

Tajemství vzniku života

Kritická analýza současných teorií

Charles B. Thaxton

Walter L. Bradley

Roger L. Olsen

Tajemství vzniku života bylo přeloženo v roce 1995 z originálu *The Mystery of Life's Origin* (Lewis and Stanley), Copyright 1984; druhé angl. vydání v září 1992; dodatek (Last Chapter - viz níže) byl napsán dr. Thaxtonem rovněž r. 1995 mimo anglický originál, na žádost nakladatelství Academia Praha. Biochemik dr. Thaxton nabídl tuto knihu Akademii věd ČR k vydání, ale profesor Václav Pačes ji po řadě jednání odmítl přesto, že připustil, že by měla být v každé akademické knihovně, protože přináší mnoho nových informací, které jsou neznámé. Odmítnutí zdůvodnil různě, např. tím, že kniha je nevyvážená... V anglickém originálu je řada tabulek a grafů, které do tohoto překladu nejsou zatím převedeny - knihu v originálu mohou zapůjčit. (pozn. Pavel Kábrt, V Humnech 210/14, 193 00 Praha 9, t: 281 920 259, 602 304 879)

Autoři napsali tuto knihu v rámci publikačního programu Nadace pro myšlení a etiku ("Foundation for Thought and Ethics").

Obsah

[Předmluva](#)

[Úvod](#)

- Kapitola 1 [Rozpory v chemické teorii vzniku života](#)
- 2 [Teorie biochemické evoluce](#)
- 3 [Simulace prebiotické syntézy monomerů](#)

- 4 [Mýtus prebiotické polévky](#)
- 5 [Kritický pohled na složení dávné Země a její atmosféry](#)
- 6 [Věrohodnost a vliv badatele](#)
- 7 [Termodynamika živých systémů](#)
- 8 [Termodynamika a vznik života](#)
- 9 [Upřesnění pracovního postupu](#)
- 10 [Protobuňky](#)
- 11 [Shrnutí a závěr](#)

[Doslov](#)

[Dodatek](#)

[Vybraná literatura](#)

[Informace a vznik života](#)

P ř e d m l u v a

Kniha *Tajemství vzniku života* nám nabízí novou pozoruhodnou analýzu prastaré otázky: Jak vznikl život na Zemi? Autoři v ní otevřeně a velmi jasně pojednávají o hlavních problémech, s nimiž se dnes potýkají vědci při pátrání po původu života. Domnívají se, že se současný experimentální i teoretický výzkum ocitl ve slepé uličce, a naznačují jinou cestu. Jejich argumenty jsou přesvědčivé, původní a výstižné. Tato kniha vyvolá jistě mnoho živých diskuzí mezi vědci i laiky. Je velmi pravděpodobné, že po té, co se s ní odborníci seznámí, se bude výzkum vzniku života ubírat poněkud jinými směry.

Moderní experimentální studie týkající se vzniku života na Zemi vstupují nyní do čtvrtého desetiletí své existence, pokud za výchozí bod tohoto výzkumu považujeme průkopnickou práci Stanley Millera z počátku padesátých let. Od té doby, kdy Miller získal pomocí elektrického výboje několik racemických proteinogenních aminokyselin, bylo provedeno mnoho podobných prací. Při těchto pokusech, které se do různé míry řídily tzv. "simulačním paradigmatem", byl pozorován vznik detegovatelného množství většiny druhů biochemických sloučenin a rovněž rozmanitých organických mikroskopických struktur, o kterých se předpokládalo, že se podobají historickým předchůdcům prvních živých buněk.

Tento výzkumný program můžeme považovat za skutečné pokračování Darwinových evolučních myšlenek minulého století. Jeho cílem je nalezení přijatelných, obecně rozšířených mechanismů, kterými se postupně a spontánně formovala živá hmota z relativně jednoduchých molekul, o nichž se soudí, že se hojně vyskytovaly na povrchu tehdejší Země.

Doposud získané výsledky vedly u řady vědců k přesvědčení, že se podaří nalézt přirozené vysvětlení vzniku života; některé důležité údaje však toto jednoznačné přesvědčení zpochybňují. Od té doby, kdy byla uveřejněna práce *Biochemical Predestination* mě stále více a více zarážel charakteristický rys mnoha pokusů publikovaných v této oblasti. Nezmiňuji se nyní o těch studiích, které se více či méně podobaly původní Millerově práci, ačkoliv jsou rovněž živnou půdou pro kritiku. Mám na mysli experimenty, které směřovaly k objasnění možných cest prebiotické syntézy určitých biologicky důležitých organických látek, jakými jsou puriny, pyrimidiny nebo polypeptidy.

Podmínky, za kterých byla většina těchto experimentů provedena, byly uměle zjednodušeny takovým způsobem, že se skutečně nemohly vztahovat k žádnému z konkrétních pochodů,

jež snad probíhaly na tehdejší Zemi. Kdybychom například chtěli nalézt možný mechanismus prebiotické kondensace volných aminokyselin za vzniku polypeptidů, pravděpodobně bychom do reakční směsi nepřidávali cukry nebo aldehydy. Nicméně, jaká je pravděpodobnost, že se aminokyseliny (nebo nějaké jiné předpokládané prekurzory) objevily někde na prebiotické Zemi volně bez kontaminujících látek, ať již v roztoku nebo v pevném stavu? Problém spočívá v tom, že kdyby cukry nebo aldehydy byly přítomny, nedošlo by ke vzniku polypeptidů. Místo nich by *interferující křížová reakce* mezi aminokyselinami a cukry poskytla komplex nerozpustného polymerního materiálu, jehož vztah k chemické evoluci je velmi nejasný. Popsaný problém *interferujících křížových reakcí*, které přicházejí v úvahu, byl v mnoha pracech o chemické cestě vzniku života do značné míry zanedbán. Možné důsledky takového opominutí si zasluhují pečlivé prozkoumání.

Ještě další aspekty výzkumu vzniku života přispěly k mému rostoucímu nesouhlasu s teorií chemické evoluce. Jedním z nich je obrovská propast ležící mezi nejsložitějším modelovým systémem získaným v laboratoři, "protobuňkou", a nejjednodušší živou buňkou. Kdokoli obeznámený např. s ultrastrukturou a biochemickou složitostí rodu *Mycoplasma*, bude vážně pochybovat o vztahu rozličných laboratorních "protobuněk" ke skutečnému historickému předchůdci buněk. Podle mého názoru je možnost překlenutí této propasti napodobováním chemických pochodů, které pravděpodobně proběhly na tehdejší Zemi, zcela nepatrná.

Jiná otázka, jejíž rozřešení je obtížné, se týká samovolného vzniku optických izomerů, které se všeobecně vyskytují v živé hmotě vždy přednostně v jedné z obou možných forem (např. v proteinech nalézáme téměř výhradně L- a ne D-aminokyseliny, v nukleových kyselinách spíše D- než L-cukry). Přesvšechno ohromné úsilí po léta vynakládané na rozřešení této důležité otázky nejsme dnes cíli o nic blíže, než jsme byli před třiceti lety.

Na závěr tohoto stručného výčtu důvodů, které posilují mou nedůvěru k samovolnému formování života na Zemi pouhou chemickou a fyzikální cestou, uvádím ještě problém vzniku genetické, tj. *biologicky relevantní*, informace v biopolymerech. Žádná doposud vyvinutá metoda nás nepřivedla na stopu toho, jak se mohly v prebiotických polynukleotidech nebo polypeptidech utvářet biologicky smysluplné sekvence podjednotek. Důkaz o spontánním vzniku určitého stupně sekvenčního uspořádání byl sice již publikován, nelze však tomuto uspořádání připisovat biologický význam. Dokud nebude otázka vzniku genetické informace zodpovězena, nemůžeme s jistotou tvrdit, že život vznikl přirozenou cestou.

Z hlediska problematiky, která zde byla právě částečně diskutována, se objevuje již po několik let potřeba detailní systematické analýzy všech hlavních aspektů týkajících se výzkumu vzniku života. Nastal čas přehodnotit základy tohoto výzkumu a shromáždit všechny významné kritické připomínky. Tuto potřebu obdivuhodně splňuje kniha *Tajemství vzniku života*. Její autoři se věnovali téměř všem již zmíněným problémům a rovněž některým dalším otázkám. Domnívají se, a v tom jsme nyní zajedno, že všechny současné teorie chemické cesty vzniku života mají značné mezery. Ačkoliv je kniha laděna kriticky, autoři ji psali v dobré víře, že jejich analýza nám pomůže nalézt nějakou lepší teorii vzniku života. Tento přístup je, samozřejmě, zcela v souladu se způsobem, jakým se odedávna ubírá vědecké poznání.

Jednou z nejhodnotnějších částí knihy je její diskuze (Kap.6) o relativní geochemické věrohodnosti různých typů v literatuře uvedených modelových experimentů. Pokud vím, jedná se o první systematický pokus nalézt formální kritéria hodnocení těchto experimentů z hlediska míry vlivu badatele. Další zvláště užitečnou pasáží je detailní rozbor důsledků zákonů termodynamiky pro řešení otázky vzniku života (kapitoly 7, 8 a 9). Tento důležitý námět je ve většině jiných knih pojednávajících o chemické cestě vzniku života buď zcela opomíjen, nebo je zpracováván povrchně. Autoři by se mohli podrobněji zabývat problémem preferencí optických isomerů, ale tento nedostatek ubírá jen velmi málo z celkové váhy jejich argumentů.

Jsou-li kritické postoje autorů opodstatněné, lze namítnout, proč je odborníci z této oblasti neuznávají a nezmiňují se o nich? Domnívám se, že se mnoho vědců zdráhá přijmout závěry autorů, které naznačují značnou nepravděpodobnost samovolné organizace hmoty a energie do živých systémů. Snad se tito vědci obávají, že přijetím takového tvrzení by byli nuceni připustit možnost (nebo nutnost) nadpřirozeného vzniku života. Při takové vyhlídce mnoho z nich raději pokračuje ve výzkumu, jenž je záležitostí několika posledních desetiletí a směřuje k nalezení přirozené cesty vzniku života, a to i přes množství vážných obtíží, na které jsme právě upozornili. Možná, že je falešná vědeckost rozšířena více, než bychom si pomysleli.

Představy týkající se vzniku života a zejména předpoklad, že tento problém bude nakonec vyřešen díky vytrvalému působení současné metodologie, mohou jistě ovlivnit výběr důkazů a argumentů, tedy to, které z nich jsou podporovány, které jsou zlehčovány a které jsou zcela opomíjeny. Autoři této knihy však před nás předkládají souvislý přehled v podstatě všech důležitých přístupů kritiky a je nyní na nás, abychom je zodpovědně posoudili.

Všichni vědci zabývající se problémem vzniku života by měli pečlivě prostudovat tuto knihu a přehodnotit svou vlastní práci ve světle uvedených argumentů.

Dean H. Kenyon, Profesor biologie, Státní univerzita, San Francisco

Ú v o d

Tajemství vzniku života je kniha, jejíž vznik si vynutil sám život. Ten vyžaduje, aby byly myšlenky jakékoliv vědecké disciplíny průběžně podrobovány kritice a její experimentální postupy pečlivé analýze. Nešťastnou se pak stává ta disciplína, kde kritika a analýza chybí. Tak tomu bylo, kupodivu až dosud, i v případě prebiotické neboli chemické evoluce. Tato kniha poskytuje nejenom obsáhlý rozbor myšlenek a postupů teorie chemické evoluce provedený na základě platných chemických a fyzikálních zákonů, ale představuje, zejména v kapitolách šest a osm, i některé nové analytické přístupy.

Nechceme naznačovat, že v tomto odvětví neexistují žádné kritické rozборы, které by byly prospěšné badatelům, jež se zabývají problematikou vzniku života. Objevují se tu a tam v literatuře týkající se chemické evoluce. Tyto analýzy však nikdy nebyly uspořádány do přehledu, z něhož by mohl vyplynout jejich společný význam. Doufáme, že naše kniha pomůže uspokojit tuto řadu let trvající potřebu komplexního kritického rozboru teorie chemické evoluce. Nedomníváme se však, že by autoři určitých citovaných kritických postojů souhlasili i s našimi závěry; ve většině případů asi nikoliv.

Skutečnost, že chemická evoluce nebyla dodnes zevrubně zhodnocena neznamená, že je chybná; je jen nemoudré na ní stavět nebo ji rozšiřovat, dokud se nepřesvědčíme o její správnosti. Důkladný kritický rozbor chemické evoluce je velmi důležitý také proto, že je základem nadějí na nalezení života ve vesmíru a pátrání po mimozemské inteligenci (SETI = the search for extraterrestrial intelligence).

Za nejpopovolanější pro provedení kritické analýzy jsou obvykle považováni specialisté z daného oboru. Velmi cenné mohou však být i názory odborníků z příbuzné disciplíny, kteří pohlížejí na předmět bádání z jiného zorného úhlu. Autory následujících kapitol jsou chemik (CT), vědec zabývající se studiem vlastností a použití materiálů (WB) a geochemik (RO). Jsou-li naše kritické postoje správné, měly by se stát východiskem pro změny v oblasti výzkumu vzniku života. Pokud se ukáže, že jsou nedostatečné a scénář chemické evoluce bude potvrzen, podníti snad tato práce vědce k tomu, aby ve vlastním zájmu uvedli jasnější a solidnější argumenty na jeho podporu.

Rádi bychom poděkovali za svolení citovat ukázky nebo reprodukovat obrázky z prací uvedených v textu: Gordon a Breach, Science Publisher, Inc.:ed. Lynn Margulius, *Origins of Life (Původ života): Proceedings of the First Conference,*

1970; Simon & Schuster, Inc.: F. Hoyle a N.C.Wickramasinghe, *Evolution from Space (Vývoj vesmíru)*, 1981; Marcel Dekker: S.Fox a K.Dose, *Molecular Evolution and the Origin of Life (Molekulární evoluce a počátek života)*, opravené vydání, 1977; Prof. A.E.Wilder Smith, *The Creation of Life (Vznik života)*, 1970; MIT Press: ed. J.Neuman, *The Heritage of Copernicus (Koperníkovovo dědictví)*, 1974; a American Chemical Society: S.W.Fox, K.Harada, G. Krampitz a G. Mueller, *Chemical Eng. News*, 22.června 1970.

S radostí oceňujeme pomoc, rady, doporučení, kritiku a podporu mnoha kolegů a přátel. Není jisté, zda by byla bez jejich přispění tato kniha napsána. Jakékoliv chyby ve faktech nebo interpretaci však padají na naši hlavu. Rádi bychom poděkovali Franku Greenovi, Robertu L. Herrmannovi, Deanu Kenyonovi, Gordonu Millsovi, G. Shawovi, Grahamu Smithovi, Peter Vibertovi a Johnu C. Waltonovi za přečtení celého rukopisu a za jejich komentáře. Za odborné poznámky k jednotlivým kapitolám děkujeme Gregu Bahnsenovi, Artu Breyerovi, Tomu Cogburnovi, Prestonu Garrisonovi, Normanu Geislerovi, Harry H. Gibsonovi, Jr., Charlesi Hummelovi, Glennu Mortonovi, Francisu Schaefferovi, Davidu Shottonovi a Hubertu Yockeyovi.

Závěrem patří srdečné díky našim manželkám Carole, Ann a Candace, které trpělivě přestály sedm let zasvěcených výzkumu, psaní a korekturám. Právě jim, za neutuchající věrnost a lásku, věnujeme tuto knihu.

Dallas, Texas C.Thaxton

vánoce 1983 W.Bradley

R.Olsen

KAPITOLA 1

Rozpory v chemické teorii vzniku života

V roce 1953 se objevily dvě velkolepé vědecké zprávy, které posléze přijala široká vědecká veřejnost. Jednou z nich byl návrh modelu dvoušroubovicové struktury deoxyribonukleové kyseliny Jamese Watsona a Francise Cricka.¹ Podle tohoto známého modelu je dědičná informace přenášena z jedné generace na druhou pomocí jednoduchého kódu tvořeného specifickou sekvencí stavebních kamenů molekuly DNA. Dříve se soudilo, že obrovská variabilita živých organismů je částečně způsobena odpovídající rozmanitostí jaderné hmoty. Právě Crickův a Watsonův objev specifického klíče k proměnlivosti života, té neobyčejně komplikované, nicméně uspořádané struktury molekuly DNA, přinesl nový pohled na tento problém. Objevení kódu vepsaného do této "spirály života" otevřelo nové možnosti v chápání pozoruhodné struktury života.

Druhou významnou zprávou publikovanou v roce 1953 byla, snad ironií osudu, práce Stanleyho Millera², která experimentálně podpořila názor stavící se stále jasněji do opozice proti předchozímu objevu. Miller předložil svou práci jako důkaz potvrzující neodarwinistickou teorii prebiotické evoluce. Podle této teorie mohla nesmírně složitá molekulární organizace živých buněk vzniknout náhodnými reakcemi jednoduchých chemických sloučenin v primordiálním oceánu.

V roce 1953 se asi jen málokdo znepokojoval napětím mezi novými pohledy Cricka a Watsona na jedné straně a Millerovými výsledky na straně druhé. Crick a Watson se zabývali *strukturou* života, zatímco Miller se zajímal o jeho *vznik*. Většina pozorovatelů byla pevně přesvědčena o tom, že tyto dva výzkumné přístupy povedou ke společnému cíli. Experimentální úspěch mladého Millera byl zcela v souladu s obecnou teorií evoluce, neboť nehledě na to, zda je určitá evoluční teorie darwinistická, neodarwinistická nebo jiná, musí vždy obsahovat evoluční fázi, která předchází vlastním biologickým procesům. *Chemická evoluce* je pak tím predbiologickým údobím, v němž vznikaly prvotní živé objekty. K tomuto velkolepému procesu, jehož výsledkem byl počátek života, došlo v důsledku proměnlivého působení přirozených sil na hmotu během dlouhého časového údobí snad tisíce milionů let, možná i delšího.

V desetiletích následujících po zveřejnění prací Millera a Cricka s Watsonem se však objevily náznaky, že v biologii přece jen není vše tak jasné a jednoduché. Stále se prohlubující poznání nesmírně složitých makromolekul jakými jsou proteiny a nukleové kyseliny vedlo k teorii, že DNA může být mnohem složitější a její molekulární organizace komplikovanější a bohatší na informace, než se dříve soudilo.³

S touto výraznou složitostí molekul proteinů, nukleových kyselin a jiných biologických látek se můžeme v současné přírodě setkat jen u živých tvorů. Pokud nepředpokládáme, že tyto struktury byly v nekonečně starém vesmíru přítomné vždy, muselo v minulosti dojít k tomu, že život vznikl *de novo* z neživé inertní hmoty. Jak mohl vzniknout život interakcí jednoduchých chemických sloučenin v primordiálním oceánu? Tato otázka zůstává prozatím nezodpovězena, protože všechna dosud navrhovaná vysvětlení jsou nedostatečná. Někteří badatelé se také kloní k názoru, že principy teorie chemické evoluce ani nedokáží vysvětlit vznik složitých struktur biologických makromolekul a dva dříve uvedené výzkumné přístupy tedy nikdy nepovedou ke společnému cíli.

Pouhá náhoda nestačí

Kolem roku 1966 nastal významný obrat ve vědeckém myšlení. Ve Philadelphii v USA se konalo symposium, které mělo osvětlit podstatu těchto změn.⁴ Účastníci symposia přijeli společně diskutovat o neodarwinistické teorii evoluce a právě tehdy se poprvé objevily známky hrozící krize. Jeden ze závěrů, vyjádřený slovy Murray Edena z Massachusetts Institute of Technology (MIT), byl požadavek "přiřadit v našich teoriích o vzniku života pojmu nahodilost méně důležitou, nikoli základní úlohu".⁵ Tento závěr vyplynul z aplikace teorie pravděpodobnosti, která na základě matematických výpočtů prokazuje nepravděpodobnost náhodného vzniku velmi složité molekulární struktury potřebné pro život. Velmi rychlé počítače a vhodné počítačové programy umožnily napodobit miliardy let trvající proces, založený na neodarwinistickém modelu evoluce. Výsledky ukázaly, že náš složitý biochemický svět nemohl vzniknout náhodným procesem ani v časovém údobí deseti miliard let. Edenův závěr byl velmi racionální, ale přesto napadnutelný.

