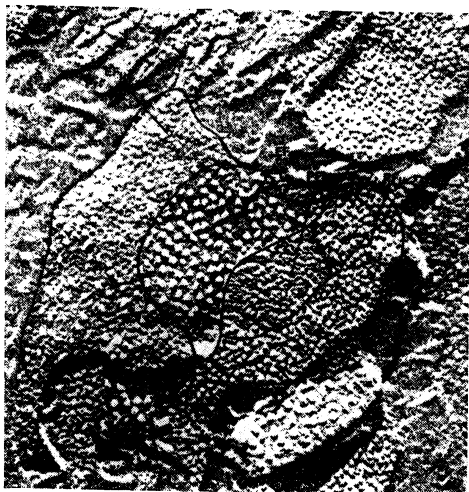
3. Vztah struktury a funkce biologického systému

Jistě nepřeháníme, řekneme-li, že modelování a simulace se staly dvěma nejdůležitějšími nástroji teoretické biologie. Ovšem pro navržení adekvátního modelu je zapotřebí mít základní informace o struktuře daného biologického systému. Ty nám v současné době poskytují vedle rentgenové a neutronové strukturní analýzy především metody nízkoteplotního leptání a lomu, popřípadě studium rozptylu synchrotronového či laserového záření. Tak například v případě fotosyntetického pochodu je celý fotosyntetický aparát umístěn na biologické membráně, tzv. thylakoidu. Metoda nízkoteplotního leptu nám ukáže (viz obr. 5), že fotosyntetický aparát uložený na membráně je lokálně uspořádaný, a naznačí nám jeho umístění na vnitřním nebo vnějším povrchu thylakoidu. Rtg strukturní analýzou se podařilo rozšířovat i hlavní strukturní informace o vlastnostech některých podsystémů fotosyntetického aparátu (viz obr. 6). Z těchto měření

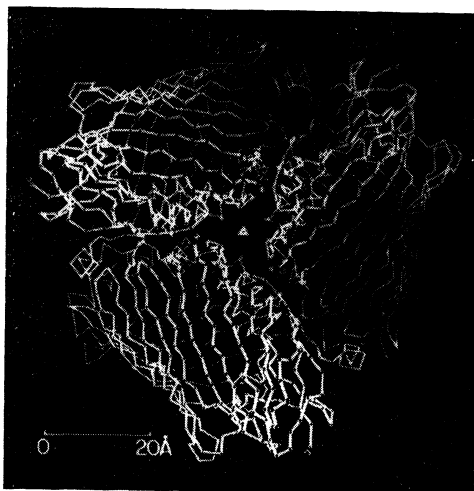


Obr. 4. Chemická podstata red-ox pochodů probíhajících v přírodě při syntéze ATP.

a celé řady dalších se tak dospělo k závěru, že pozorované struktury a s nimi spojené funkce jsou primárně závislé na pigment (barvivo)-proteinové (bílkovina) interakci, která vzniká v tzv. pigment-proteinových komplexech. To znamená, že intermolekulární interakce rozhodující měrou podmiňují strukturu a funkci nadmolekulárních struktur v pigment-proteinových komplexech, tj. především jejich terciální, resp. kvartérní konformaci; ta je pak nepochybně silně ovlivňována strukturní labilitou a prostorově omezenou pohyblivostí bílkovin. Vedle již uvedené pigment-proteinové interakce se uplatňuje ještě i pigment (protein)-lipidová interakce. Připočteme-li k těmto základním typům interakcí ještě i interakce jednotlivých složek (pigment; protein; lipid) mezi sebou samými (např. pigment-pigment atd.), dále vliv blízkého okolí komplexu (např. polarita) a přítomnost vody, dostáváme komplexní obraz nadmolekulárních interakcí, které v souhrně s danou strukturou komplexu spoludovytvářejí jeho biologickou funkci. V této široké a spletité problematice si fyzika většinou vybírá jen určitou (časovou) škálu pochodů, které například v případě fotosyntézy nazýváme primárními pochody (např. světlá část fotosyntézy na obr. 1), které jsou vázány na absorpci světelné energie, počáteční přenos a přeměnu excitační energie (informace) a které jsou charakterizovány jednak poměrně velkými kvantovými výtěžky, velkými rychlostmi (řádově desítky pikosekund) a vratností jednotlivých pochodů.



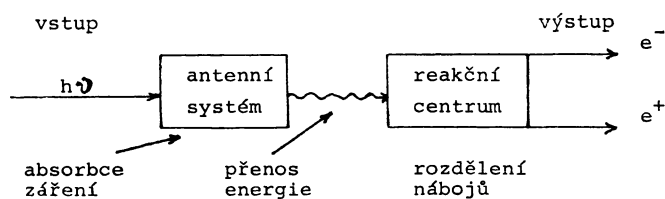
Obr. 5. Na obrázku podle [3] fotosyntetické membrány ječmene jsou vidět částice různých typů. Snímek byl získán použitím techniky mrazového lomu a zvětšen 10^6 . Lom přeskakuje ze středu jedné membrány do středu nejbližší přilehlé membrány, takže na obrázku jsou zachyceny čtyři různé „lomové plochy“, označené EF_u , EF_s , PF_u a PF_s .



Obr. 6. Struktura bakteriálního reakčního centra podle [5], které je tvořeno 7 molekulami bakteriochlorofylu *a*, molekulou feofytinu *a* a bílkovinou. Bílkovinný nosič má molekulovou hmotnost 136 Kdal a je tvořen třemi subjednotkami po 45 Kdal. Celá struktura má tvar elipsoidu o rozměrech $4,5 \times 3,4 \times 1,5$ nm, vzdálenost středů dvou nejbližších bakteriochlorofylových molekul je mezi trimery 1,2 nm.

4. Vztah obecných vlastností biologického systému a jeho modelu

Fyzikální studium biologických systémů (resp. subsystémů) a jejich funkcí se principiálně děje dvěma různými způsoby, které lze nazvat syntetickým a analytickým. V prvním případě vycházíme ze známého chemického složení systému se mu v modelovém prostředí přibližujeme definovaným přidáním známých chemických složek (např. barviv či bílkovin); jako modelové prostředí může sloužit vhodný roztok, kapalný krystal, pevná matrice např. polymeru, anebo i modelová membrána (např. BLM). Ve druhém případě vycházíme přímo z biologického systému *in vivo* a izolačními fyzikálně-chemickými metodami (např. detergent, chromatografie) se snažíme izolovat jednotlivý podsystém nebo jeho část. Uvědomíme-li si, že reálný biologický systém je vždy otevřeným systémem interagujícím se svým okolím, že většinou funguje daleko od rovnovážného stavu, že většina pochodů v něm probíhajících je nelineární a že je to systém kooperativní, jistě pochopíme, že oba shora uvedené přístupy jsou modelově velmi vzdáleny reálnému systému právě pro své vlastnosti, tj. že jsou to izolované a často rovnovážné systémy, že většina pochodů, které v nich realizujeme, je lineární a že jsou většinou nekooperativní. Z tohoto hlediska funkce modelování zahrnuje nalezení izomorfismu jen mezi velmi omezeným počtem vlastností daného biologického systému a jeho modelu. V roce 1950 formuloval Ashby model „černé krabičky“, který vlastně jen přepíná mezi možnými stavy na výstupu následkem změněných hodnot signálu na vstupu. V našem případě primárních pochodů fotosyntézy by se dal např. tento model vyjádřit schematicky asi takto (viz obr. 7): Světlo se absorbuje v biologickém systému, zvaném antenní systém. V něm se s vysokou účinností elektronová excitační energie přenesou do energetické pasti – reakčního centra, v němž dojde k rozdělení elektrických nábojů. Z hlediska Ashbyho modelu tedy proměnné parametry světla (energie, vlnová délka, intenzita, doba trvání atd.) jsou na výstupu systému monitorovány elektrony.



Obr. 7. Model primárních pochodů fotosyntézy.