Také další účastníci symposia vyjadřovali podobné názory na roli náhody či nahodilosti. V.F. Weiskopf poznamenal: "Existují náznaky, že to základní (v našich teoriích o vzniku života) stále chybí".⁶ Eden navrhoval "nové zákony" jako chybějící část hlavolamu počátku života.⁷ Biolog sir Peter Medawar, nositel Nobelovy ceny, předsedající konferenci řekl při zahájení že "Existuje značný pocit nespokojenosti s evoluční teorií, v anglicky hovořícím světě známou pod pojmem

neodarwinistická, kterou jsme si zvykli považovat za obecně přijatou. "⁸ Skutečný rozsah existujících rozporů ozřejmil Marcel Schutzenberger z pařížské university, když vyjádřil své přesvědčení, že rozpory v názorech na vznik života "nemohou být překlenuty v rámci současné koncepce biologie."⁹ (Zdůrazněno autory knihy).

Uvedené komentáře odrážejí skutečnost, že náhoda nebo nahodilost nemohla být hlavním tvůrčím mechanismem působícím při vzniku života. Někteří účastníci sympozia, např. C.H. Waddington, naproti tomu tvrdili, že problém nespočívá v náhodě, ale v chybně sestaveném počítačovém programu.¹⁰ Waddingtonova námitka ilustruje základní rozpor, který postihuje výpočty založené na počtu pravděpodobnosti. Základem těchto výpočtů je předpoklad pravděpodobné chemické cesty či řady dějů, jejichž pravděpodobnost se poté počítá. Takto získaná pravděpodobnost se považuje za velmi blízkou pravděpodobnosti skutečné sekvence dějů. Vzhledem k nejistotě s jakou lze určit skutečnou chemickou cestu vzniku života přikládají vědci těmto výpočtům, podle kterých je náhodný vznik života značně nepravděpodobný, jen malou váhu.

Tyto výpočty pravděpodobnosti však nyní byly doplněny o výpočty, které nevyžadují znalost detailního průběhu nebo přesné sekvence dějů, jež vedly ke vzniku života. Jejich základem je moderní aplikace první a druhé věty termodynamické na živé systémy. Takto lze nyní vypočítat přesnou hodnotu pravděpodobnosti spontánní syntézy složitých chemických látek bez ohledu na to, jaká byla cesta jejich postupného vzniku. Výpočet využívá pouze informací o chemickém složení atmosféry a povrchu prebiotické Země (složky vstupující do sledu reakcí) a o struktuře složitých makromolekul současných živých systémů (konečné produkty). Výsledky těchto termodynamických výpočtů se řádově shodují s výsledky předchozích kalkulací pravděpodobnosti, závislými na průběhu děje. Někteří vědci, mezi nimi i odborník na termodynamiku, nositel Nobelovy ceny, Ilya Prigogine, spoléhali při hledání pravděpodobnosti spontánního vzniku života na výpočty vycházející z termodynamických rovnováh. Prigogine a kol. uvádějí:

Pravděpodobnost, že se za normálních teplot shromáždí makroskopické množství molekul, aby mohly vzniknout vysoce uspořádané struktury s funkcemi, které jsou vlastní živým organismům, je mizivá. Představa spontánního vzniku života v jeho současné formě je tedy vysoce nepravděpodobná i v časovém horizontu miliard let, během nichž probíhal prebiotický vývoj.¹¹

Soulad obou typů výpočtů pravděpodobnosti spontánního vzniku života ještě více zdůraznil skutečnost, že teorie chemické evoluce se dostává do slepé uličky.

Biochemická predestinace

V důsledku selhání teorie náhodného vzniku života došlo na přelomu šedesátých a sedmdesátých let k posunu směrem k názoru, že život je *nevyhnutelným* výsledkem dlouhodobého působení přírodních zákonů. Do vědecké literatury vstoupily pojmy jako "řízená náhoda" a "biochemická predestinace", které naznačovaly, že život jaksi vznikl v důsledku základních vlastností hmoty. Hojně používání těchto termínů naznačuje posun v myšlení. Mnozí se domnívají, že ve vzniku složitých molekulárních struktur živé hmoty hrály důležitou roli vazebné vlastnosti atomů. Jiní, včetně M. Polanyi, však namítají, že jestliže jsou vazebné vlastnosti atomů zodpovědné za skutečnou strukturu DNA, tedy i distribuci bází, "pak by taková molekula DNA nemohla obsahovat žádnou informaci. Její schopnost přenášet informaci by byla zcela nadbytečná."¹² A tak tajemství původu života zůstává i přes trvajících přesvědčení, že se řešení podaří brzy nalézt. Dokladem toho je i vývoj amerického vesmírného programu.

Stanley Miller, který pokračoval ve svém úsilí podložit moderní studie o vzniku života pevným experimentálním základem, řekl v roce 1974 :

Jsme přesvědčeni, že základní proces (chemické evoluce) je správný; natolik přesvědčeni, že považujeme za nevyhnutelnou skutečnost, že se podobný proces odehrává i na mnoha jiných planetách sluneční soustavy... jsme natolik přesvědčeni o platnosti naší teorie vzniku života, že bude v roce 1976 vyslána k Marsu kosmická loď s prvořadým úkolem pátrat na jeho povrchu po živých organismech.¹³

V roce 1976, v předvečer prvního přistání na Marsu, vedoucí biologické sekce NASA Harold P. Klein vysvětlil, že jsou-li naše teorie o vzniku života správné, nalezneme pro to na Marsu potvrzující důkaz.¹⁴ Teorie, o kterých hovořil, předpokládaly, že na Venuši, Marsu a nesčetných dalších planetách kosmického systému působily stejně neúprosné síly chemie a fyziky, jakým přičítáme vznik života na Zemi. Přestože jen málo odborníků skutečně očekávalo objev života na Marsu, shodli se většinou na tom, že je pravděpodobné nalezení organických látek, objevujících se v různých fázích procesu formování života. Víru v úspěch posilovaly samozřejmě i nemalé náklady na přistání na Marsu. Nastala příležitost pro potvrzení teorie. Naděje však byly zklamány; chemické složení povrchu Marsu bylo neočekávané a naznačovalo, že tamní podmínky jsou pro průběh chemické evoluce zcela nepříznivé.

Z detailní analýzy dat získaných na Marsu, která byla opublikována v *Journal of Geophysical Research*, vyplývalo, že

"výsledky organických analýz ...nejsou povzbudivé pro ty, kteří doufali, že na Marsu bude nalezen život."¹⁵

Ani údaje získané sondou Voyager I, jejíž dráha letu vedla kolem Jupitera a Saturna, nepodpořily naděje na objevení života v kosmu.¹⁶ Titan, jeden z měsíců Saturna, byl považován za planetu s podmínkami příznivými pro život. Nyní se zdá, že je studený a mrtvý a jeho atmosféra obsahuje asi 85 % dusíku, 15 % argonu a méně než 1 % metanu.¹⁷

Nepříjemnou, dosud nerozřešenou otázkou je, zda námitky, jež se objevily ve Wistarově ústavu na již zmiňovaném sympoziu jsou oprávněné, a dále, zda současné důkazy zavadávají vůbec nějakou příčinu pro optimistický pohled na teorii "řízené náhody" vzniku života. Proč zklamaly naše domněnky o existenci života nejprve na Měsíci, pak na Venuši, Marsu, Jupiteru a nyní na Saturnu a jeho měsíci Titanu?

Nedá se popřít, že víra v "pouhou náhodu" jako podstatu vzniku života je poněkud extrémní. Potíž však je, že ani modifikovaná verze "řízené náhody" si nestojí nejlépe. Je tedy na čase se ptát, zda teorie chemické evoluce nemá nějakou trhlinu - trhlinu na tak základní úrovni, že maří jak teorii "pouhé náhody" tak i "řízené náhody".

Na trhlinu v existující teorii vzniku života však nemusíme pohlížet pesimisticky. H.R. Post, filosof zabývající se teorií vědy, naznačuje ve svém článku, že tato vada může ve skutečnosti vést k vytvoření nové, ještě lepší teorie, pokud se nám podaří podstatu rozporů správně dešifrovat. Post řekl:

Nejlepší pracovníci (ve vědecké teorii) jsou ti, kteří dokáží nalézt trhliny ve struktuře staré teorie - nikoliv neshody s (novými) experimentálními daty, ale anomálie v teorii samé. Tyto trhliny jsou dobrými vodítky k vybudování struktury nové teorie: na vzhled a vlastnosti nového trojrozměrného zvířete usuzujeme z jeho dvojrozměrných otisků. Takové otisky jsou šlépějemi nové teorie ve staré.¹⁸

Na tomto místě můžeme prohlásit, že všechny současné teorie o vzniku života mají podobnou trhlinu, jejíž odhalení by mělo usnadnit pochopení vzniku života. Odložme však hledání obrysů této trhliny na později.

Spekulativní rekonstrukce

Než se zcela ponoříme do teorie chemické evoluce, bude užitečné zamyslet se nad vztahem výzkumu vzniku života k vědě jako takové. Předmět tohoto výzkumu nemohl sledovat žádný pozorovatel. Podle některých tento nedostatek přímého pozorování zcela vyčleňuje otázku vzniku života z oblasti

legitimní vědy. George Gaylord Simpson v jiné souvislosti uvedl:

Jakákoliv přijatelná definice vědy říká, že tvrzení, která nelze podložit pozorováním, nejsou ve skutečnosti o ničem - nebo jsou přinejmenším nevědecká. (Důraz je původní).

Vzhledem k tomu, že teorie vzniku života nelze ověřit pozorováním, nemůže věda poskytnout žádné *empirické* informace o vzniku života. Může pouze navrhnout přijatelné varianty rekonstrukce událostí, které vedly ke zformování života na Zemi.

Silná stránka vědeckého přístupu ke zkoumání neživé přírody spočívá v jeho schopnosti jevy vysvětlovat a předpovídat na základě pozorovatelných a opakovatelných dějů pomocí známých zákonů. Její slabinou je naopak neschopnost zkoumat jedinečné, neopakovatelné události. Časopis *Nature* komentuje toto omezení vědy takto:

Ti, kteří se zabývají problematikou vzniku života, musejí nutně stavět na písku, což je důvodem, proč se na tuto oblast výzkumu pohlíží tak často s hlubokou nedůvěrou. Hemží se často divokými spekulacemi. Některé pokusy vysvětlit vznik života na Zemi mají i přes svou důmyslnost mnoho společného s fantastickou literaturou a jen málo s teoretickou dedukcí, kterou lze konfrontovat s důkazy založenými na určitém pozorování.²⁰

Přirozená vysvětlení vzniku života jsou skutečně spekulativní. Znamená to ale, že veškerý výzkum na tomto poli je neplodný nebo bezcenný? Stejným způsobem lze posuzovat i pokus o rekonstrukci jakýchkoliv jedinečných událostí minulosti. Vždyť Scotland Yard nebo FBI využívají, občas dokonce s obrovským úspěchem, poznatky soudního lékařství v některých neobvyklých kriminálních případech. Krevní skvrny a otisky prstů, předkládané u soudu jako nepřímé důkazy, poskytují informace o pachateli. Jejich smysl spočívá v tom, že tvoří součást určitého spekulativního, ale přijatelného, scénáře, který rekonstruuje děj, jenž se udál v minulosti. Takový scénář zůstává, bez ohledu na jeho přijatelnost, vždy jen spekulací a pravda, která se skrývá za krevními skvrnami a otisky prstů, může být zcela odlišná. Pokud se porota rozhoduje na základě nepřímých důkazů, je zde vždy určité riziko a nejistota. A přece vynášejí poroty rozsudky i v takových případech a to za podmínky, že odůvodnění nevzbuzuje žádné rozumné pochybnosti. V tom spočívá hodnota spekulace při rekonstrukci nějaké uplynulé události. Vytvořený spekulativní scénář může přimět obžalovaného k doznání nebo může vést k objevení nových svědků; jeho hlavní hodnota ovšem spočívá v tom, jakým

způsobem ho dokáže pohotový právník použít k vyvolání přesvědčivého dojmu na porotu, která vynáší konečný rozsudek.

Výzkum chemické evoluce se nápadně podobá soudnictví. V souladu s názorem, že život vznikl pomocí procesů, které stále probíhají, uvádí řada vědců své laboratorní pozorování a experimenty jako nepřímé důkazy přirozeného vzniku života. Předpokládá se, že na tehdejší Zemi sice panovaly odlišné podmínky než v současnosti, ale probíhaly tytéž procesy. Jestliže nyní dokážeme v laboratoři reprodukovat podmínky, jaké byly v dávné minulosti, můžeme pozorovat i změny, které tenkrát proběhly. Na tomto přesvědčení jsou založeny *prebiotické modelové experimenty*, popisované v literatuře týkající se chemické evoluce.

"Uvedený předpoklad v sobě zahrnuje podmínku, že v době vzniku života 'nevstoupila do přírody' žádná nadpřirozená síla, která by nějakým podstatným způsobem zasáhla do dění a pak zase zmizela ze světa."²¹ (Ve skutečnosti je tento předpoklad, že v době vzniku života ani později nedošlo k žádnému inteligentnímu - účelnému - zásahu do působících přirozených sil nebo k jejich manipulaci, jediným požadavkem uvedeného názoru). Tvůrci teorie chemické evoluce uznávají její spekulativní charakter a předkládají ji jako vysoce přijatelný scénář vzniku života. My souhlasíme s tím, že práce na těchto rekonstrukcích má svou vědeckou hodnotu a neměla by se zavrňovat.

Kromě toho jen málo záleží na *zdroji* našich počátečních předpokladů. Je naprosto v pořádku odvozovat naše názory na to, jaké podmínky panovaly na tehdejší Zemi, zpětnou dedukcí ze současných podmínek, intuicí, či dokonce z informací v posvátných náboženských knihách. Vědeckým kriteriem je, zda vytvořený spekulativní scénář je v souladu s dostupnými daty a zda je přijatelný. Zde je však na místě určité vysvětlení. Ve smyslu známé Popperovy definice vědy²² je teorie vědeckou, jestliže se dá ověřit nebo testovat pokusem provedeným na pozorovatelném, opakovatelném jevu. Podle toho se teorie relativity, atomová teorie, kvantová teorie i zárodečná teorie považují za vědecké. Protože se všechny zabývají různými aspekty procesů probíhajících ve vesmíru, nazvěme je operačními teoriemi. Nyní musíme objasnit rozdíl mezi operačními teoriemi (tj. teoriemi, které se zabývají opakovanými ději) a teoriemi vzniku, mezi něž patří i teorie vzniku života. Různé spekulativní scénáře vzniku života můžeme srovnávat s daty získanými při laboratorních experimentech, nemůžeme je ale konfrontovat se samotným vznikem života. Tyto scénáře zůstanou tedy navždy spekulací, ne poznáním. Nemůžeme žádným způsobem rozhodnout, do jaké míry vypovídají výsledky těchto experimentů o cestě, po které se ubíral počátek života. Ve skutečnosti není možno tyto spekulativní rekonstrukce

prohlásit za nepravdivé; mohou být jen posuzovány jako přijatelné nebo nepřijatelné. Analogicky se soudnictvím pokud neprokážeme nepřijatelnost scénáře, posílí to jeho důvěryhodnost a zvýší pravděpodobnost, že daný scénář skutečně vysvětluje známá fakta a je pravdivý.

Tato kniha je z velké části věnována posuzování spekulativních scénářů chemické evoluce z hlediska současných poznatků. Budeme se zabývat přesnými údaji o různých výzkumných přístupech. Ve 2. kapitole začneme stručnou historií a popisem současného stavu teorie chemické evoluce. Kapitola 3 předkládá přehled modelových experimentů, které napodobují prebiotickou syntézu monomerů. První kritické rozbory se nalézají v kapitole 4, která také otevírá hlavní část knihy.

Podle našeho názoru se moderní teorie chemické evoluce vzniku života nalézají na mrtvém bodě. Čtenář si tuto skutečnost lépe uvědomí po přečtení celé knihy. Ale pozor! Pokud máme alespoň částečně pravdu, mělo by dojít k určitým změnám v teoriích chemické evoluce. Jestliže se ukáže, že máme z velké části pravdu, pak...ale nepředbíhejme. Čeká nás naše první téma.

Literatura

1. J.D.Watson a F.H.Crick, 1953. *Nature* **171**, 137.
2. S.L.Miller, 1953. *Science* **117**, 528.
3. Anonym, 1977. *Nature* **265**, 685; F.Sanger, et al., 1977. *Nature* **265**, 687.
4. P.S. Moorhead a M.M. Kaplan, ed., 1967. *Mathematical Challenges to the Neo-Darwinian Interpretation of Evolution*. Philadelphia: Wistar Institute.
5. Murray Eden, listopad 1967. "Heresy in the Halls of Biology" v *Scientific Research* str. 59.
6. V.F. Weisskopf v *Mathematical Challenges*, str. 100.
7. Murray Eden v *Mathematical Challenges*, str. 109.
8. Peter Medawar v *Mathematical Challenges*, str. XI.
9. Marcel P. Schutzenberger v *Mathematical Challenges*, str.73.
10. C.H. Waddington, reakce na Schutzenbergerův článek z *Mathematical Challenges*, str.73.

11. Ilya Prigogine, G. Nicolis a A. Bablojantz, listopad 1972. *Physics Today*, str. 23-31.
12. M. Polanyi, 1968. *Science* **160**, 1309.
13. S.L.Miller, 1974. *The Heritage of Copernicus*, ed. Jerzy Neuman. Cambridge, Massachusetts: MIT Press, str. 228.
14. H.P. Klein, 30.července 1976. *New York Times*.
15. K. Biemann, J. Oro, P. Toulmin III, L.E. Orgel, A.O. Nier, D.M. Anderson, P.G. Simmonds, D. Flory, A.V. Diaz, D.R. Rushneck, J.E. Billera A.L. Lafleur, 1977. *J.Geophys.Res.* **82**, 4641.
16. D. Goldsmith a T. Owen, 1980. *The Search for Life in the Universe*. Menlo Park, California: Benjamin/Cumings, str. 106.
17. Geoffrey Briggs a Fredric Taylor, 1982. *The Cambridge Photographic Atlas of the Planets*. Cambridge, Massachusetts: Cambridge University Press, str. 219.
18. H.R. Post, 10.února 1966. *The Listner* 197.
19. G.G. Simpson, 1964. *Science* **143**, 769.
20. Anonym, 1967. *Nature* **216**, 635.
21. D.H. Kenyon a G. Steinman, 1969. *Biochemical Predestination*. New York: McGraw-Hill, str. 30.
22. Karl Popper, 1963. *Conjecture and Refutations*. New York: Harper Torchbooks.

KAPITOLA 2

Teorie biochemické evoluce

Myšlenka spontánního vzniku života se nikdy netěšila přílišné důvěře panujícího vědeckého myšlení. Střídavě byla přijímána, opouštěna a znovu uznávána, ale ignorována. Hlavní příčinou tohoto střídavého zájmu je, že se pod označením "spontánní vznik" skrývaly v různých časových údobích dva různé pojmy: (1) *abiogeneze*, teorie vzniku života z anorganické hmoty a (2) *heterogeneze*, hledající původ života v mrtvé organické hmotě (např. přesvědčení, že larvy se rodí z rozkládajícího se masa).*

* Další informace o historii spontánního vzniku života viz "The Spontaneous Generation Controversy (1859-1880): British and German Reactions to the Problem of Abiogenesis," John Farley, 1972. *Journal of the History of Biology*, vol.5, no.2, str.285-319, odkud pochází do značné míry i naše diskuze.

Pojem heterogeneze působil srozumitelněji než abiogeneze, protože jeho podstatou bylo přímé pozorování. Byl také důležitější pro tehdejší západní myslitele, jejichž křesťanský světový názor měl svou odpověď na prvopočátek života. Kromě toho tehdejší vitalistická filosofie, která striktně rozdělovala přírodu na živou a neživou, vyloučila myšlenku abiogeneze. Dlouhá řada západních myslitelů včetně Newtona, Haweye, Descartese a von Helmonta však heterogenezi přijímala bez námitek.

Zvláštní náhodou se stalo, že byla teorie heterogeneze, na první pohled věrohodnější než čistě chemické vysvětlení zrodu života, odložena ad acta téměř ihned poté, co byla publikována Darwinova práce *Origin of Species* (O původu druhů). Francesco Redi tehdy předvedl, že se v mase umístěném pod mušelínovým krytem, který zabrání mouchám naklást vajíčka, larvy nikdy nevytvoří. Podobně byly systematicky zpochybňovány i jiné příklady heterogeneze. Schulze, Schwann, von Dusch a Schroeder přispěli k poznání, že mikroorganismy jsou přítomny v různých organických materiálech.

Práce Louise Pasteura kapitolu heterogeneze zcela uzavřela. Pasteur ukázal, že mikroorganismy přítomné ve vzduchu se mohou hromadit ve vodě a množit, což navozuje představu jejich

spontánního vzniku. V roce 1864 přednesl Pasteur své výsledky před profesorským sborem na pařížské Sorbonně a dodal: "Teorie spontánního vzniku se již nikdy nevzpamatuje ze smrtelného úderu tohoto jednoduchého experimentu."¹

Vývoj abiogeneze

Ještě nedozněl zvuk Pasteurových slov, když někteří pochopili, že Darwinova teorie předpokládá ještě obtížněji představitelnou a pozoruhodnější formu spontánního vzniku života - abiogenezi. Darwin sám o tom a v roce 1871 napsal ve svém dopise:

Často se hovoří o tom, že podmínky, za jakých vznikl první živý organizmus, byly a jsou stejné nyní jako kdysi. Pokud (to je ale obrovské POKUD!) bychom mohli předpokládat, že v nějakém teplém jezírku, obsahujícím soli amoniaku a kyseliny fosforečné, na něž působí světelná, tepelná a elektrická energie atd., se skutečně chemickou cestou tvoří proteinové komponenty jako počátek dalších složitých procesů, musely by být současnou přírodou okamžitě pohlceny nebo absorbovány na rozdíl od doby, kdy se život teprve utvářel.²

V této době byla popřena představa propastného rozdílu mezi organickou a anorganickou hmotou redukcionistickou filozofií, která tvrdila, že živá hmota v sobě žádnou jedinečnou vitální sílu neobsahuje. Redukcionistická škola se opírala o dva nové důležité objevy, které se týkaly chápání hmoty a energie. První souvisel s Wohlerovou syntézou močoviny, první syntetické organické látky, v roce 1828. Tento experiment pochopitelně odstranil představu o existenci ostré bariéry mezi anorganickým a organickým světem. Druhou důležitou událostí pro příklon k redukcionismu bylo vytvoření pojmu konzervace energie. Pokud lze totiž všechny druhy energie účastníci se reakce beze zbytku kvantifikovat, pak nezbývá místo pro žádnou vitalistickou sílu, která byla také považována za druh energie. Díky těmto objevům podporujícím redukcionistické představy, se vytvořil prostor pro teorii abiogeneze.

V Německu iniciovalo živou debatu o abiogenezi utváření monistického pohledu na svět (*Weltanschauung*), tedy snaha o logické a vyčerpávající filozofické vysvětlení všech věcí. Ernst Haeckel, nejvýznamnější představitel evoluční monistické filozofie v Německu, věnoval dvě desetiletí po uveřejnění Darwinovy *Origin of Species* své úsilí tomu, aby potvrdil vztah *Weltanschauung* k evolučním myšlenkám. Ke stejnému cíli směřovali i dogmatictí materialisté.

Na rozdíl od nich, zůstali britští vědci dočasně stranou těchto diskusí. Nepřijímali filozofii monistů a pohlíželi na

sebe jako na dědice myšlenek Newtona a J.S.Milla. Londýnské *Times* vyjádřily výstižně jejich postoj, když napsaly, "Očekáváme od vědců spíše pozorování, než projevy fantazie."³ Světonázorové představy byly podle britských vědců velkolepou spekulací, nepříslušející skutečné vědě.

Kolem roku 1870 došlo k určitému zmírnění tohoto strnulého přístupu, když Henry Bastian, silně ovlivněný Haeckelem, obhajoval myšlenku nepřetržité abiogeneze. Bastian pohlížel na protoplasmu jako na jednoduchou, nediferencovanou hmotu, vznikající za různých okolností během relativně krátké doby. Věrohodnost těchto představ zvýšil Huxley tím, že spojil biologickou evoluci a geologické principy jednotnosti. V této době panovalo přesvědčení, že zemská atmosféra byla v dávné minulosti stejného složení jako současná atmosféra. Zdálo se, že Bastianův názor odpovídá principům jednotnosti, na kterých stavělo mnoho teorií. Bastian na základě redukcionistického pohledu na spojitost organické a anorganické hmoty usuzoval, že důkazy heterogeneze (stále ještě doznívající v jeho vlastních experimentech) podporují rovněž teorii abiogeneze. Tak se až do objevení tepelně rezistentních spor zdálo, že Bastian skutečně může experimentálně podpořit teorii nepřetržité abiogeneze. Po objevu těchto spor však zůstalo již jen několik skalních zastánců této teorie.

Asi v roce 1880 byla teorie abiogeneze opuštěna jak v oblasti experimentální, tak do značné míry i na poli diskusí. Upadla v zapomenutí a Bastianovi následníci mohli jen rozvažovat o tom, že živá hmota je mnohem komplikovanější než odpovídalo Bastianově představě. Teprve po objasnění elementární struktury hmoty se teorie abiogeneze objevila v modernizované podobě.

Psal se rok 1924, když ruský biochemik Alexander Ivanovič Oparin znovu otevřel diskusi tvrzením, že složité molekulární struktury a funkce živých systémů se vyvinuly z jednodušších molekul, které existovaly již na prebiotické Zemi.⁴ To byl počátek moderního pojetí chemické evoluční teorie.

V roce 1928 britský biolog J.B.S. Haldane publikoval v *Rationalist Annual* článek, v němž uvažoval o podmínkách nezbytných pro vývoj pozemského života.⁵ Haldane považoval ultrafialové záření, které působilo na prebiotickou atmosféru, za původce zvyšující se koncentrace cukrů a aminokyselin v oceánu. Věřil, že z této primordiální polévky nakonec vzešel život. Později, v roce 1947, navrhoval J.D.Bernal ve své práci možné mechanismy, kterými by se biomonomery mohly nahromadit v koncentracích postačujících pro kondenzační reakce, produkující makromolekuly nezbytné pro život.⁶ Při těchto procesech měla zřejmě důležitou úlohu hlína usazená v mořských i sladkých vodách, která usnadňovala syntézy velkých

makromolekul a chránila je před destruktivním vlivem ultrafialového záření.

Další důležitý krok v rozvoji této teorie učinil Harold Urey. Pozoroval, že s výjimkou Země a malých planet jsou atmosféry všech planet sluneční soustavy bohaté na vodík, tedy redukující. Urey navrhoval, že atmosféra prebiotické Země mohla být také redukující a změnila se na oxidující až v průběhu evoluce.⁷ Podle této představy byly podmínky na prebiotické Zemi příznivé pro syntézu organických sloučenin.

Moderní teorie chemické evoluce

Původní návrhy Oparina, Haldanea, Bernala a Ureyho byly od té doby podrobně zpracovány do podoby moderní teorie chemické evoluce. Tato teorie ovládla myšlení vědců druhé poloviny tohoto století. Všechny její variace jsou vybudovány na jednom společném pevném základě. V hlavních rysech je její obecné schéma velmi jednoduché. Předpokládá, že atmosféra dávné Země obsahovala vodík, metan, oxid uhelnatý, oxid uhličitý, amoniak a dusík, ale ne volný kyslík. Zatímco pro nás by tato atmosféra byla toxická, její redukující charakter působil příznivě na organické molekuly. Složení této atmosféry je obsahem prvního z pěti stadií schématu chemické evoluce, které je znázorněno na obrázku 2-1.

Kdysi, před zhruba 3,5 miliardami let, byl zemský povrch ochlazen pod 100°C. To umožnilo zachovat rozličné organické molekuly, které by za vyšší teploty podlely rozkladu.

Na prebiotickou Zemi působily různé druhy energie. Tyto energetické zdroje - blesky, geotermální teplo, tlakové vlny, ultrafialové záření a jiné - iniciovaly v atmosféře a oceánu reakce, které umožnily vznik širokého spektra organických molekul. Ve vrchních vrstvách prebiotické atmosféry mohlo být jen malé množství volného kyslíku, z něhož by vlivem ultrafialového záření vznikala ozonová vrstva, stejná jako ta, která chrání v současnosti všechno živé před smrtelnými dávkami tohoto záření. V redukující atmosféře tak procházející silné ultrafialové záření umožnilo vznik aminokyselin, formaldehydu, kyanovodíku a mnoha jiných sloučenin.

Ve spodních vrstvách by tytéž organické sloučeniny vznikaly vlivem energie elektrických bouří a tlakových vln způsobených těmito bouřemi. Vzdušné proudy nesoucí plyny redukující atmosféry přes horkou lávu, která tekla blízko moře, by pak umožnily syntetické reakce při samém povrchu Země.

Jednoduché sloučeniny utvořené v atmosféře byly deštěm vymyty do oceánů. Zde se společně s produkty reakcí probíhajících v oceánu začal tento organický materiál hromadit. V tomto

rezervoáru probíhaly nevyhnutelně další reakce, až bylo konečně dosaženo konzistence "horké zředěné polévky". To představuje druhý stupeň evoluce znázorněné na obr.2-1.

Nespočetné menší vodní nádrže umožňovaly "zahuštění" polévky. V některých tůňkách, jezerech a pobřežních lagunách vedlo střídání přívalů nové polévky a odpařování k postupné koncentraci organických látek. K dalšímu zahušťování docházelo adsorpcí organických sloučenin na usazené částice hlíny v primordiálních vodních nádržích. Katalytický efekt hlíny umožnil polymeraci organických monomerů ve velkém měřítku. Mezi vzniklými makromolekulami byly také polypeptidy a polynukleotidy, viz třetí stadium na obr.2-1.

Nyní nastaly vhodné podmínky pro vytvoření protobuněk, které se nacházejí na čtvrtém stupni evoluce na obr.2-1. Protobuňky nebyly pravé buňky; byly to soustavy ohraničené membránou, natolik funkční, že mohly po určitou dobu přežívat a vyvíjet se ve složitější struktury. Polypeptidy, které získaly vhodnou specifitu, se staly předchůdci enzymů. Tak se vytvářely i další charakteristiky živých buněk. Kontrolu nad těmito procesy převzaly nakonec nukleové kyseliny, molekuly nesoucí dědičnou informaci. Život konečně získal první kritický opěrný bod, první skutečnou buňku, viz stadium pět na obr. 2-1.

Teorie chemické evoluce, takto obecně formulovaná, podnítila rozsáhlý výzkum a množství laboratorních experimentů. Teorie říká, že život vznikl na této planetě pouze vlivem přirozených procesů. Žádné záhadné, boží nebo vitální síly se na jeho vzniku nepodílely. Cyril Ponnampneruma to vyjádřil takto: "...život je jen zvláštní, komplikovanou vlastností hmoty, a...*au fond* (v podstatě) není mezi živými organismy a neživou hmotou žádný rozdíl..."⁸ Zvědaví vědci se ale snaží nalézt a pojmenovat ty přirozené síly, které umožnily vznik života.

Neodarwinismus je ve své podstatě mechanistický, neboť náhodnému působení *vnějších* sil přičítá zodpovědnost za vytváření složitější struktury chemických sloučenin. Materialistický názor naproti tomu tvrdí, že *vnitřní* vlastnosti hmoty jsou samy zodpovědné za její narůstající složitost. Život je viděn jako nevyhnutelný výsledek působení těchto vnitřních vlastností. Tento názor v 70. letech postupně získával převahu. Ať už byl pak nazýván "biochemickou predestinací" či jinak, získal na důležitosti právě v době, kdy došlo k posunu ve vědeckém myšlení, vyjádřeném v jednání na Wistarově ústavu, viz kapitola 1.

Literatura

1. R. Vallery-Radot, 1920. *The Life of Pasteur*, z francouzštiny přeložila Mrs. R.L. Devonshire. Doubleday, New York: str. 109.

2. Francis Darwin, 1887. *The Life and Letters of Charles Darwin*. New York: D. Appleton, II, 202. Korespondence 1871.

3. *London Times*, 19.zář 1870.

4. A.I. Oparin, 1924. *Proischožďenie žizni*, vyd. Moskovski Rabočij, Moskva. *Origin of Life (Vznik života)*, do angličtiny přeložil S. Morgulis. New York: Macmillan, 1938.

5. J.B.S. Haldane, 1928. *Rationalist Annual* **148**, 3-10.

6. J.D. Bernal, 1949. "The Physical Basis of Life", práce prezentovaná před Britskou fyzikální společností; *The Physical Basis of Life*. London:Routledge, 1951.

7. H.C. Urey, 1952. *The Planets: Their Origin and Development*. New Haven: Yale University Press.

8. Cyril Ponnampuruma, 1964. *Nature* **201**, 3376.

KAPITOLA 3

Simulace prebiotické syntézy monomerů

Možná bychom si přáli, aby tehdy, při zrodu života, byla přítomna skupina vědců a vše podrobně zaznamenala. Počátku života však nebyli přítomni žádní pozorovatelé, a protože se nemůžeme vrátit zpět, abychom zkoumali prebiotickou Zemi, je nutno nepřímými metodami získávat důkazy o tom, co se snad přihodilo. Jistě lze v laboratoři na základě našich současných předpokladů napodobit poměry na dávné Zemi. Podle představy, že na Zemi probíhají stále tytéž procesy jako kdysi, lze pak očekávat, že se výsledky našich experimentů budou podobat tomu, co se kdysi skutečně přihodilo. Za tohoto předpokladu je nejdůležitější podrobně identifikovat a reprodukovat poměry na prebiotické Zemi. V tomto ohledu bylo vyvinuto mnoho pozoruhodného úsilí, ale jak uvidíme, napodobení těchto poměrů není jednoduché.

Jak provést prebiotický modelový experiment

Můžeme se například pokusit reprodukovat podmínky na dávné Zemi v obrovské uzavřené kádi naplněné chemikáliemi, jejichž přítomnost na prebiotické zemi předpokládáme. Pokus by byl proveden tak, že by se nechaly na směs jednoduchých plynů, vody v kapalném skupenství, písku, hlíny a jiných nerostných látek působit různé druhy energie. V různých časových intervalech by se odebíraly vzorky na analýzu a její výsledky by se zaznamenávaly. Tento postup - "Syntéza v celku" ("Synthesis in the Whole") - byl čas od času používán.¹

Mezi jeho zjevné nedostatky patří především skutečnost, že i když věrně napodobíme podmínky a procesy na dávné Zemi, je obtížné očekávat smysluplné výsledky během laboratorního pokusu, který může probíhat jen relativně krátkou dobu. K zachycení sebemenších stop vývoje by pokus musel trvat snad miliony let. Tím, že současně probíhá doslova tisíce různých reakcí, jsou složité chemické interakce, které bychom rádi sledovali, nezachytitelné a je nutné nalézt způsob, jak je od sebe rozlišit a izolovat. Jen tak se můžeme dostat na stopu mechanismů, které vedly ke vzniku života a o nichž bychom se použitím přístupu "syntézy v celku" nic nedozvěděli.

To, co potřebujeme, je technika, která nám umožní oddělit jednotlivé reakční procesy v naší modelové "prebiotické polévce", a sledovat tak jejich průběh. Takový přístup by nám poskytl smysluplnou výpověď o mechanismu, který se mohl podílet na vzniku života, a o platnosti navrhovaného schématu chemické evoluce.

Aby však měl laboratorní modelový experiment skutečnou hodnotu, je nutné požit metodu, která překoná časový faktor milionů let. Musíme urychlit proces tak, abychom jako ve zrychleném filmu byli schopni bez zkreslení účinně zhustit události probíhající po dlouhou dobu do reálného času laboratorního pokusu.

Metoda vyhovující těmto požadavkům je v současnosti k dispozici; dokáže simulovat dlouhý časový vývoj i zmapovat sled jednotlivých chemických reakcí. Spočívá v tom, že se geologicky přijatelným podmínkám (tj. odpovídající teplotě, světlo, teplota, koncentrace látek, pH atd.) vystaví směs pečlivě vybraných a přečištěných chemických látek, z nichž se podle předpokladu kdysi formoval život. Experiment se považuje za geochemicky přijatelný, když podmínky, za kterých byl proveden, podstatnou měrou reprodukuje domnělé poměry na prebiotické Zemi. Pokusy jsou pak posuzovány jako úspěšné, jestliže jsou mezi produkty nalezeny biologicky významné molekuly nebo jejich prekurzory.²

Tímto způsobem lze simulovat produkci aminokyselin. Ty jsou pak izolovány, purifikovány a koncentrovány; v dalším stupni vznikají jejich vzájemnou interakcí polymery. Po podobném procesu izolace, purifikace a zakoncentrování těchto polypeptidů by mohl následovat třetí experiment stejného druhu. Takovým postupem by pochopitelně mohly vzniknout polysacharidy, lipidy, polynukleotidy a případně až protobuňky. Existuje naděje, že je jenom otázkou času, kdy se použitím vhodné prebiotické simulační techniky a správných experimentálních podmínek podaří vytvořit živou hmotu. Obecně se soudí, že by takový výsledek značně podpořil představu přirozeného vzniku života na této planetě. V této kapitole uvedeme přehled vybraných modelových pokusů, které směřovaly k přípravě monomerů, a jejich výsledky.

Tabulka 3-1 ukazuje, že na současnou Zemi působí poměrně velké množství různých druhů energie, jejichž vydatnost je uvedena jako průměrná hodnota energie vztažená na celý zemský povrch. Tabulka nám poslouží jako vodítko při hledání energetických zdrojů, které byly k dispozici na dávné Zemi. V diskutovaných experimentech bude popsáno pět zdrojů energie: elektrický výboj, teplo, ultrafialové záření, tlakové vlny a sloučeniny s vysokým obsahem energie. V řadě obsáhlých přehledných prací o

prebiotických experimentech³ mohou pak čtenáři nalézt další podrobnosti.

Přehled prebiotických modelových experimentů

Pokusy s elektrickým výbojem

V prosinci 1952 se Stanley Miller z Chicagské university poprvé pokusil experimentálně ověřit Oparin-Haldaneovu hypotézu abiogeneze.⁴ Miller, který tehdy po absolvování vysoké školy pracoval v laboratoři laureáta Nobelovy ceny Harolda Ureye, vypracoval metodu simulace tvorby monomerů na prebiotické Zemi. Modelová atmosféra obsahovala metan, amoniak, vodík a vodní páru.

Aparatura z varného skla, kterou Miller použil při svém experimentu (obr.3-1), se skládala z malé varné baňky naplněné vodou, komory s wolframovými elektrodami, mezi nimiž docházelo k jiskrovému výboji, chladiče a sifonu s vodou, který sloužil ke shromažďování produktů. Ačkoliv se nepředpokládá, že na tehdejší Zemi bylo vroucí moře, var zajišťoval v Millerově aparatuře cirkulaci plynů a jejich průchod jiskrovým výbojem.

Z většiny ostatních hledisek však Millerova aparatura simulovala děje probíhající na prebiotické Zemi. Výboj nahrazoval působení deště, kterým se do oceánu dostávaly netěkavé sloučeniny utvořené v atmosféře. Sifon s vodou (a také varná baňka) představovaly moře, tůně a jezera, v nichž se shromažďovaly syntetizované sloučeniny.

V roce 1974 referoval Miller o "první laboratorní syntéze organických sloučenin za prebiotických podmínek."⁵ Z jeho vzpomínek se dozvídáme něco o metodách, které použil ve svých modelových prebiotických experimentech. Při popisování svého druhého pokusu s touto aparaturou uvádí:

Po asi týdenní práci bylo vše připraveno; aparaturu jsem naplnil stejnou směsí plynů a zažehl jsem jiskrový výboj, zatímco 500 ml baňku jsem zahříval jen málo... Po dvou dnech jsem se rozhodl zkontrolovat vzniklé produkty. Tentokrát nebyly patrné žádné uhlovodíky, ale roztok byl bledě žlutý. Zahustil jsem ho a provedl jsem papírovou chromatografii. Po aplikaci ninhydrinu jsem tentokrát našel fialovou skvrnu, která se pohybovala stejně jako nejjednodušší aminokyselina - glycin.⁶

Z jeho počátečních dramatických experimentů z konce roku 1952 dále vybíráme:

Opět jsem sestavil aparaturu, ale tentokrát jsem udržoval var bouřlivější... Ráno, když jsem se podíval na aparaturu, byl

roztok zřetelně růžový... Okamžitě mě napadlo - porfyriny... běžel jsem k Ureymu a přivedl jsem ho, abych mu ukázal vzniklé zabarvení. Díval se na ně se stejně mocným vzrušením jako já.