5. Další trendy výzkumu

Celá problematika bioenergetiky bude mít zřejmě stále rostoucí význam, a to především z hlediska jejího využití nejen v zemědělství a ve zdravotnictví, ale i při vyhledávání nekonvenčních alternativních zdrojů energie. Souběžně s tím v oblasti základního výzkumu bude velké úsilí soustředěno na širší a hlubší určování biologických struktur či jejich částí moderními fyzikálními metodami (spektroskopie vysokého časového a energetického rozlišení, rozptylové jevy), a to přímo na úrovni biologické membrány.

Bude dále zaměřeno na objasnění podstaty kooperativity jednotlivých podsystémů (tzv. poolů) a v rámci toho na objasnění energetické struktury celých biologických systémů. Před třiceti lety Szent-Györgui vyslovil postulát, že pochody přenosu energie v biologicky důležitých makromolekulách jsou elektronového původu. Od té doby velké množství prací na aminokyselinách, bílkovinách a nukleových kyselinách tento názor potvrdilo, a tím se otevřely i velké možnosti pro fyziku.

Literatura

- [1] K. VACEK: *Bioenergetika*. Šestá konference čs. fyziků, Ostrava, 1979, str. cc-151.
- [2] K. VACEK: *Primární pochody fotosyntézy*. Osmé symposium o fotochemii, fotofyzice a vědecké fotografii, VŠCHT, Pardubice, 1979, str. 335.
- [3] R. E. FENNA and B. W. MATTHEWS: *Chlorophyll-Proteins, Reaction Centers and Photosynthetic Membranes*. Editor J. M. OLSON and G. HIND, Biology Depart., Brookhaven National Laboratory, N.Y., 1976, str. 170.
- [4] M. KAPLANOVÁ, J. NAUŠ, K. VACEK: *Fyzikální základy fotosyntézy*. Univerzita Karlova, Praha, 1982, skriptum.
- [5] R. E. FENNA, L. F. TEN EYK, B. W. MATTHEWS: *Biochem. Biophys. Res. Com.* 75 (3), 1977, 751.

FIELDISOVY MEDAILE 1982*)

POCTA GEOMETRŮM

Patricia Pineau

Autorka děkuje J. P. Bourguignonovi, P. Cartierovi a V. Poénarumu za jejich pomoc.

Při posledním mezinárodním kongresu matematiků v srpnu 1978 v Helsinkách bylo rozhodnuto, že příští kongres se bude konat ve Varšavě v srpnu 1982. Vzhledem k politické situaci v Polsku rozhodl výkonný výbor Mezinárodní matematické unie v dubnu 1982 o odložení kongresu (očekávalo se ke čtyřem tisícům účastníků) na pozdější dobu. Před koncem roku 1982 dospěl výbor k definitivnímu rozhodnutí: buď se kongres bude konat v srpnu 1983 ve Varšavě, nebo se od jeho

konání upustí. *) Dne 16. října označila Francouzská matematická společnost na svém valném shromáždění konání kongresu za nepříhodné s tím, že jeho anulování nesmí vést k izolaci polských matematiků. Zároveň doporučila, aby částky vyhrazené pro kongres byly využity pro rozšíření výměn s polskými matematiky.

Mezinárodní matematická unie (MMU) nicméně konala své řádné zasedání ve Varšavě ve dnech 8. a 9. srpna 1982. Při tomto zasedání udělila porota, kterou vybrala MMU a jejíž složení bylo zveřejněno až dodatečně, poprvé finskou Nevalinnovu cenu. Tato cena byla vytvořena v Helsinkách v r. 1978 a je určena k ocenění významného přínosu v oblasti informatiky vždy jednou za čtyři roky. Prvním jejím laureátem se stal Robert Tarjan

*) PATRICIA PINEAU: *Les médailles Fields 1982, Les géomètres à l'honneur*. La Recherche, vol. 13, N° 139, Décembre 1982, 1460—1462.

*) Kongres úspěšně proběhl ve Varšavě ve dnech 16.—24. srpna 1983 — viz zprávu na str. 175.