Koncem týdne jsem odebral roztok a po drobné úpravě jsem provedl dvourozměrnou papírovou chromatografii... Po aplikaci ninhydrinu se tentokrát objevilo sedm fialových skvrn. Tři z detegovaných aminokyselin byly dosti koncentrované a podle polohy skvrn jsem je identifikoval jako glycin, α -alanin a β -alanin.⁷

Od těchto prvních průkopnických dní v historii simulací prebiotických dějů byly experimenty s elektrickým výbojem mnohokrát opakovány s atmosférou rozmanitého složení, v níž byly použity následující plyny: metan, etan, amoniak, dusík, vodní pára, vodík, oxid uhelnatý, oxid uhličitý a sirovodík. Ve většině těchto experimentů byla použita, i přes množství modifikací, v podstatě stejná technika, jakou používal Miller. Pokud byl z reakční směsi vyloučen kyslík, vznikaly aminokyseliny a jiné organické sloučeniny.

V roce 1974 publikoval Miller zprávu o aminokyselinách, které získal pomocí elektrického výboje (viz tabulka 3-2). Jiní autoři uvádí i vznik asparaginu,⁹ lysinu¹⁰ a fenylalaninu,¹¹ Miller jim však oponuje.¹²

Mezi produkty pokusů s elektrickým výbojem bylo s jistotou identifikováno deset z dvaceti aminokyselin, nacházejících se v bílkovinách (tzv. proteinogenních aminokyselin) a také asi třicet neproteinogenních aminokyselin. Uváděn byl i terc. leucin a N-ethylalanin, ale vznik těchto sloučenin nebyl dosud s určitostí potvrzen. Pokud obsahovala výchozí atmosféra více než stopové množství amoniaku, vznikaly kyseliny iminodiectová a iminoacetopropionová. V případě, že byl do směsi plynů přidán sirovodík, vznikl methionin.

V roce 1963 byla ve směsi metanu, amoniaku, vodní páry a vodíku, ozářené svazkem elektronů, nalezena heterocyklická báze adenin.¹³ V roce 1983 C. Ponnamperuma uvedl, že v jediném experimentu napodobujícím prebiotickou atmosféru vzniklo všech pět bází nacházejících se v DNA a RNA.*

Millerův experiment navíc prokázal tvorbu formaldehydu a "snad" i některých cukrů.¹⁴ Ponnamperumovy experimenty prokázaly tvorbu ribózy a deoxyribózy při průchodu elektronů směsí metanu, amoniaku a vody.¹⁵ Tabulka 3-3 ukazuje relativní zastoupení různých organických sloučenin vytvořených při použití elektrického výboje. Povšimněme si, že bylo syntetizováno mnohem více aminokyselin než jiných biologicky důležitých molekul, což odráží relativní snadnost jejich tvorby ve srovnání s tvorbou heterocyklických bází, cukrů atd.

Nyní, když vědci vyhodnotili množství odlišných experimentů, je obecně uznáváno, že jiskrový výboj je nejúčinnějším zdrojem energie pro tvorbu HCN a aminokyselin; původně však byl pro tyto pokusy vybrán pro své snadné použití. Doposud získané výsledky naznačují, že jiskrový výboj by nebyl na dávné Zemi dostatečně účinným zdrojem energie pro syntézu pyrimidinů a aldehydů (zejména cukrů).

* Uveřejněno na 186. Národní konferenci Americké chemické společnosti (186th National Meeting of the American Chemical Society), 29. srpna 1983 ve Washingtonu, D.C. Viz *Chem.Eng.News*, 5. září 1983, str.4.

Pokusy využívající tepelnou energii

Množství tepelné energie produkované v současnosti sopečnou činností je přibližně o řád nižší, než množství energie produkované všemi druhy elektrických výbojů dohromady (tab. 3-1), je však zhruba srovnatelné s energií blesků. V důsledku toho používali mnozí badatelé, z nichž nejznámější je Sidney Fox, laboratorní techniku založenou na simulaci "uvolňování sopečných plynů ze štěrbin a průduchů ve žhavých vyvřelých horninách".¹⁶ Tyto experimenty jsou známé jako syntéza za tepla nebo pyrosyntéza.

Při těchto pokusech je používána modifikovaná Millerova aparatura. Základním rozdílem je pícka, nahrazující elektrody (obr.3-2). Různé plyny tvořící "prebiotickou atmosféru" procházejí pevným silikagelem, oxidem hlinitým nebo křemenným pískem umístěným v této pícce, vytápěné na 900 - 1100°C. Plyny zůstávají v horké zóně obvykle jen zlomek vteřiny a jsou pak rychle ochlazeny. Produkty se shromažďují v sifonu odkud pak přetékaají do varné baňky. Tabulka 3-4 ukazuje výsledky zahřívání metanu, amoniaku a vody na 950°C s křemenným pískem jako katalyzátorem. Povšimněte si, že, jak uvedli v roce 1964 Harada a Fox,¹⁷ hlavními produkty tohoto experimentu bylo dvanáct proteinogenních aminokyselin. Tito vědci přičítali vznik velkého množství těchto aminokyselin neobjasněnému vlivu tepla jako zdroje energie. "Podle těchto výsledků [syntézy za tepla] se při použití tepelné energie zastoupení nepřírozených aminokyselin snižuje a zastoupení přirozených aminokyselin zvyšuje."¹⁸ Mimoto byly touto metodou získány i čtyři další aminokyseliny, nacházející se v bílkovinách: lysin, tryptofan, histidin a asparagin. Pokusy o přípravu aminokyselin obsahujících síru, methioninu a cysteinu, přidáním sirovodíku do výchozí směsi, byly zatím neúspěšné.

Publikované výsledky syntézy aminokyselin za tepla v modelové prebiotické atmosféře však byly vzápětí napadeny. Lawles a Boynton¹⁹ opakovali experimentální postup, který popsali Harada a Fox, ale produkty identifikovali s použitím podstatně

účinnějších metod. Jak vyplývá z tabulky 3-5, s jistotou bylo identifikováno jen šest aminokyselin, z nichž jen glycin, alanin a kyselina asparagová patřily k proteinogenním aminokyselinám. Je důležité, že Fox sám nyní shledává nízkou teplotu (tj. < 120°C) "nejpříjemnější"²⁰ pro získání aminokyselin.

Jednou z důležitých variací syntézy za tepla je Fischer-Tropschova metoda.²¹ Při typické syntéze procházejí oxid uhelnatý, vodík a amoniak trubici z varného skla naplněnou katalyzátorem na bázi kovu nebo hlíny. Při zahřátí na 500 - 700°C na dobu asi 1,2 minuty, což je doba, po kterou jsou plyny v trubici, dojde k reakci za vzniku různých aminokyselin. Obecná Fischer-Tropschova syntéza se využívá průmyslově k výrobě uhlovodíků z oxidu uhelnatého a vodíku.

Jinou modifikací je syntéza ve statickém uspořádání ("no-flow"), která spočívá v ohřevu plynů ve varné nádobě na 200 - 1000°C na 15 - 16 min, následovaném nepřerušovaným zahříváním na nižší teplotu (50 - 100°C, 15 - 183 h).

Fischer-Tropschova syntéza poskytuje s jistotou* tyto proteinogenní aminokyseliny: glycin, alanin, kyselinu asparagovou a glutamovou, tyrosin, lysin, histidin a arginin.

* Neexistuje obecně přijatelné kritérium pro posouzení termínu "s jistotou ověřený", což se týká zejména posuzování prací publikovaných do roku 1970. V tomto období byla k "identifikaci" určité sloučeniny často použita jediná analytická metoda, např. papírová chromatografie. Všeobecně uznávanou, vhodnou a spolehlivou metodou identifikace aminokyselin se díky nejnovějším pokrokům ve vývoji metodik stává plynová chromatografie v kombinaci s hmotovou spektrometrií. Spolehlivý je také tradiční přístup, tedy určování bodu tání aminokyselin nebo směsného bodu tání vhodného derivátu. Většina experimentů však pro tuto analýzu neposkytuje dostatek materiálu

Pokusy s ultrafialovým zářením

Jak již bylo uvedeno, je sluneční ultrafialové záření považováno za hlavní zdroj energie na prebiotické Zemi (viz tab. 3-1). Na základě toho využívali někteří badatelé ultrafialové záření ve svých modelových experimentech. Avšak většina z předpokládaných složek prebiotické atmosféry (CH₄, CO, N₂, CO₂, H₂S, NH₃, H₂O, H₂) absorbuje sluneční světlo téměř výlučně při vlnových délkách pod 200 nm. Jen malá část (0,015 %)²² energie slunečního záření je tvořena zářením tak krátké vlnové délky.²³ Uvedené složky atmosféry tak absorbují pouze nepatrné množství sluneční energie a fotochemická reakce probíhá jen nízkou rychlostí. Nejedná se však o závažné

omezení, protože během mnoha milionů let by se projevil kumulativní účinek tohoto malého množství vhodné energie.

V laboratorních modelových pokusech jsou jednoduché "prebiotické" plyny vystaveny krátkovlnnému ultrafialovému záření (< 200 nm), které pochází z rezonančních čar zdroje o vysoké intenzitě emise. Používaná aparatura je podobná Millerově aparatuře s elektrickým výbojem. Hlavní rozdíl spočívá v nahrazení elektrod zdrojem ultrafialového záření (obr. 3-3). Tab. 3-6 ukazuje pozoruhodné výsledky získané ve třech takových experimentech.

Ponnamperuma prokázal, že kromě uvedených aminokyselin vznikají během ozařování ultrafialovými paprsky i ribóza a deoxyribóza.²⁷

Ultrafialové záření bylo nejvydatnějším zdrojem energie na prebiotické Zemi (tab. 3-1). Při modelových experimentech jsou však výtěžky aminokyselin obvykle malé. Zpravidla se to vysvětluje skutečností, že ultrafialové záření není dobrým zdrojem pro tvorbu HCN, který je hlavním intermediátem ve Streckerově syntéze aminokyselin (viz dále). Ultrafialové záření je však snad nejlepším zdrojem pro tvorbu aldehydů, které jsou podle Streckerova mechanismu také nezbytnými meziprodukty aminokyselin. Tyto výsledky podporují velmi rozšířené přesvědčení, že za vytvoření chemických sloučenin - nezbytných biologických prekurzorů - v dostatečných koncentracích nesou zodpovědnost rozmanité zdroje energie.

Fotosenzibilizace

Fotosenzibilizace je prostředkem k překonání nedostatku vhodného ultrafialového záření v dávné atmosféře. Touto vynalézavou technikou lze zprostředkovat předání energie dlouhovlnnější části ultrafialového záření (200 - 300 nm), na které je sluneční světlo bohaté, plynům prebiotické atmosféry a přinutit je tak, aby vstoupily do fotochemické reakce. Vědci používají fotosenzibilizační činidla, jako např. páry rtuti, formaldehyd nebo plynný sirovodík, která mohou absorbovat energii a předat ji následnou interakcí plynům prebiotické atmosféry, což umožňuje využít k reakcím větší části spektra. Vybrané příklady tohoto experimentálního postupu jsou shrnuty v tabulce 3-7.

Pokusy využívající tlakové vlny

Podle scénáře chemické evoluce tlakové vlny procházející atmosférou, které mohly vznikat při bouřkách nebo při průletu meteoritů, tvořily malý ale výrazný podíl na celkové energii působící na prebiotickou Zemi. Výzkumy prokázaly, že tlakové vlny jsou velmi účinné při syntéze aminokyselin z jednoduchých

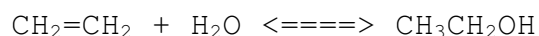
plynů (metan, etan, amoniak a vodní pára). To znamená, že i když byl celkový energetický příspěvek tlakových vln zřejmě malý (tab. 3-1), mohly být hlavním zdrojem energie pro syntézu těchto monomerů na tehdejší Zemi.³²

Syntézy napodobující vliv tlakové vlny jsou založeny na působení vysoké teploty (2 000 - 6 000°K) na plyny po zlomek vteřiny a jejich následném rychlém ochlazení.³³ Touto metodou byly získány aminokyseliny glycin, alanin, valin a leucin.

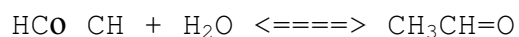
Sloučeniny s vysokým obsahem energie

Většina z aminokyselin, vyskytujících se v bílkovinách, byla identifikována při pokusech s vodnými roztoky, které nahrazovaly primordiální oceán. Ačkoliv je při mnohých z těchto experimentů používáno teplo nebo ultrafialové záření, většina z nich vlastně nepožaduje vnější zdroj energie. Místo něho probíhají reakce spontánně pomocí vysokoenergetických sloučenin, jako jsou kyselina kyanovodíková a kyanidy, kyanoacetylen, formaldehyd, hydroxylamin nebo hydrazin. Jejich použití v experimentech napodobujících tehdejší oceán je ospravedlněno tím, že tyto látky byly nalezeny mezi produkty modelových experimentů napodobujících tehdejší atmosféru.

Mnohé z těchto vysokoenergetických sloučenin obsahovaly atomy uhlíku s dvojnou nebo trojnou vazbou. K těmto látkám je možné přiřadit etylen ($>C=C<$), acetylen ($-C\equiv C-$), aldehydy ($RCH=O$), ketony ($R_1R_2C=O$), karboxylové kyseliny ($RCOOH$) a nitrily ($RC\equiv N$), které by mohly vstupovat do reakcí přímo pomocí energie uvolněné z jejich dvojných a trojných vazeb. Obecně řečeno, mohly by vázat jiné chemické sloučeniny do svých struktur pomocí adice na tyto dvojnou nebo trojnou vazbu. Například etylen a acetylen reagují s vodou následovně:

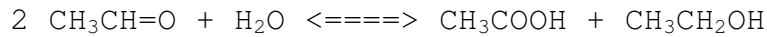


etylen etanol



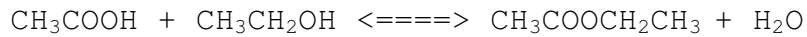
acetylen acetaldehyd

Adice se obvykle považují za reakce, které vedly k vytvoření širokého sortimentu organických látek v dávném oceánu. Teoreticky byly možné další interakce mezi vzniklými sloučeninami za vzniku stále složitějších chemických struktur. Např. dvě molekuly acetaldehydu mohou reagovat ve vodném roztoku za vzniku kyseliny octové a etylalkoholu podle rovnice:



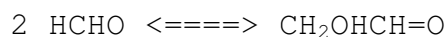
acetaldehyd kyselina octová etanol

Tyto produkty pak mohou dále reagovat za vzniku etylacetátu:



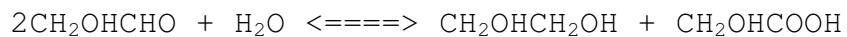
kyselina octová etanol etylacetát

Na adiční reakce lze pohlížet jako na rozhodující při vzniku aminokyselin. Dvě molekuly formaldehydu nejprve reagují za vzniku glykolaldehydu:



formaldehyd glykolaldehyd

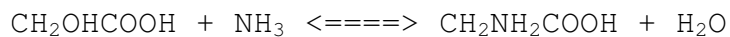
Dvě molekuly glykolaldehydu pak mohou reagovat s vodou za vzniku glykolu a kyseliny glykolové:



glykolaldehyd glykol kyselina

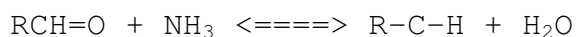
glykolová

Nakonec může glykolová kyselina s amoniakem vytvořit glycin:



kyselina glykolová glycin

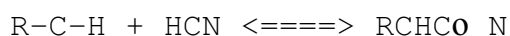
Jako hlavní syntetická cesta tvorby aminokyselin v prebiotickém oceánu byla také navržena dobře známá Streckerova syntéza. V této syntéze vzniká adicí amoniaku na karboxylovou skupinu aldehydu imin.



N H

aldehyd imin

Pak se adicí kyanovodíku na imin tvoří α -aminonitril.

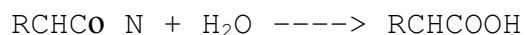


1 1 1

N H NH₂

imin α -aminonitril

Nakonec se syntéza uzavírá ireverzibilní adicí vody na nitril za vzniku α -aminokyseliny.



1 1

NH₂ NH₂

α -aminokyselina

Takové je schéma obecné syntézy, kde druh vzniklé aminokyseliny závisí na druhu výchozího aldehydu. Např. při použití formaldehydu, acetaldehydu nebo glykolaldehydu vznikají aminokyseliny glycin, alanin, resp. serin. Miller a Orgel prokázali, že mnohé z 20 aminokyselin nacházejících se v proteinech mohly být vytvořeny Streckerovou syntézou.³⁴

Příklady úspěšných laboratorních syntéz jsou uvedeny v tab. 3-8. Povšimněme si, že experiment provedený Matthewsem a Moserem poskytl ne méně než 12 proteinogenních aminokyselin.

Všech pět nukleových bází bylo syntetizováno v roztocích, které svým složením odpovídaly pravděpodobnému složení moří a jiných vodních zdrojů, nacházejících se zřejmě na prebiotické Zemi. Adenin byl získán, při zahřívání vodného roztoku kyanidu po několik dní na 90°C.⁴⁶ Adenin a guanin byly syntetizovány působením UV na zředěné roztoky kyseliny kyanovodíkové.⁴⁷

Z pyrimidinů je cytosin produkován zahříváním vodného kyanoacetyleny s kyanátem na 100°C po dobu jednoho dne, nebo sedmidenním stáním při pokojové teplotě.⁴⁸ Uracil se tvoří při zahřívání roztoku močoviny, kyseliny jablečné a polyfosforečné na 130°C po dobu jedné hodiny.⁴⁹ nebo zahříváním vodného roztoku akrylonitrilu s močovinou na 135°C.⁵⁰ Tato syntéza uracilu byla úspěšná, i když byl akrylonitril nahrazen β -aminopropionitrilem nebo β -aminopropionamidem. Kromě toho bylo zjištěno, že thymin se může tvořit při třídním zahřívání uracilu s formaldehydem a hydrazinem ve vodném roztoku amoniaku.⁵¹

Z uvedených experimentálních údajů by se mohlo zdát, že tvorba adeninu, eventuálně dalších heterocyklických bází, je poměrně snadná. Vzhledem k tomu, že adenin se tvoří nejnějněji a je nejstabilnější, očekávali bychom, že bude hrát důležitou úlohu v živých systémech. A skutečně tomu tak je. Molekuly

obsahující adenin, např. DNA, RNA, ATP, ADP, NAD, NADP, FAD a koenzym A, jsou jedny z biologicky nejdůležitějších molekul živých systémů.

Vysokoenergetické sloučeniny byly také prostředkem při syntéze cukrů. Již v roce 1861 bylo známo, že cukry mohou vznikat z formaldehydu ve zředěném vodném alkalickém roztoku.⁵² Od té doby byly touto metodou získány např. fruktóza, celobióza, xylulóza, galaktóza, manóza, arabinóza, ribóza, xylóza, lyxóza a ribulóza a mnohé další cukry. Byla však použita i pro přípravu dalších organických sloučenin jako glykolaldehydu, glycerinaldehydu, dihydroxyacetonu a řady tetróz.⁵³ Deoxyribóza byla produkována reakcí formaldehydu a acetaldehydu v roztoku za teploty menší nebo rovné 50°C. V těchto roztocích byl jako zásada použit oxid vápenatý nebo amoniak.⁵⁴ Ribóza byla také připravena varem formaldehydového roztoku s jílovým minerálem kaolinitem (hydratovaný hlinitokřemičitan) pod zpětným chladičem.⁵⁵

Souhrn

Jak vyplývá z tohoto přehledu, bylo při prebiotických experimentech získáno mnoho biomonomerů. Tyto působivé úspěchy zahrnují syntézu devatenácti z dvaceti proteinogenních aminokyselin, všech pěti heterocyklických bází tvořících nukleové kyseliny a několika hlavních cukrů včetně glukózy, ribózy a deoxyribózy. Byly připraveny i jiné pravděpodobné složky prebiotické polévky. Uvedené pokusy představují velmi důležitou část experimentální práce, podporující chemickou evoluční teorii. Tyto laboratorní výsledky jsou zdrojem optimistického pohledu na chemickou evoluci a mnoho vědců je proto skutečně přesvědčeno, že prebiotický oceán byl plný organických sloučenin. Např. John Keosian řekl:

Na základě všech současných experimentálních důkazů můžeme považovat za jisté, že v prebiologických dobách existovaly velmi rozmanité organické sloučeniny, z nichž je možné začít rekonstruovat vznik prvních živých organismů.⁵⁶

V podobném tónu poznamenal Richard Lemmon:

Výzkum objasnil, že tyto sloučeniny by se akumulovaly na prebiotické Zemi a že jejich vznik je nevyhnutelným výsledkem působení různých zdrojů energie, přítomných v tehdejší zemské atmosféře.⁵⁷

Literatura

1. H.H. Pattee, 1961. *Biophys.J.***1**, 683; A.Rich, 1970. V *Origins of Life: Proceedings of the First Conference*, ed. Lynn Margulis. (Princeton, New Jersey, 21.-24.května 1967.) New York: Gordon a Breach, Science Publishers, Inc; Dean H. Kenyon a Gary Steinman, 1969. *Biochemical Predestination*. New York: McGraw-Hill, str.36.
2. Kenyon a Steinman, *Biochemical Predestination*, str.284.
3. R.M. Lemmon, 1970. *Chem.Rev.* **70**, 95; C. Ponnampereuma, 1971. *Quart.Rev.Biophys.* **4**, 77; E.Stephen-Sherwood a J. Oro, 1973. *Space Life Sci.* **4**, 5; N.H. Horowitz a J.S. Hubbard, 1974. *Ann.Rev.Genetics* **8**, 393; M.A. Bodin, 1978. *J.Brit.Interplanetary Soc.* **31**, 129-139, 140-146; M. Calvin, 1969. *Chemical Evolution*. New York: Oxford U. Press; Kenyon a Steinman, *Biochemical Predestination*; S.W. Fox a K. Dose, 1972. *Molecular Evolution and the Origin of Life*. San Francisco: W.H. Freeman; J. Brooks a G. Shaw, 1973. *Origin and Development of Living Systems*. New York: Academic Press; S.L. Miller a L.E. Orgel, 1974. *The Origins of Life on the Earth*. Englewood Cliffs, New Jersey: Prentice-Hall; K.Dose, S.W. Fox, G.A. Deborin a T.E. Pavlovskaya, ed., 1974; *The Origin of Life and Evolutionary Biochemistry*. New York: Plenum Press; Lawrence S. Dillon, 1978. *The Genetic Mechanism and the Origin of Life*. New York: Plenum Press.
4. Stanley L. Miller, 1953. *Science* **117**, 528.
5. Stanley L. Miller, 1974. *The Heritage of Copernicus*, ed. J.Neyman. Cambridge: MIT Press, str. 228.
6. Tamtéž, str. 235
7. Tamtéž, str. 235, 236.
8. Miller a Orgel, *The Origins of Life on the Earth*, str.84. Viz též: D. Ring, Y. Wolman, N.Friedmann a S. Miller, 1972. *Proc.Nat.Acad.Sci.USA* **69**, 765; Y. Wolman, W.J. Haverland a S.L. Miller, 1972. *Proc.Nat.Acad.Sci.USA* **69**, 809; S. Miller, 1955. *J.Am.Chem.Soc.* **77**, 2351.
9. J. Oro, 1963. *Nature* **197**, 862.
10. T.E. Pavlovskaya a A.G. Pasynskii, 1959. V *The Origin of Life on the Earth*, ed. A.I. Oparin et al., London: Pergamon, 151.

11. C.Ponnamperuma a J.Flores, 1966. *Amer.Chem.Soc.Abstacts*, Meeting, 11.-16.září.
12. Miller, *The Heritage of Copernicus*, str.239.
13. C. Ponnamperuma, R.M. Lemmon, R. Mariner a M. Calvin, 1963. *Proc.Nat.Acad.Sci.USA* **49**, 737; C. Ponnamperuma, 1965. V *The Origins of Prebiological Systems and their Molecular Matrices*, ed.S.W. Fox. New York: Academic Press, str.221.
14. S.L. Miller a H.C. Urey, 1959. *Science* **130**, 245.
15. Ponnamperuma, v *The Origins of Prebiological Systems and their Molecular Matrices*, str. 221.
16. Fox a Dose, *Molecular Evolution and the Origin of Life*, str.84.
17. K. Harada a S.W. Fox, 1964 *Nature* **201**, 335; též K. Harada a S.W. Fox v *The Origins of Prebiological Systems and their Molecular Matrices*, str.187.
18. Harada a Fox v *The Origins of Prebiological Systems and their Molecular Matrices*, str.192.
19. J.G. Lawless a C.D. Boynton, 1973. *Nature* **243**, 450.
20. S.W. Fox, 1976. *J.Mol.Evol.***8**, 30.
21. D. Yoshino, R. Hayatsu a E. Anders, 1971. *Geochim.Cosmochim. Acta.***35**, 927; R. Hayatsu, M.H. Studier a E. Anders, 1971. *Geochim.Cosmochim.Acta.* **35**, 939; E. Anders, R. Hayatsu a M.H. Studier, 1973. *Science* **182**, 781.
22. S. Miller, H. Urey a J. Oro, 1976. *J.Mol.Evol.* **9**, 59.
23. N.H. Horowitz, F.D. Drake, S.L. Miller, L.E. Orgel a C. Sagan, 1970. V *Biology and the Future of Man*, ed. P. Handler. New York: Oxford U. Press, str.163.
24. W. Groth a H.v. Weysenhoff, 1957. *Naturwissenschaften* **44**, 520; 1960. *Planet.Space Sci.* **2**, 79.
25. A.N. Terenin v *The Origin of Life on the Earth*, str.136.
26. N. Dodonova a A.L. Sidorova, 1961. *Biophysics* **6**, 14.
27. Ponnamperuma v *The Origins of Prebiological Systems and their Molecular Matrices*, str.221.

28. W. Groth a H.v.Weyssenhoff, 1960. *Planet.Space Sci.***2**, 79.
29. C. Sagan a B.N. Khare, 1971. *Science* **173**, 417; B.N. Khare a C. Sagan, 1971. *Nature* **232**, 577.
30. B.N. Khare a C. Sagan, 1973. V *Molecules in the Galactic Environment*, ed. M.A. Gordon a L.E. Snyder. New York: John Wiley, str.399.
31. K. Hong, J. Hong a R. Becker, 1974. *Science* **184**, 984.
32. A. Bar-Nun, N. Bar-Nun, S.H. Bauer a C. Sagan, 1970. *Science* **168**, 470; Sagan a Khare, *Science* 417.
33. A. Bar-Nun a M.E. Teuber, 1972. *Space Life Sciences* **3**, 254; A. Bar-Nun a A. Shaviv, 1975. *Icarus* **24**, 197.
34. Miller a Orgel, *The Origin of Life on the Earth*, str.83-117.
35. J. Oro a S.S. Kamat, 1961. *Nature* **190**, 442.
36. C.U. Lowe, M.W. Rees a R. Markham, 1963. *Nature* **199**, 219.
37. N. Friedmann, W.J. Haverland a Stanley Miller, 1971. V *Chemical Evolution and the Origin of Life*, ed. R. Buvet a C. Ponnampereuma. Amsterdam: North-Holland, str.123.
38. P.H. Abelson, 1966. *Proc.Nat.Acad.Sci. USA* **55**, 1365.
39. C.N. Matthews a R.E. Moser, 1967. *Nature* **215**, 1230.
40. Pavlovskaya a Pasynskii v *The Origin of Life on the Earth*, str.151.
41. J.E. Van Trump a S.L. Miller, 1972. *Science* **178**, 859.
42. R.A. Sanchez, J.P. Ferris a L.E.Orgel, 1966. *Science* **154**, 784.
43. Friedman, Haveland a Miller v *Chemical Evolution and the Origin of Life*, str.123.
44. S.W. Fox a C.R. Windsor, 1970. *Science* **170**, 984.
45. Y. Wolman, S.L. Miller, J. Ibanez a J. Oro, 1971. *Science* **174**, 1039.
46. J. Oro a A.P. Kimball, 1961. *Arch.Biochem.Biophys.* **94**, 217; Lowe, Rees a Markham, *Nature*, str.219.

47. Ponnampereuma v *The Origins of Prebiological Systems and of their Molecular Matrices*, str.221.
48. Sanchez, Ferris a Orgel, *Science*, 784.
49. S.W. Fox a K. Harada, 1961. *Science* **133**, 1923.
50. J. Oro v *The Origins of Prebiological Systems and of their Molecular Matrices*, str.137.
51. E. Stephen-Sherwood, J. Oro a A.P. Kimball, 1971. *Science* **173**, 446.
52. A. Butlerov, 1861. *Annalen* **120**, 296.
53. Kenyon a Steinman, *Biochemical Predestination*, str.146.
54. J. Oro a A.C. Cox, 1962. *Federation Proc.* **21**, 8; J. Oro v *The Origins of Prebiological Systems and of their Molecular Matrices*, str.137.
55. N.W. Gabel a C. Ponnampereuma, 1967. *Nature* **216**, 453.
56. John Keosian, 1964. *The Origin of Life*. New York: Reinhold Publishing Co., str.88.
57. Lemmon, *Chem.Rev.*, 95.
-

KAPITOLA 4

Mýtus prebiotické polévky

Jak vyplývá z kapitoly 3 byl scénář počátečního stadia chemické evoluce podpořen velkým množstvím experimentálních výsledků. Závěr, který je obvykle na základě těchto experimentů formulován, však může být konfrontován s věrohodným alternativním scénářem, jenž uvádí pádné důvody proti teorii chemické evoluce.

Následující kapitola je zaměřena převážně kriticky. Přesto však je náš záměr pozitivní. Často je velmi užitečné, když je vzorek údajného zlata podroben očištnému ohni. Je správné kontrolovat uváděnou ryzost a ničit nečistoty, aby kov mohl zářit ještě jasněji. Podobně má každá správná teorie odolat žáru kritiky a být o to lepší. V tomto duchu posoudíme několik druhů rozporů, které přetrvávají v teorii chemické evoluce vzniku života. Naším úmyslem není jen odkrýt trhliny v současných teoriích o vzniku života, ale také ukázat cestu k lepší teorii, tj. takové, která lépe odpovídá faktům. Kritika poukazuje především na to, že v atmosféře a v oceánu převažovaly procesy vedoucí ke snížení koncentrací nezbytných látek na tak nízkou hodnotu, že by rychlosti jednotlivých reakcí chemické evoluce byly zanedbatelné. Zředování bylo výsledkem rozkladu organických sloučenin, popř. jejich vedlejších reakcí, omezujících využitelnost důležitých chemických látek pro potřebné interakce. V této kapitole probereme nejprve různé typy procesů, které vedou k tomuto zředování. Jako příklad pak uvedeme odhad, jak asi zředěné byly esenciální aminokyseliny v prebiotické polévce. Nakonec zvážíme i rozličné navržené mechanismy zahušťování chemické polévky.

Přehled zředovacích procesů

Podle původní Oparinovy-Haldaneovy hypotézy, z níž vznikly moderní teorie hledající počátek života v prebiotické polévce, zaplavovalo prebiotickou Zemi ultrafialové sluneční záření. Společně s jinými zdroji (např. blesk, tlaková vlna, příliv, sopečné teplo atd.) mělo dodávat dostatek energie k průběhu reakcí.

Jednoduché molekuly plynů prebiotické atmosféry tak mohly reagovat za vzniku meziproductů a biomonomerů prostřednictvím přímé absorpce energie. Podle této teorie představuje energie prostředek k vytvoření složitější organizace molekul.

Ale samotná energie nestačí ke zvýšení složitosti nebo organizace systému. Slon v porcelánu uvolňuje velké množství energie, ale působí většinou destruktivně. Lze namítnout, že celkový efekt různých druhů energie na prebiotické Zemi se podobal příslovečnému slonu v porcelánu. Tento převážně destruktivní účinek uvolněné sluneční energie tvoří první z několika problematických oblastí chemické teorie vzniku života z prebiotické polévky.

Destrukce složek atmosféry ultrafialovým slunečním zářením

Koncentrace některých důležitých složek prvotní atmosféry byla patrně snižována fotodisociací vyvolanou krátkovlnným ultrafialovým zářením (< 200 nm). Atmosférický metan by polymeroval a dostával se do oceánu v podobě podstatně komplikovanějších uhlovodíků,¹ které by na povrchu Země patrně vytvořily olejovou skvrnu² hlubokou 1-10 m. Pokud k tomu došlo, zůstala pravděpodobně v atmosféře velmi nízká koncentrace metanu. Asi 99 % atmosférického formaldehydu by bylo fotolýzou rychle odbouráno na oxid uhelnatý a vodík.³ Avšak koncentrace oxidu uhelnatého v atmosféře by byla malá, protože by byl v alkalickém oceánu rychle a ireversibilně přeměňován na mravenčan.⁴ Rychle by proběhla i fotolýza amoniaku na dusík a vodík, čímž by se snížila jeho koncentrace v atmosféře na tak nízkou hodnotu, že by nemohl sehrát žádnou důležitou úlohu v chemické evoluci.⁵ Kdyby veškerý dusík současné atmosféry existoval v dávné atmosféře ve formě amoniaku, byl by odbourán ultrafialovým zářením během 30 000 let.*⁶ Pokud by poměrné zastoupení amoniaku ve směsi plynů při povrchu Země bylo řádově 10^{-5} , jak určil Sagan,⁷ byl by poločas rozkladu amoniaku v atmosféře pouze 10 let.⁸ Bylo by také obtížné udržet podstatnou koncentraci sirovodíku v atmosféře. Fotolýza sirovodíku na volnou síru a vodík by netrvala déle než 10 000 let.⁹ Koncentrace sirovodíku v oceánu by byla dále zmenšována tvorbou sulfidů kovů, které jsou dobře známé svou nízkou rozpustností.¹⁰ Tytéž fotodisociační procesy by působily rozklad vody za vzniku vodíku a kyslíku. Některé současné studie naznačují, že právě prostřednictvím fotodisociace vodní páry ultrafialovým světlem *dosáhla* koncentrace atmosférického kyslíku na dávné Zemi podstatné části její dnešní hodnoty.¹¹ Výsledky experimentů s ultrafialovým světlem provedené výzkumnou laboratoří amerického námořnictva (Naval Research Laboratory) na palubě Apolla 16 ukázaly, že kyslík nemusí primárně pocházet z fotosyntézy, jak se obecně soudí, ale že může vznikat účinkem slunečního záření na zemskou vodu.¹³ Hlavní představitel tohoto výzkumu, G.R. Carruthers, však

prohlásil, že tato zpráva byla "nepřesná" a že procesy fotodisociace se nevyrovnají v produkci kyslíku fotosyntéze rostlin.¹³ Přesto však je Carruthers toho názoru, že fotodisociací vody mohlo v atmosféře Země vzniknout během první miliardy let až 1 % plynného kyslíku ve srovnání se současnými 21 %.

I kdyby původní hladina kyslíku dosahovala dokonce jen tisícin současné úrovně, mohlo to před 3-4 miliardami let postačovat k vytvoření účinné ozónové clony.¹⁴ Pokud tomu tak bylo, byla Země chráněna před veškerým ultrafialovým zářením o vlnové délce kratší než 300 nm. Ozónová vrstva by tak připravila atmosférické plyny o hlavní zdroj energie. Toto krátkovlnné ultrafialové záření, smrtelné pro živé organismy, je obecně považováno za nezbytné pro vznik života. Otázka existence kyslíku na dávné Zemi je sporná a velmi důležitá. Pokud byly na dávné Zemi vzhledem k přítomnosti molekulárního kyslíku silně oxidující podmínky, byla spontánní chemická evoluce nemožná.¹⁵

* Tento odhad byl po započtení vlivu rovnováhy mezi NH_4^+ a NH_3 existující v oceánu opraven na 10^5 - 10^6 let. (Viz J.P.Ferris a D.E.Nicodem v *The Origin of Life and Evolutionary Biochemistry*, 1974. Ed. K. Dose, S.W. Fox, G.A. Deborim a T.E. Pavlovskaja. New York: Plenum Press, str. 107.

Destrukce organických sloučenin různými druhy energie

Ultrafialové světlo. Metan by již ve výšce asi 30 km absorboval všechno sluneční záření vlnové délky 145 nm, i kdyby jeho koncentrace v primární atmosféře nebyla větší než je dnes.¹⁶ Teorie vzniku života obvykle připouští značnou koncentraci metanu v primární atmosféře. Proto musely syntézy, zahrnující fotolýzu metanu, probíhat ve velkých výškách.

V téže vrstvě atmosféry mohly být působením světelné energie na jednoduché plyny produkovány i aminokyseliny. Trvalo by jim však snad tři roky (podle rozcházejících se údajů o cirkulaci v atmosféře), než by se z této výšky dostaly do oceánu.¹⁷ Během tohoto zdlouhavého transportu by aminokyseliny a jiné organické sloučeniny byly vystaveny destruktivnímu ultrafialovému záření větších vlnových délek (> 200 nm).¹⁸ Tato část UV spektra je intenzivnější než jeho krátkovlnná část (< 200 nm), užívaná při syntézách. Podle jednoho odhadu by se do oceánu nedostalo více než 3 % aminokyselin produkových ve vrchní vrstvě atmosféry.¹⁹ Ultrafialové světlo by rozložilo také mnoho organických sloučenin v oceánu, protože prostupuje desítky metrů pod jeho hladinu.²⁰ Mořské proudy by vynášely na povrch i hlubinnou vodu, čímž by také došlo k vystavení jejích organických složek destruktivnímu vlivu ultrafialového záření.

Pringle vystoupil v roce 1954 jako první s námitkou proti účinnosti primordiální syntézy organických sloučenin iniciované ultrafialovým zářením.²¹ Tato představa byla pak mnohokrát kritizována a zůstává i nadále zdrojem hlavních námitek proti chemické evoluci.

Tepelný rozklad v oceánech. Organické sloučeniny podléhaly v oceánu tepelnému rozkladu. Miller a Orgel ukázali, že vzhledem k tepelné závislosti poločasu rozpadu různých organických sloučenin tvořících prebiotickou polévku by se chemická evoluce nemohla uskutečnit, pokud by oceány měly větší teplotu než asi 25°C. Nad touto teplotou by došlo k tepelnému rozkladu důležitých meziproductů.²² Obecně se soudí, že průměrná povrchová teplota na dávné Zemi byla zhruba o 20°C nižší než je dnes. Tato hodnota vyplývá z astronomické teorie, podle níž před 4 miliardami let bylo k dispozici jen asi 60% celkové sluneční energie dopadající na dnešní Zemi. Miller a Orgel ukázali, že ačkoliv teplota 0°C by zvýšila pravděpodobnost akumulace organických sloučenin v oceánu v dostatečných koncentracích, ideální teplota pro chemickou evoluci by byla -21°C. Při této teplotě (která není nepravděpodobná) by však byl oceán zamrzlý. Poločasy rozpadu organických sloučenin by se sice podstatně prodloužily, pro syntetické reakce je ovšem pevné skupenství podstatně nepříznivější než kapalné, které by existovalo pouze v rovníkových oblastech.

Za předpokladu, že prebiotická atmosféra nebyla ovlivněna "skleníkovým efektem" více než dnešní, mohly být teploty nižší zhruba o 20°C.²³ Podstatou skleníkového efektu je, že atmosferická vodní pára propouští většinu sluneční energie k zemskému povrchu, který pak vyzařuje energii zpět v oblasti větších vlnových délek, tj. v infračervené oblasti spektra. Na rozdíl od záření přicházejícího z kosmu toto záření vodní pára pohlcuje, což působí zvýšení teploty. Nižší teplota zemského povrchu by znamenala menší množství vodní páry v atmosféře, a tedy menší skleníkový efekt. Pokud tehdejší atmosféra neobsahovala větší množství látek absorbujících infračervené světlo, jako např. metan a zejména amoniak, byla by jistě průměrná teplota o více než 20°C nižší než současná, což by možná vedlo k úplnému zamrznutí oceánu.²⁴ Vzhledem ke dříve uvedeným námitkám proti představě prebiotické atmosféry bohaté na metan a amoniak je tato možnost velmi pravděpodobná.

Představa zamrzlého oceánu vycházející z astronomie není slučitelná s názorem geologie, že teplota Země byla před 3,98 miliardami let příliš vysoká, než aby se na ní mohl objevit život. Nemůžeme však přijmout ani jeden z těchto názorů, aniž známe mechanismus, který by objasnil geologicky rychlý (méně než 200 milionů let) pokles teploty. Oněch 200 milionů let plyne ze stáří prvního fosilního důkazu života, které Brooks a Shaw uvádějí jako 3,81 miliardy let.²⁵

Blesk. Obvykle se předpokládá, že intenzita elektrických jevů byla na prebiotické Zemi srovnatelná se současností. Pokud však byla tehdejší Země z důvodu nižší sluneční aktivity o 20°C chladnější, vznikalo by na ní alespoň 100krát méně bouřek než dnes.²⁶ Atmosferické elektrické bouře vznikají za podmínek, kdy dojde alespoň k odpaření vody a jejímu transportu do vyšších vrstev, což je proces spotřebovávající energii. Je nezbytné, aby teplý a vlhký vzduch byl dole a chladný a suchý vzduch nahoře. Z toho plyne, že při teplotě nejméně o 20°C nižší než dnes bude i bouřková aktivita nižší. To lze doložit skutečností, že v Arktidě, kde je k dispozici menší množství tepelné energie potřebné k odpařování vody, nebývají bouřky tak časté jako v teplejších oblastech. Díky menšímu počtu elektrických bouří by byly i blesky, představující zdroj energie, mnohem méně časté, než se obvykle soudí, nehledě na to, že jsou zpravidla považovány za minoritní zdroj energie. Elektrický výboj byl původně vybrán jako zdroj energie při laboratorních pokusech proto, že jeho použití bylo výhodné.

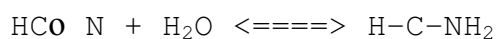
Tlakové vlny. Pokud bylo na dávné Zemi v důsledku nižší teploty podstatně méně elektrických bouří, vyplývá z toho, že se s menší frekvencí vyskytovaly i tlakové vlny vzniklé při hromobití. Tlakové vlny sice vznikaly také při průletu meteoritu atmosférou, nicméně z tabulky 3-1 vyplývá, že meteority přispívaly k celkové energii alespoň 10krát méně než elektrické výboje. Celková použitelná energie tlakových vln byla v každém případě alespoň 1000krát menší než energie ultrafialového záření. Názor, vkládající naději do tlakových vln jako hlavního zdroje energie, nepramení z jejich vydatnosti ale z jejich účinnosti. Tlakové vlny jsou považovány v produkci aminokyselin za více než milionkrát účinnější než ultrafialové záření.²⁷ Kombinací vydatnosti a účinnosti tlakových vln (faktor 1 000) se dobereme "neočekávaného závěru", že totiž mohly být velmi dobře hlavním zdrojem energie, který umožnil prebiotické syntézy na dávné Zemi.²⁸ Optimismus, týkající se případné syntézy iniciované tlakovou vlnou, by měl být zmírněn tím, čemu se v anglické literatuře říká "Concerto Effect". Tento termín znamená, že všechny zdroje energie (a chemické látky) působí ve skutečnosti společně, v součinnosti - a to jak při syntéze, tak i destrukci organických sloučenin. Jeden zdroj energie ničí to, co jiný vytvořil. Protože jsou tyto zdroje energie zcela všeobecně účinnější v destrukci než v syntéze, převažuje destrukce. Např. aminokyseliny produkované v atmosféře vlivem elektrických výbojů nebo tlakových vln, by podléhaly fotodisociaci způsobené ultrafialovým zářením o vlnové délce větší než 200 nm, o němž jsme se zmiňovali dříve. Toto je podstata hlavní námitky proti akumulaci aminokyselin v prebiotickém oceánu. "Concerto Effect" odkryl problém, který přetrvává, i když se podaří vyřešit spor kolem tepelné historie

Země, protože syntetizované organické molekuly jsou vystaveny rozkladnému působení všech druhů energie.

Hydrolyza kyanovodíku (HCN) a nitrilů (RCN)

Podle Ponnamperumy mohl být kyanovodík "nejdůležitějším intermediátem na cestě vedoucí ke vzniku života."²⁹ Je to látka umožňující podle Streckerovy syntézy produkci aminokyselin (viz kap.3). Je také považován za výchozí sloučeninu při syntéze adeninu a množství jiných biomolekul, jak ukazuje obr.4-1. Význam HCN ve scénáři chemické evoluce se dále zvyšuje díky tomu, že v atmosféře nepodléhá rychlé destrukci ultrafialovým zářením.³⁰ Předpokládá se, že kyanovodík nejprve vznikl v atmosféře působením elektrických výbojů, a pak se shromažďoval v oceánu. Hlavní potíží při reakcích HCN a jeho nitrilových derivátů však působí právě všudypřítomná molekula vody.³¹ HCN aduje vodu na svou trojnou vazbu za vzniku formamidu, který následnou hydrolyzou poskytuje kyselinu mravenčí.

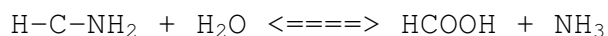
1 1



kyanovodík formamid

0

1 1



kyselina mravenčí

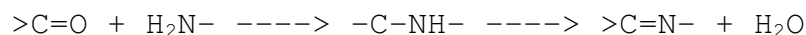
Pravděpodobně díky těmto reakcím vzniká kyselina mravenčí jako hlavní produkt při pokusech s elektrickým výbojem. Pokud je koncentrace HCN menší než 0,01 M, převažuje jeho hydrolyza. K polymeraci HCN dochází, jak uvedeme později, v koncentrovanějších roztocích. A jsme u dalšího problému: "Zdá se nepravděpodobné, že by v obrovském množství vody, jaké bylo v prebiotickém oceánu, existovala vysoká rovnovážná koncentrace HCN, protože hydrolyza na kyselinu mravenčí by při rozumné hodnotě pH a teploty trvala nanejvýš několik let."³² Průměrná koncentrace HCN zřejmě nebyla vyšší než 10^{-6} M.³³ Jinak řečeno, je velmi nepravděpodobné, že HCN sehrál nějakou významnou roli v syntéze biologicky významných molekul v prebiotickém oceánu. Tento poznatek je důležitý, neboť kyanovodík často zaujímá významné místo v novějších scénářích chemické evoluce. Také od něj odvozeným nitrilům je přisuzována důležitá úloha kondenzačních činidel při syntézách

biologicky důležitých polymerů.³⁴ Patří mezi ně např. dikyan (dinitril kyseliny šťavelové), kyanamid, dikyanamid a kyanoacetylen. O některých z nich jsme se již zmiňovali v přehledu modelových experimentů v kapitole 3. Hlavní překážkou uplatnění těchto sloučenin v syntézách je jejich silná tendence reagovat s vodou. Tato vlastnost z nich ovšem činí kandidáty na roli kondenzačních činidel. Úlohou takových látek je odstranit vodu, která vzniká jako vedlejší produkt polymerace. Např. při tvorbě dipeptidu ze dvou aminokyselin se uvolňuje jedna molekula vody. Ačkoliv je tvorba dimeru termodynamicky nevýhodná, může být rovnováha reakce posunuta ve prospěch jeho tvorby odstraněním vody, a v tom právě spočívá význam kondenzačních činidel. Vodný roztok, jakým byla i prebiotická polévka, je ale špatným místem pro to, aby se tato činidla mohla doopravdy uplatnit. Nemohou totiž rozlišovat mezi molekulami vody, které pocházejí z různých zdrojů. Obr. 4-2 ukazuje množství reakcí, které mohly probíhat v prebiotickém oceánu.

Reakce karbonylové skupiny s aminoskupinou

Reakce sloučenin obsahujících volnou aminoskupinu ($-\text{NH}_2$) se sloučeninami obsahujícími karbonylovou skupinu ($>\text{C}=\text{O}$) by byly velmi důležitým destrukčním procesem. Jejich přičiněním by docházelo k rozsáhlému snižování koncentrací důležitých organických sloučenin v primitivním oceánu. Obecně to vyjadřuje následující schéma:

1



1

OH

karbonylová skupina aminoskupina imin

Protože je produkt adice (v závorkách) často nestabilní a uvolňuje vodu, je tato reakce obvykle označována jako *dehydratačně-kondenzační* reakce.

V prebiotických modelových experimentech bylo používáno množství sloučenin (viz kapitola 3), které podle předpokladu tvořily prebiotickou polévku. Podle uvedeného obecného schématu by aminoskupiny ($-\text{NH}_2$) aminů (včetně volných aminoskupin purinů a pyrimidinů) a aminokyselin reagovaly s karbonylovou skupinou ($>\text{C}=\text{O}$) redukujících cukrů, aldehydů a několika ketonů. Prostřednictvím těchto reakcí by bylo z polévky odstraněno ohromné množství nezbytných organických sloučenin.³⁵

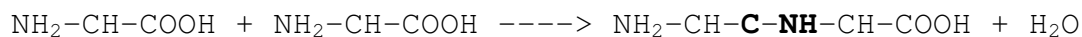
Reakce by vedly k poklesu koncentrace nejen aminokyselin, ale také aldehydů. Přítomnost dostatečné koncentrace aldehydů, zejména formaldehydu, však byla důležitá pro primordiální syntézu cukrů. Polymerací formaldehydu v alkalickém prostředí vzniká mnoho životně nezbytných cukrů, včetně glukózy, ribózy a deoxyribózy. Ze studia jejich termodynamické a kinetické stability však vyplývá, že v primordiálním oceánu mohlo existovat jen zanedbatelné množství těchto látek.³⁶ Problém se stává ještě naléhavějším, když vezmeme v úvahu následné reakce cukrů s aminosloučeninami. Výsledná koncentrace cukrů by byla tak nízká, že by tvorba nukleových kyselin, které obsahují cukr ve své molekule, byla velmi nepravděpodobná.

Vznik amidů při syntéze polypeptidů

Při syntéze amidů nahrazuje aminoskupina (-NH₂) aminokyseliny hydroxylovou skupinu (-OH) karboxylové kyseliny (RCOOH). Ke karboxylovým kyselinám patří i aminokyseliny. Probíhá-li tato reakce mezi aminokyselinami, dochází ke vzniku polypeptidů a proteinů. Reakcí dvou aminokyselin vzniká podle následujícího obecného schématu dipeptid:

o

1 1



1 1 1 1

R₁ R₂ R₁ R₂

aminokys.1 aminokys.2 dipeptid

Při reakci se spojují dvě molekuly a uvolňuje se voda, řadí se tedy opět mezi reakce *dehydratačně-kondenzační*. Podle většiny scénářů chemické evoluce tvoří právě tato reakce základ primordiální syntézy polypeptidů a proteinů. V primordiální polévce však bylo přítomno mnoho různých aminokyselin. Většina z nich zřejmě nepatřila mezi proteinogenní aminokyseliny. Při Millerových pokusech s elektrickým výbojem (tab. 4-1) např. vzniklo mnohem více neproteinogenních než proteinogenních aminokyselin. Ve většině případů byl pro látky se stejným empirickým vzorcem získán více než jeden izomer (tj. sloučenina se stejným souhrnným vzorcem, ale odlišnou stavbou molekuly). Například tři aminokyselinové izomery, z nichž dva jsou neproteinogenní, mají stejný souhrnný vzorec C₄H₉NO₃. Ke vzorci C₄H₉NO₂ patří osm izomerů, které všechny představují neproteinogenní aminokyseliny (obr. 4-3). Je zřejmé, že výběr dvaceti aminokyselin, které nyní nalézáme v proteinech, byl závislý na něčem jiném než na jejich dostupnosti. Při

modelových experimentech navíc vznikaly racemické směsi aminokyselin, to znamená, že formy D- a L- byly zastoupeny stejnou měrou. Ve směsi složené z D- a L- proteinogenních i neproteinogenních aminokyselin nedochází při chemické syntéze polypeptidů k žádnému upřednostňování. Vzniklé polypeptidy by se tak podobaly dnešním proteinům jen ve vzácných případech. V proteinech nalézáme výhradně L-aminokyseliny a navíc jen ty, které patří do zvláštní skupiny dvaceti proteinogenních. Pro biologickou funkci proteinu je navíc nezbytné, aby byla dodržena přesná sekvence aminokyselin. Důležitá skutečnost, že se aminokyseliny nemohou spojovat spontánně, nýbrž pouze při dodání energie, je zvláště diskutována v kapitolách 8 a 9.

Terminace polypeptidů a polynukleotidů

Pokud by různé dosud uvažované zředovací procesy nezabránilly tvorbě polypeptidů a polynukleotidů, byly by tyto makromolekuly degradovány chemickými interakcemi s rozmanitými sloučeninami v oceánu. Již jsme se zmiňovali o předpokládaných reakcích aminokyselin s různými sloučeninami v prebiotickém oceánu. Podobnými reakcemi by byly ukončeny rostoucí polypeptidy interakcí s aminy, ketony, redukujícími cukry* nebo karboxylovými kyselinami. Pokud by nějakou zvláštní náhodou vznikl v oceánu skutečný protein, byla by jeho životaschopnost krátká. Formaldehyd by pohotově reagoval s volnými aminoskupinami dvou proteinů za vzniku metylenových můstků.³⁷ Tím by se zneprístupnila reakční místa, takže by byla zpomalena další interakce proteinu s chemickými látkami. Ireversibilní reakce formaldehydu s amidickou skupinou asparaginu by například vedla ke vzniku sloučeniny, která je stabilní ve vroucí zředěné kyselině fosforečné.³⁸ Tento proces je podstatou dobře známé taninové reakce a je využíván ke konzervaci mrtvol. "Všeobecně řečeno, reakce s formaldehydem zpevní strukturu proteinu tak, že se sníží jeho citlivost k hydrolýze a zvýší se jeho odolnost vůči chemikáliím a enzymům."³⁹ Zachování životaschopnosti proteinů v prebiotické polévce by tedy bylo skutečně velmi nepravděpodobné.

Pokud předpokládáme, že se v prebiotickém oceánu vytvořilo určité malé množství nukleových kyselin, reagoval by formaldehyd i s těmito látkami zejména na volných aminoskupinách adeninu, guaninu a cytosinu. Některé takto utvořené vazby by byly tak stabilní, že k opětovnému uvolnění formaldehydu by došlo jen za varu s koncentrovanou kyselinou sírovou.⁴⁰ Stejně jako u proteinů, i v případě nukleových kyselin je obtížné si představit, že by byly v primordiální polévce přítomny delší dobu.

* V této souvislosti je zajímavé připomenout, že za určitých abnormálních okolností, jako např. při diabetu, tvoří karboxylová skupina glukózy chemickou vazbu s aminoskupinou

buněčných proteinů v procesu nazývaném glykosylace. (Viz A.L. Notkins, 1975. *Sci.Amer.* **241**, 62.)

Hydrolýza aminokyselin a polypeptidů

Ale co když v prebiotické polévce polypeptidy a jiné biopolymery přece jen vznikly? Jaký by byl jejich osud? Ve vodném prostředí se poločas jejich života počítá na dny až měsíce, což je z geologického hlediska nepodstatná doba.⁴¹

Kromě štěpení polypeptidů v místě peptidických vazeb by hydrolýza poškodila i mnohé aminokyseliny.⁴² V kyselém prostředí by se rozložila většina molekul tryptofanu a část serinu a treoninu. Cystein by se vlivem kyselá hydrolýzy přeměnil na cystin a z molekul glutaminu a asparaginu by se odštěpily amidické skupiny. Naproti tomu v alkalickém prostředí, které je obvykle přisuzováno primordiálnímu oceánu, by se hydrolyzoval serin, treonin, cystin, cystein a arginin a docházelo by k řadě deaminací.

Precipitace mastných kyselin a fosfátu vápenatými a hořečnatými solemi

Hovořili jsme již o tom, jak nízké by byly koncentrace nukleových kyselin v prebiotickém oceánu. Další příčinou tohoto jevu je značné omezení jejich syntézy způsobené špatnou rozpustností fosfátu, tj. jedné ze základních složek nukleových kyselin. Nejsou známy žádné dostatečně rozpustné fosfáty, které by mohly být přítomny v prebiotickém oceánu.⁴³ Lze očekávat, že by se fosfáty vysrážely ve formě vápenatých a hořečnatých solí.⁴⁴ Produkt rozpustnosti hydroxyapatitu, $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{OH}$, je asi 10^{-57} . Vzhledem k obsahu velkého množství rozpuštěných vápenatých iontů je obtížné si představit, že by koncentrace fosfátu byla větší než 3×10^{-6} M.⁴⁵ Jak uvedl Griffith a kol., "prebiotické oceány se pravděpodobně vyznačovaly silným nedostatkem fosforu."⁴⁶ Kromě toho by také mastné kyseliny, nezbytné složky pro syntézu buněčných membrán, byly vysráženy z polévky jako nerozpustné soli hořčíku a vápníku.⁴⁷

Adsorpce uhlovodíků a dusíkatých sloučenin na sedimentující částice hlíny

Pokud je správná představa, že metan byl důležitou součástí prebiotické atmosféry, musely uhlovodíky vznikat v atmosféře vlivem ultrafialového záření a dostávat se pak do oceánu.⁴⁸ Tam by klesaly ke dnu adsorbovány na sedimentující hlínu. Dalo by se tedy očekávat, že ložiska z ranného prekambria budou obsahovat neobvykle velký podíl uhlovodíků nebo jejich uhlikatých zbytků. Ve skutečnosti tomu tak není.⁴⁹

Také dusíkaté organické sloučeniny byly podle tohoto předpokladu odstraněny z oceánu adsorpcí na částice hlíny. Nissenbaum k tomu poznamenal: "Nemáme žádný důvod pochybovat o tom, že... i v těchto dávných dobách probíhala adsorpce na nerostné povrchy, zejména na různé hlíny."⁵⁰ Brooks a Shaw napsali v *Origin and Development of Living Systems (Vznik a vývoj živých systémů)*:

Pokud skutečně někdy existovala prebiotická polévka, dalo by se očekávat, že alespoň někde na této planetě nalezneme buď masivní sedimenty obsahující ohromné množství různých organických dusíkatých sloučenin, aminokyselin, purinů, pyrimidinů, atd., nebo dusíkatého koksu [grafitu podobného materiálu obsahujícího dusík]. Ve skutečnosti *nebyla žádná taková hmota nikde na Zemi nalezena.*⁵¹ (Zdůrazněno autory knihy.)

Ve stručnosti by uvedené zředující procesy působící v atmosféře i v oceánu podstatnou měrou snížily koncentrace nezbytných chemických prekurzorů. Tyto procesy, kterým jsme se věnovali jednotlivě, by ve skutečnosti působily synergicky, neboli v součinnosti. Obr. 4-4 ukazuje příklad součinnosti (Concerto Effect) mnoha reakcí, o kterých jsme se v této kapitole jednotlivě zmiňovali. Je pravděpodobné, že by v chemické polévce byla syntéza RNA a jiných nezbytných biomolekul téměř v každém stupni přerušena působením mnoha křížových reakcí. V důsledku toho by byly rovnovážné koncentrace důležitých složek polévky velmi malé.

Koncentrace nezbytných chemických sloučenin v prebiotické polévce: příklad aminokyselin

Dospěli jsme k tomu, že na prebiotické Zemi a v jejích oceánech byly organické látky podstatně zředěnější, než se obvykle předpokládá. Jak velké bylo toto zředění? Pokusme se nyní o odhad koncentrace důležitých látek v prebiotické polévce.

Obecně se soudí, že dávné oceány obsahovaly ohromné množství organické hmoty. Urey předpokládá, že prebiotický oceán byl tak bohatý na organické látky, že rozpuštěné uhlikaté sloučeniny tvořily asi 10 % roztok.⁵² To odpovídá koncentraci 10^{-3} M pro každou z 1 000 chemických sloučenin polévky, pokud uvažujeme průměrnou relativní molekulovou hmotnost 100.

Modernější výpočty opravily Ureyho odhad na nižší hodnoty. Sagan odhaduje, že během miliardy let by vlivem ultrafialového záření vzniklo v prebiotické atmosféře tolik organických látek, že by po rozpuštění v oceánech tvořily 0,3 % - 3 % roztok.⁵³ Na základě dat, získaných při pokusech s elektrickým výbojem, Wolman a spol. odhadují, že oceány prebiotické Země

obsahovaly aminokyseliny v koncentraci asi 2×10^{-3} M.⁵⁴ Oba tyto novější odhady jsou však stále velice optimistické. Sagan totiž předpokládá, že "nedošlo k destrukci syntetizované hmoty"⁵⁵ a Wolman a spol. říká: "předpokládáme... že rozklad aminokyselin po syntéze byl minimální."⁵⁶ Přesto, jak vyplývá z této kapitoly, nemůže žádný realistický odhad osudu chemických látek, např. aminokyselin, na dávné Zemi přehlížet jejich značnou destrukci vlivem různých druhů energie či chemických interakcí v polévce.

Účinnost těchto rozličných přirozených procesů destrukce organických sloučenin naznačuje, že rovnovážná koncentrace aminokyselin v primordiálním oceánu byla poměrně nízká. Jak nízká lze zjistit jen způsobem, který zahrnuje množství nejistot. I přes to byly vytvořeny přijatelné odhady, které počítají s destrukčními procesy. Odhad provedený Dosem uvažuje destrukce v oceánu vlivem UV záření, ale zanedbává rozklad aminokyselin v atmosféře vlivem tohoto záření a destrukce aminokyselin jejich interakcí s jinými chemickými látkami v oceánu.⁵⁷ Dose uvádí horní mez koncentrace aminokyselin v prebiotickém oceánu 10^{-7} M, což je asi 10 000krát větší zředění, než k jakému dospěly předchozí optimistické odhady. Ukazuje se, že průměrná současná koncentrace aminokyselin v Severním atlantickém oceánu je také asi 10^{-7} M.⁵⁸

Druhý odhad, který poskytuje podobné výsledky, bere v úvahu destrukční interakce mezi aminokyselinami a různými látkami polévky, zejména cukry, ale zcela zanedbává negativní vliv ultrafialového záření.⁵⁹ Tento odhad je založen na procesu odstraňování aminokyselin z polévky a následné polymeraci. Po komplikované polymerační reakci je polymer odstraněn sedimentací. Prvním krokem polymerace je dehydratačně-kondenzační reakce mezi aminoskupinou ($-NH_2$) aminokyselin a karbonylovou skupinou ($>C=O$) redukujících cukrů, uvedená dříve. Tímto způsobem jsou v dnešních oceánech odstraňovány cukry a aminokyseliny, které se tam dostávají nepřímo, rozkladem složitější organické hmoty dříve živých objektů. Dávný oceán byl podle předpokladů teorie chemické evoluce přímo zásobován aminokyselinami a cukry abiotického původu. Není důvod pochybovat o tom, že proces odstraňování organických látek existoval i v dávném oceánu.

Protože byl tento proces z geologického hlediska okamžitý (1 000 – 3 500 let), je obtížné si představit, že by koncentrace aminokyselin v prebiotické polévce byla větší než 10^{-7} M.⁶⁰ Nissenbaum et al. stručně vyjádřil důležitost procesů, kterými se snižují koncentrace látek v polévce, pozorováním:

Vlivem odstraňování organické hmoty z oceánů polymerací a sedimentací byly koncentrace těchto abioticky vytvořených

látek v oceánu mnohem nižší než se obvykle předpokládá. Je obtížné pochopit, jak mohla za takových okolností "primordiální polévka" vůbec existovat.

Třetí odhad koncentrace aminokyselin v dávném oceánu bere v úvahu destrukční vliv ultrafialového záření v atmosféře i v oceánech, ale nepočítá s odstraňováním aminokyselin v důsledku jejich reakcí s jinými složkami polévky.⁶² Je založen na srovnání rychlostí tvorby a rozkladu aminokyselin vlivem ultrafialového záření. Ukazuje, že jen asi 3 % aminokyselin vytvořených ve vrchních vrstvách atmosféry (kde probíhala většina syntézy aminokyselin iniciovaná UV) by se bez poškození dostaly do oceánu. Tak by mohla být maximální rovnovážná koncentrace aminokyselin v prebiotickém oceánu 10^{-12} M.

Skutečně realistický odhad musí spojit vliv těchto faktorů a dalších destruktivních procesů a počítat také s působením všech zdrojů energie. Takový odhad by vyžadoval velice složitý výpočet. Uvedené odhady však dostatečně naznačují, že primordiální oceán byl extrémně zředěnou "polévkou", mnohem zředěnější, než aby bylo rozumné předpokládat spontánní tvorbu proteinů.⁶³ Populární představa, že život vznikl v oceánu, sice všeobecně přetrvává, ale " vědci a výzkumníky z této oblasti je nyní obecně přijímán názor, že koncentrace polévky byla pravděpodobně příliš malá pro účinné syntetické procesy, zejména pro tvorbu biopolymerů."⁶⁴

My na závěr dodáváme, že existovala-li kdy prebiotická polévka chemických sloučenin, byla příliš zředěná, než aby v ní mohla proběhnout chemická evoluce.

Zahušťování v malých nádržích

Představa, že organická polévka byla příliš zředěná, než aby v ní mohly přímo vznikat polymery, může zpochybňovat myšlenku chemické evoluce. Jak však napsal Bernal, "Původní představa prebiotické polévky musí být odmítnuta jen co se týče oceánů a velkých objemů vody. Zájem musí být přesunut k reakcím v *podstatně omezenějším prostoru.*"⁶⁵ (Důraz doplněn autory knihy). Měl na mysli jezera, tůňe, laguny a pod. V těchto prostově omezenějších oblastech by mohl život vzniknout spíše než v oceánu. Význam těchto míst spočívá v jejich mechanismech zahušťování nezbytných chemikálií. Zvýšením koncentrace monomerů by vzrostla pravděpodobnost jejich vzájemné interakce, a došlo by tak podle zákona působení aktivní hmoty ke zvýšení reakčních rychlostí. Podle tohoto zákona je rychlost chemické reakce přímo úměrná koncentraci reagujících látek. Proto se významně zvyšuje pravděpodobnost tvorby polymerů v nádrži s vysokou koncentrací chemických látek.

Dokonce i fosfát, jehož dříve uvedená maximální koncentrace v oceánu byla 10^{-6} M, mohl být koncentrovanější v rezervoáru s nedostatkem vápenatých a hořečnatých solí. Zvýšení koncentrace fosfátu by bylo nezbytné, protože fosforylace, kterými se aktivují aminokyseliny pro další reakce, vyžadují jeho dostatek. Tuto představu můžeme považovat za přijatelnou, protože byla objevena přirozená naleziště vysoce rozpustného fosfátu NaBePO_4 a dokonce naleziště dihydrogenfosforečnanu sodného NaH_2PO_4 , která jsou pravděpodobně nebiologického původu.⁶⁶

Pro zvyšování koncentrace organických látek v jezerech, tůních, lagunách atd. byly navrženy dva mechanismy: (1) prosté odpařování a (2) vymrazování vody. Oběma těmito mechanismům je připisována důležitá úloha při zvyšování rychlostí procesů chemické evoluce.

Vypařování⁶⁷

Představme si, v souladu s předpokládaným mechanismem vypařování (viz obr. 4-5), malý rezervoár ukrytý v jeskyni, kde jsou nashromážděné organické sloučeniny chráněny před ultrafialovým zářením. Horké plyny, vystupující z blízké sopky, představují zdroj tepla nezbytného pro odpařování vody. Umístění rezervoáru na pobřeží zajišťuje přísun organických sloučenin, které přináší příliv, aniž se současně odplavují koncentrované látky. Během odlivu se koncentrace organických látek zvyšuje odpařováním vody. Četným opakováním tohoto cyklického procesu se pak vytvoří rezervoár koncentrovaných organických sloučenin.

Toto hypotetické schéma odpařování je jen jedním z mnoha, která si můžeme představit. Přesto na něm budeme ilustrovat několik aspektů tohoto mechanismu. Nehledě na detaily týkající se určitých nádrží, jezer nebo lagun, nalezneme vždy tyto společné rysy:

1. Vhodný rezervoár pro zahuštění organických sloučenin.
2. Zdroj tepla pro odpařování vody.
3. Opakované přitékání mořské polévky do rezervoáru.
4. Ochrana organických sloučenin před ultrafialovým zářením.

Pokud existovaly rezervoáry s těmito vlastnostmi, jistě v nich docházelo k zahušťování netěkavých látek, jakými jsou aminokyseliny, puriny atd. Takové rezervoáry však nebyly schopny koncentrovat těkavé sloučeniny jako aldehydy a HCN. Tyto látky by se při vypařování vody z rezervoáru odpařily také a později by se znovu rozpustily v podstatně zředěnějších roztocích. To je obzvláště důležité, protože, jak jsme se již zmínili, k polymeraci HCN může podstatnou měrou dojít jen, je-li jeho koncentrace větší než 0,01 M. Pokud byla koncentrace

HCN v otevřeném oceánu asi 10^{-6} M⁶⁸, musel existovat ještě nějaký jiný mechanismus jeho zakoncentrování, jestliže měl sehrát důležitou úlohu v chemické evoluci.

Vymražování

Jestliže na dávnou Zemi, jak jsme se již zmiňovali, dopadalo sluneční záření o menší intenzitě než dnes, bylo mnoho vodních nádrží pokryto ledem, nebo byly úplně zmrzlé. V určitých rovníkových oblastech (kde mohla voda setrvávat v kapalném skupenství) by v těchto nádržích docházelo, snad v závislosti na ročním období, ke střídavému zmrazování a rozpouštění jejich obsahu. Na základě této představy ukázal Orgel, že se zředěné roztoky HCN (10^{-5} M) mohly v létě dostat z oceánu do menšího rezervoáru a tam se shromažďovat. Když byla voda během zimy zmrzlá, HCN se zahušťoval v roztoku pod ledem. Zde se ho mohlo 10% přeměnit na organické látky. Pokračováním tohoto cyklického procesu se mohl každý milion let nahromadit materiál molární koncentrace.⁶⁹

Kritická analýza koncentračních mechanismů

Není známý žádný geologický důkaz existence rezervoáru organického materiálu, který by vznikl tím či oním mechanismem, na této planetě.⁷⁰ Naproti tomu existuje mnoho důkazů, že v dávných dobách existovaly rezervoáry anorganického materiálu. Můžeme se s nimi ještě dnes setkat v Yellowstonešském národním parku.

To, že nebyly nalezeny důkazy svědčící o existenci izolovaných rezervoárů organických sloučenin, však není příliš závažné. Bylo by jich nepochybně celkem málo, protože na organický rezervoár jsou kladeny větší požadavky. Pokud takový rezervoár existoval, může trvat delší dobu, než bude nalezen.

Mnohem významnější je již dříve zmiňovaná skutečnost, že nebyl nalezen geologický důkaz svědčící pro prebiotickou polévku. Pokud kdy existoval zředěný oceán, který zásoboval menší rezervoáry organickými sloučeninami, mělo by pro to být množství důkazů ve starších usazeninách prekambria. Žádné však nebyly nalezeny. Uvědomme si, že jestliže byla polévka tak rozšířená jak navrhuje teorie, byly by doslova všude po celé Zemi v hluboko uložených sedimentech velkého stáří organické zbytky. Přes všechny snahy vědců však nebyly žádné organické sloučeniny nalezeny.

Pokud přesto nějakým způsobem vznikly rezervoáry koncentrovaných sloučenin, zahušťovaly by se v nich nejen žádoucí sloučeniny, ale i nežádoucí nečistoty. Odpařováním vody z nádrže by se tak zahušťovaly nejen netěkavé sloučeniny, jako jsou aminokyseliny, ale také mořské soli, např. NaCl.⁷¹

Vymražování vody a koncentrování těkavých sloučenin, jako je HCN, by mělo stejný efekt. Jestliže by tyto soli byly ve velkém nadbytku, což není nepravděpodobné, nedošlo by k významnému zahuštění organických sloučenin v nádrži v důsledku jejich "vysolení". Při tomto jevu dochází ke kompetici NaCl a ostatních mořských solí s organickými sloučeninami, např. aminokyselinami, o molekuly vody. Sůl má větší afinitu k vodě než tyto organické sloučeniny. Aby soli zůstaly rozpuštěné, musejí se organické sloučeniny z roztoku vysrážet.

Existuje však ještě jiný druh "nečistot", který mohl být největší překážkou úspěšného zahuštění organických sloučenin v omezeném prostoru. Je jím velké množství organických sloučenin přítomných v oceánu, jakými jsou aminy, aminokyseliny, aldehydy, ketony, cukry, karboxylové kyseliny atd., které by vzájemně reagovaly za vzniku nefunkčních produktů.⁷² Důsledkem jejich zahuštění by podle zákona působení aktivní hmoty bylo urychlení mnoha destruktivních reakcí (stejně jako reakcí vedoucích potřebným směrem), probíhajících pomaleji, jak jsme se již zmiňovali dříve, ve zředěnějším oceánu.

Výjimku by tvořil kyanovodík, protože s rostoucí koncentrací u něj převažuje polymerace. Hydrolýza HCN by tedy probíhala snáze ve zředěném oceánu. Polymery HCN by však po hydrolýze poskytovaly zranitelné aminokyseliny.⁷³ Jestliže v atmosféře vznikaly peptidy přímo z polymerovaného HCN, bylo by po vymytí do moře⁷⁴ jejich prodlužování ukončeno reakcí s aminy, karboxylovými kyselinami atd., jak je uvedeno dříve.

Na procesy zahušťování se soustředilo mnoho badatelů. Z jejich diskuze však podle nás vyplývá, že pro uskutečnění chemické evoluce by musel existovat přirozený *třídící* mechanismus, tj. prostředek selekce organických sloučenin a jejich izolace od ostatních chemikálií, které by mohly způsobit jejich destrukci. Doposud však nic, kromě samotné myšlenky, nenaznačuje, že takový třídící mechanismus na naší planetě existoval.

Jinými slovy, je těžké si představit, že by se v prostorově omezených oblastech, tedy jezerech, rezervoárech, lagunách, nebo dokonce v oceánu, někdy nahromadily dostatečné koncentrace nezbytných organických sloučenin. Jak jsme viděli, je při odhadu jejich skutečných koncentrací nezbytné počítat i s jejich odbouráváním, které mnozí vědci zanedbávají.

Závěr

Na základě předcházejícího geochemického rozboru usuzujeme, že v atmosféře a v různých vodních nádržích na prebiotické Zemi destruktivní interakce natolik snížily (ne-li zcela zničily) koncentraci nezbytných chemických prekurzorů, že chemická

evoluce probíhala jen zanedbatelnou rychlostí. Polévka byla příliš zředěná, než aby v ní probíhala přímá polymerace. Tento problém se týkal dokonce i malých nádrží, v nichž se koncentrovaly složky polévky.

Kromě toho žádný geologický důkaz nenaznačuje, že by na této planetě někdy existovala organická polévka či nějaká i malá nádrž organických sloučenin. Ať už tedy život na této Zemi vznikl jakkoli, je obecně přijímaná představa o jeho vzniku v oceánu organických sloučenin tou nejméně přijatelnou hypotézou. Můžeme tedy oprávněně označit tento scénář jako "mýtus prebiotické polévky."

Literatura

1. P.H. Abelson, 1966. *Proc.Nat.Acad.Sci. U.S.* **55**, 1365; P.E. Cloud, 1968, *Science* **160**, 729.
2. A.C. Lasaga, H.D.Holland a M.J. Dwyer, 1971. *Science* **174**, 53.
3. J.P. Pinto, G.R. Gladstone, Y.L. Yung, 1980. *Science* **210**, 1983; C. Ellis a A.A. Wells, 1941. *The Chemical Action of Ultraviolet Rays*, revidované a rozšířené vydání, ed. F.F. Heyroth. New York: Reinhold, str.417; Abelson, *Proc.Nat.Acad.Sci. U.S.* 1365; H.R. Hullet, 1969. *J. Theoret.Biol.* **24**, 56; H.R. Hullet, 1973. V *Proceedings of the Fourth Conference on Origins of Life: Chemistry and Radioastronomy*, ed. Lynn Margulius. New York: Springer-Verlag, str.80.
4. N.H. Horowitz, F.D. Drake, S.L. Miller, L.E. Orgel, C. Sagan, "The Origins of Life," 1970. V *Biology and the Future of Man*, ed. P. Handler. New York: Oxford U. Press, str.163.
5. Abelson, 1966. *Proc.Nat.Acad.Sci. U.S.*, 1365; J.P. Ferris a D.E. Nicodem, 1972. *Nature* **238**, 268. J.P. Ferris a D.E. Nicodem, 1974. V *The Origin of Life and Evolutionary Biochemistry*, ed. K. Dose, S.W. Fox, G.A. Deborin a T.E. Pavlovskaya. New York: Plenum Press, str.107; W.R. Kuhn a S.K. Atreya, 1979. *Icarus* **37**, 207; J.S. Levine, 1982. *J.Mol.Evol.* **18**, 161.
6. Abelson, *Proc.Nat.Acad.Sci. U.S.*, 1365.
7. C. Sagan, 1977. *Nature* **269**, 224.
8. Kuhn a Atreya, *Icarus*, 207.
9. Ferris a Nicodem, v *The Origin of Life and Evolutionary Biochemistry*, str. 107; S. Miller, H. Urey a J. Oro, 1976. *J.Mol.Evol.* **9**, 59.
10. Ferris a Nicodem, v *The Origin of Life and Evolutionary Biochemistry*, str. 107.
11. C.G. Davidson, 1965. *Proc.Nat.Acad.Sci. U.S.* **53**, 1194; R.T. Brinkman, 1969. *J.Geophys.Res.* **74**, 5355; E. Dimroth a M. Kimberly, 1976. *Can.J.Earth Sci.* **13**, 1161; J.C. Walton, 1976. *Origins* **3**, 66; J.H. Carver, 1981. *Nature* **292**, 136; J.S. Levine, 1982. *J.Mol.Evol.* **18**, 161.

12. News Release č.30-72-7, Výzkumná laboratoř amerického námořnictva, Washington, D.C.; G.R. Carruthers a Thornton Page, 1973. *Science* **177**, 788.
13. G.R. Carruthers, osobní sdělení, 28.září 1981.
14. Michael I. Ratner a James C.G. Walker, 1972. *J.Atmos. Sci.* **29**, 803; A.J. Blake a J.H. Carver, 1977. *J.Atmos. Sci.* **34**, 720; Carver, *Nature*, str. 136.
15. L.E. Orgel, 1973. *The Origins of Life*. New York: Wiley, str. 129; Horowitz a spol., *Biology*, str. 171.
16. Hulett, *J.Theoret.Biol.*, str. 60.
17. D.E. Hull, 1960. *Nature* **186**, 693.
18. Miller, Urey a Oro, *J.Mol.Evol.*, str.59.
19. Hull, *Nature*, 693.
20. L.V. Berkner a L.C.Marshall, 1965. *J.Atmos.Phys.* **22**, 225.
21. J.W.S. Pringle, 1954. *New Biology* č.16, str.54.
22. S.L. Miller a L.E. Orgel, 1974. *The Origins of Life on the Earth*. Englewood Cliffs, New Jersey: Prentice-Hall, str. 127.
23. Horowitz a spol., *Biology*, str. 174.
24. Horowitz a spol., *Biology*, str. 174.
25. J. Brooks a G. Shaw, 1973. *Origin and Development of Living Systems*. London a New York: Academic Press, str.78.
26. Hulett v *Proceedings*, str.93.
27. A. Bar-Nun, N. Bar-Nun, S.H. Bauer a C. Sagan, 1970. *Science* **168**, 470.
28. Bar-Nun a spol., *Science*, str.472.
29. C. Ponnampereuma, 1978. *Chemistry* **51**, 6.
30. Hullet, *J.Theor.Biol.*, str.61.
31. N.H. Horowitz a J.S. Hubbard, 1974. *Ann.Rev.Genetics* **8**, 393.
32. R.Sanchez, J. Ferris a L.E. Orgel, 1966. *Science* **153**, 72.

33. Hulett, *J.Theoret.Biol.*, str. 61.
34. J. Hulshof a C. Ponnampereuma, 1976. *Origins of Life* **7**, 197.
35. A. Nissenbaum, 1976. *Origins of Life* **7**, 197.
36. Abelson, *Proc.Nat.Acad.Sci. U.S.*, str. 1365.
37. J.F. Walker, 1964. *Formaldehyde*, ACS Monograph 159, 3.vydání. New York: Reinhold, str. 399ff.
38. Tamtéž, str.404.
39. Tamtéž, str.399.
40. Tamtéž, str.398.
41. K. Dose v *The Origin of Life and Evolutionary Biochemistry*, str.69.
42. *Encyclopedia of Science and Technology*, 1982. "Amino Acids," 1.díl, str. 411-424. New York: McGraw-Hill.
43. S. Miller a M. Parris, 1964. *Nature* **204**, 1248; a D.H. Kenyon a G. Steinman, 1969. *Biochemical Predestination*. New York: McGraw-Hill, str. 175ff a 218.
44. Abelson, *Proc.Nat.Acad.Sci. U.S.*, str. 1365.
45. Hulett, *J.Theoret.Biol.*, str. 62.
46. E.J. Griffith, C. Ponnampereuma a N.W. Gabel, 1977. *Origins of Life* **8**, 71.
47. Abelson, *Proc.Nat.Acad.Sci. U.S.*, str. 1365.
48. Lasaga, Holland a Dwyer, *Science*, str. 53.
49. Abelson, *Proc.Nat.Acad.Sci. U.S.*, str. 1365; Cloud, *Science*, str. 729.
50. Nissenbaum, *Origins of Life*, str. 415.
51. Brooks a Shaw, *Origin and Development of Living Systems*, str.359.
52. H. Urey, 1952. *The Planets*. New Haven, Conn.: Yale Univ. Press, str.152.

53. C. Sagan, 1961. *Rad.Res.* **15**, 174.
54. T. Wolman, W.J. Haverland a S. Miller, 1972. *Proc.Nat. Acad.Sci. U.S.* **69**, 809.
55. Sagan, *Rad.Res.*, str.176.
56. Wolman a spol., *Proc.Nat.Acad.Sci. U.S.*, str. 811.
57. Dose v *The Origin of Life and Evolutionary Biochemistry*, str. 69.
58. R. Pocklington, 1976. *Nature* **230**, 374.
59. Nissenbaum, *Origins of Life*, str. 413.
60. Nissenbaum, *Origins of Life*, str. 413.
61. A. Nissenbaum, D.H. Kenyon a J. Oro, 1975. *J.Mol.Evol.* **6**, 253.
62. Hull, *Nature*, str. 693.
63. Dose v *The Origin of Life and Evolutionary Biochemistry*, str. 74.
64. Nissenbaum a spol., *J.Mol.Evol.*, str. 259.
65. J.D. Bernal, 1960. *Nature* **186**, 694.
66. E.J. Griffith, C. Ponnampereuma a N.W. Gabel, 1977. *Origins of Life* **8**, 71.
67. Miller a Orgel, *The Origins of Life on the Earth*, str. 129ff.
68. Hulett, *J.Theoret.Biol.*, str. 61.
69. R. Sanchez, J. Ferris a L. Orgel, 1967. *J.Mol.Biol.* **30**, 223.
70. Dose v *The Origin of Life and Evolutionary Biochemistry*, str. 75.
71. Clair Edwin Folsome, 1979. *The Origin of Life*. San Francisco: W.H. Freeman and Co., str. 84; C.E. Folsome, ed. 1979. *Life: Origin and Evolution*. San Francisco: W.H. Freeman and Co., str. 3.
72. Folsome, *The Origin of Life*, str. 57, 59.

73. C.N. Matthews a R.E. Moser, 1967. *Nature* **215**, 1230.

74. Clifford N. Matthews, 1975. *Origins of Life* 6, 155; C. Matthews, J. Nelson, P. Varma a R. Minard, 1977. *Science* 198, 622.

KAPITOLA 5

Kritický pohled na údaje o složení dávné Země a její atmosféry

V posledních desetiletích vzrostlo značnou měrou množství poznatků o dávné Zemi, které vytvářejí velmi důležitý zásadní pohled na teorie chemické evoluce. V této kapitole se budeme zabývat třemi důležitými otázkami. Nejprve vytvoříme časový rámec, neboli zjistíme po jakou dobu mohla probíhat chemická evoluce. Dále přezkoumáme chemické složení atmosféry prebiotické Země, abychom určili, zda bylo vhodné pro abiogenezi. Za třetí prošetříme důležitou otázku přítomnosti kyslíku na dávné Zemi a v její atmosféře. Zjištění pravděpodobných atmosférických podmínek pomůže určit výchozí podmínky pro další generaci prebiotických modelových experimentů. Mnohé pokusy, popsané v kapitole 3, jsou založeny na předpokladu silně redukcujících podmínek na prebiotické Zemi a v její atmosféře.

Vytvoření časového rámce

Jedna z nejdramatičtějších změn, které od šedesátých let zasáhly evoluční teorii, spočívala v pochopení, jak krátká je doba, po kterou mohly probíhat abiogenní syntézy. Richard E. Dickerson prohlásil: "Nejnápadnějším rysem evoluce života na Zemi je, že proběhla tak rychle."¹ Cyril Ponnampereuma z univerzity v Marylandu a Carl Woese z univerzity v Illinois předpokládají, že život může být stejně starý jako Země a že se doba jeho vzniku možná shoduje se zrodem naší planety.² V této části prozkoumáme údaje, které podporují toto tvrzení.

Pomocí radiometrických metod bylo odhadnuto stáří kamenných meteoritů na 4,6 miliardy let.³ Pokud se Slunce, planety, meteority a jiné úlomky Slunce vytvořily z téhož primordiálního oblaku prachu zhruba ve stejnou dobu, byla by Země stará přibližně 4,6 miliardy let. V informacích o Zemi existuje obrovská mezera, která pokrývá dobu od jejího vzniku

přes období prekambria až do doby před asi 0,6 miliardami let.⁴ Právě do této mezery spadají údaje o chemické evoluci.⁵ Až do konce šedesátých let byl za nejstarší důkaz života považován výskyt zkamenělých stromatolitů (fotosyntetizující řasy) ve 2,7 miliardy let starých vápencích v jižní Rhodesii.⁶ Koncem šedesátých let však několik vědců při zkoumání velmi starých hornin (3,2 miliardy let) našlo molekulární fosilie a mikrofosilie, tedy důkaz svědčící o minulém životě.

Molekulární fosilie

Molekulární fosilie (neboli chemické fosilie) jsou chemické sloučeniny nalezené v horninách, o nichž se soudí, že to jsou pozůstatky kdysi živé hmoty. Chemické látky, které mohou být důkazem života, jsou velmi různorodé. Existují však dvě možnosti, jak prokázat spojitost mezi nalezenými sloučeninami a živými organismy:

1. Tyto sloučeniny mohou být produkty odbourávání chemických látek nacházejících se v živých organismech. Isoprenoidy, např. pristan a fytan, jsou považovány za produkty štěpení chlorofylu. Isoprenoidy nalezené ve starých horninách mohou být tedy památkou na živé organismy. Ve velmi starých horninách lze nalézt i mnoho jiných chemických látek, které mají vztah k živým organismům, jako jsou porfyriny a deriváty steranu.

2. Metabolismus živých organismů vždy selektivně upřednostňuje izotop uhlíku ¹²C před ¹³C. Zvýšený poměr ¹²C ku ¹³C v chemických látkách může tedy ukazovat na vztah k životním procesům.

Mikrofosilie

Mikrofosilie mohou také svědčit o minulém životě. Mikrofosilie jsou mikroskopické otisky, nalézané v horninách, které vypovídají o minulých formách života. Obvykle se jedná o velmi jednoduché, řasám podobné, kulovité či vláknité útvary, nalezené v horninách bohatých na uhlík. Byli bychom rádi, kdyby kromě jejich morfologických charakteristik zůstal zachován pro naše zkoumání i nějaký detail. To se však stane jen výjimečně. Přesto se následkem chemické analýzy a mikroskopického zkoumání velmi starých hornin bohatých na organické látky mění celý pohled na základy chemické evoluce.* Před nalezením mikrofosilií a molekulárních fosilií se většina vědců domnívala, že chemická evoluce probíhala 2 miliardy let.

* Jedná se však o velmi choulostivý problém, protože někdy může dojít k záměně anorganického materiálu za mikrofosilie (E.L. Mereck, 1973. *Bio.Science* **23**, 153; N. Henbest, 1981. *New Scientist* **92**, 164)

Důkazy

Od šedesátých let byly nalezeny následující důkazy podporující myšlenku, že se život na Zemi objevil brzy po jejím vzniku:

1. 1967: Mikropaleontologická studie uhlík obsahujícího rohovce z "Fig Tree Series" v jižní Africe (stáří více než 3,1 miliardy let) prokázala přítomnost kulovitých mikrosfér. Schopnost fotosyntézy byla u těchto primitivních mikroorganismů prokázána geoorganickou analýzou a analýzou izotopů uhlíku.⁷

2. 1977: Shluk organických mikrostruktur opatřených stěnami, které pocházely ze svazijské plošiny z jižní Afriky, byl identifikován jako pozůstatek primitivních prokaryot. Horniny byly staré 3,4 miliardy let.⁸

3. 1979: Buňkám podobné inkluze v křemičitých vrstvách kvarcitu, který je součástí "Isua series" v jihozápadním Grónsku, byly složeny z biologických materiálů. Přítomné uhlovodíky se vyznačovaly vysokým poměrem mezi izotopy C¹² a C¹³. Stáří bylo přibližně 3,8 miliardy let.⁹

4. 1980: Vědci našli v horninách v oblasti "North Pole" v Austrálii objekty podobné buňkám. Skály byly staré 3,5 miliardy let. Ještě více ohromila skutečnost, že mezi nimi bylo možné rozlišit pět různých druhů buněk. "To dokazuje, že život byl různorodý, hojný a z chemického hlediska skutečně pokročilý."¹⁰

5. 1980: V železitém dolomitickém rohovci z "Pilbara Block" v západní Austrálii se zachovala zkamenělá vrstva vláknitých mikroorganismů nazývaných stromatolity. Jejich stáří bylo odhadnuto na 3,4 až 3,5 miliardy let.¹¹

Až do nedávna byly "kvasinkám podobné mikrofosilie" pocházející z oblasti Isua v jihozápadním Grónsku považovány za důkaz existence živých struktur. Někteří badatelé však nyní zpochybňují tuto interpretaci¹² a naznačují, že se nejedná o zbytky prahorních živých forem. Proto jsou australské depozity staré 3,5 miliardy let považovány v současné době za nejstarší sedimenty obsahující přesvědčivé důkazy biologické činnosti. Přesto mnoho vědců věří, že život existoval před více než 3,8 miliardami let.

Doba trvání evoluce

Brooks a Shaw tvrdí, že nejstarší horniny na Zemi jsou staré pravděpodobně 3,98 miliardy let.¹³ Největší stáří, potvrzené pomocí izotopové techniky u hornin z oblasti Isua v Grónsku, bylo však 3,8 miliardy let.* V každém případě je možno téměř s

určitostí tvrdit, i když to může znít překvapivě, že život byl na Zemi prakticky od počátku její existence. Před 3,98 miliardami let (od 4,6 do 3,98 miliard let) byla Země pravděpodobně příliš horká, než aby na ní mohl být život.¹⁴ Podle toho by se život objevil zhruba před 3,81 miliardami let. To znamená, že jen 170 milionů let se mohl život formovat abiotickou cestou. Podle Brookse a Shawa je tato doba "příliš krátká"¹⁵ pro abiogenní syntézy nezbytných prekurzorů, natož pro chemickou evoluci. Objev mikrofosilií, který potvrdil tento závěr, byl jedním z důvodů dramatické změny ve vědeckém myšlení, zdůrazněné Millerem: "Neudivilo by mě, kdyby život vznikl během pouhých 10^6 let (0,001 miliardy)."¹⁶ Jiní vědci se domnívají, že se jedná o období 10^7 až 10^8 let nebo méně poté, co Země zchladla. Např.: "Jestliže byl zemský povrch horký ještě před 4 miliardami let, vznikl život pravděpodobně zhruba před 3,9 miliardami let."¹⁷ Výzkum se nyní soustřeďuje na mechanismy které by vysvětlily tento "geologicky okamžitý" vznik života.

* Nedávno bylo stanoveno stáří zirkonu z oblasti australského Shieldu na 4,2 miliardy let. *Chem.Eng.News*, 22.dubna 1983, str.20; *Science News*, 18.června 1983, str.389.

Složení prebiotické zemské atmosféry

V posledních letech byla pomocí vesmírných sond zkoumána atmosféra několika planet sluneční soustavy. Výzkum se týkal těchto planet:

- | | | | |
|----|---------|--------|-------------------|
| 1. | Mars | (sondy | Viking) |
| 2. | Venuše | (sondy | Pioneer a Venera) |
| 3. | Jupiter | (sondy | Voyager) |
| 4. | Saturn | (sondy | Voyager) |

Získané informace vedly k přehodnocení vědeckých teorií týkajících se vzniku planet a jejich atmosféry. Např. výsledky měření koncentrace argonu a neonu na Venuši provedené sondou Pioneer otřásly představami o vytvoření současné atmosféry. James B. Pollock z Amesova výzkumného centra (NASA) navrhl tři logické možnosti:¹⁸

1. Hypotéza primární atmosféry

Plyny současné atmosféry by mohly být pozůstatky předslunečné mlhoviny. Pokud by tomu tak bylo, byl by poměr mezi zastoupením argonu a neonu na Venuši, Zemi a Marsu velmi podobný jejich původnímu poměru v mlhovině a jejich současnému zastoupení na slunci. Jejich zastoupení v atmosférách uvedených planet je ale zcela odlišné od jejich zastoupení na slunci.

2. Hypotéza vnějšího zdroje

Plyny mohly být přineseny kometami a asteroidy bohatými na těkavé látky v údobí po výskytu meteorického roje T-auridů, kdy planety na sebe strhávaly poslední části hmoty přítomné ve slunečním systému. Komety a asteroidy musely dopadat na všechny vnitřní planety přibližně ve stejném množství; proto očekáváme, že by planety měly obsahovat podobnou koncentraci vzácných plynů. Ve skutečnosti tomu tak ale není.

3. Hypotéza srůstání zrn

Současná pozemská atmosféra mohla vzniknout uvolněním plynů zachycených v puklinách původních hornin.

Podle Pollocka je tato poslední hypotéza jedinou, která neodporuje našim poznatkům. Označení "srůstání zrn" (grain accretion) je použito, protože zrna materiálu, který obsahoval těkavé látky, se shlukovala do malých těles (planetesimál), která dalším shlukováním vytvořila planety.¹⁹ Později se těkavé látky dostaly v důsledku vnitřního ohřevu na povrch. Původní zemskou atmosféru gravitační pole postupně rostoucí planety neudrželo. Zemská prebiotická atmosféra byla tedy ve skutečnosti sekundární a vznikla z plynů, které vystupovaly z vnitřku Země sopečnými krátery nebo difundovaly pláštěm zemského jádra. Tato teorie sekundární atmosféry byla v průběhu více než deseti let nejuznávanější teorií, a udržela se i po získání informací z Venuše, Marsu a jiných planet.

Přestože byl tento model obecně uznáván, objevily se návrhy i jiných zdrojů plynů. Např. neon zemské atmosféry mohl do značné míry pocházet z oblaků mezihvězdné hmoty.²⁰ Dalším zdrojem plynů mohly být komety.²¹ Oro odhadl, že složení zemské atmosféry mohlo ovlivnit asi 1 000 meteoritů.²²

Různé modely prebiotické zemské atmosféry

Na rozdíl od obecného přijetí modelu tvorby atmosféry uvolňováním plynů z hornin se názory na složení atmosféry během let značně měnily. Uvádíme příklady složení atmosféry, které byly navrženy během posledních třiceti let.

CO₂-H₂O atmosféra. Za předpokladu, že by sopečné exhalace měly na prebiotické Zemi stejné složení jako nyní, obsahovala by prebiotická atmosféra oxid uhličitý, vodní páru a menší množství H₂S, SO₂ a N₂. Tento názor vyslovili Fox a Dose,²³ Revelle,²⁴ Abelson²⁵ a Brooks se Shawem.²⁶

CH₄-NH₃-H₂O atmosféra. Opačný názor zastávali Oparin,²⁷ Urey,²⁸ a Miller a Urey²⁹. Tito vědci se domnívali, že z doby utváření Země se v atmosféře uchovalo malé, ale důležité množství

vodíku. Jeho parciální tlak byl nejméně 10^{-3} atm (v současné atmosféře je asi 10^{-6} atm). Vodík by reagoval s uhlíkem, dusíkem nebo kyslíkem, čímž by se vytvářela atmosféra bohatá na metan (CH_4), amoniak (NH_3) a vodu (H_2O).

Příznivci předchozího názoru samozřejmě s tímto závěrem nesouhlasili a tvrdili, že množství atmosférického vodíku bylo bezvýznamné a že neexistují žádné geologické důkazy existence metanu v prebiotické atmosféře.³⁰

Tři stadia ve vývoji atmosféry. Třetí názor, zastávaný Hollandem,³¹ vznikl ve skutečnosti syntézou prvních dvou. Holland nesouhlasil se základním předpokladem první teorie, neboť prohlásil, že se směs sopečných plynů prebiotické Země nepodobala svým složením soudobým sopečným exhalacím. Svě tvrzení založil na hypotéze, podle níž byly prebiotické sopečné exhalace, na rozdíl od současných sopečných plynů, v rovnováze s horkou tekutou horninou obsahující velké množství elementárního železa. Důsledkem toho byla atmosféra v prvním stadiu bohatá na metan (CH_4) a v bezprostředně následujícím druhém stadiu bohatá na dusík (N_2). Současná atmosféra představuje třetí stadium.

CO_2 - N_2 atmosféra. Walker³² uskutečnil rozsáhlý výzkum vývoje atmosféry, z něhož vyplývá, že prebiotická atmosféra obsahovala H_2O , CO_2 , N_2 a 1 % H_2 . Sopečný původ 1 % H_2 vedl Walkera k přesvědčení, že sopečné plyny obsahovaly tehdy více vodíku než dnes. Velké množství uvolněného CO_2 tvořilo uhličitany, které se hromadily v oceánu při kondenzaci velkých objemů vody.

Podle tohoto názoru neobsahovala prebiotická atmosféra mnoho redukujících plynů, jako je metan nebo amoniak.³³ Silně redukující atmosféra, složená z metanu a amoniaku mohla, jak naznačují soudobé fotochemické úvahy, existovat jen velice krátkou dobu, pokud taková prebiologická atmosféra vůbec existovala.³⁴ Závěr, že prebiologická atmosféra obsahovala jen malá nebo vůbec žádná množství metanu a amoniaku, si získal Hollandův souhlas.³⁵

Představa, podle níž nebyla prebiotická atmosféra silně redukující, představuje dramatickou změnu vzhledem k předchozí přijímané hypotéze. Tento posun v teoriích o složení prebiotické atmosféry vyvolal řadu komentářů a reakcí. Např.:

Nyní, poprvé po třiceti letech, se mění obecně přijímaná představa o primordiální polévce, která se opírala o atmosféru bohatou na vodík, složenou především z metanu (CH_4) a amoniaku (NH_3). Nová hypotéza předpokládá atmosféru chudou na vodík, která kromě toho, že *neobsahuje* kyslík, se podobá té současné.³⁶

Žádný z geologických a geochemických důkazů nashromážděných v posledních třiceti letech nepodpořil existenci silně redukující prebiotické atmosféry... Myšlenku její existence podpořily pouze výsledky laboratorních pokusů.³⁷

Vědci si musejí znovu promyslet některé své předpoklady. Chemikům vyhovovala stará představa redukující atmosféry, která podporovala evoluční experimenty.³⁸

Sherwood Chang z Amesova výzkumného centra (Ames Research Center) z NASA pozoroval, že při modelových pokusech s neutrální atmosférou složenou z vody, dusíku a oxidu uhličitého vznikají pouze chemické sloučeniny typu amoniaku a kyseliny dusičné.³⁹ Joseph Pinto z Goddardova ústavu pro výzkum vesmíru (Goddard Institute for Space Studies) však syntetizoval formaldehyd v prebiotické atmosféře chudé na vodík.⁴⁰ I při dalších modelových pokusech s atmosférou chudou na vodík vznikaly abiotické organické sloučeniny.⁴¹ V roce 1951 uveřejnil Melvin Calvin z Kalifornské university v Berkeley zprávu o syntéze organických sloučenin bombardováním směsi vody a oxidu uhličitého alfa částicemi.⁴²

Obsah kyslíku na dávné Zemi a v její atmosféře

Všechny modely vylučují přítomnost kyslíku

Existuje množství různých modelů prebiotické atmosféry. Každý vědec používá jeden z těchto modelů, aby prokázal, že chemické stavební kameny života mohly být vytvořeny za zvolených podmínek. Z experimentálních prací vychází najevo zajímavý a do určité míry překvapivý poznatek, že syntéza aminokyselin a dalších nezbytných organických molekul je v určitém rozsahu nezávislá na specifických detailech experimentálních podmínek. Jak vyplývá z kapitoly 3, ať už jsou ve výchozí atmosféře jako zdroj uhlíku a dusíku použity CH_4 a NH_3 nebo CO_2 a N_2 , jsou výsledkem podobné produkty. Z tohoto důvodu se zkoumání prebiotické atmosféry, jakkoli fascinující, jeví jako podružné, s výjimkou základního požadavku, který stojí v centru teorie chemické evoluce, tj., že prebiotická atmosféra nemohla obsahovat žádné, ani nepatrné množství volného (molekulárního) kyslíku (O_2).

Vyloučení kyslíku je nezbytné ze dvou důvodů. Za prvé podléhají všechny organické sloučeniny (jako např. nezbytné chemické prekurzory nebo stavební kameny, které se musely nahromadit, aby mohla chemická evoluce pokračovat) v přítomnosti kyslíku rychlému rozkladu. Za druhé, pokud by byl molekulární kyslík přítomen i jen ve stopovém množství, organické molekuly by se nemohly vůbec tvořit. Shklovskii a Sagan k tomu poznamenali: "Pokud se podmínky laboratorního pokusu změni na oxidující, organické syntézy se skutečně

zastaví."⁴³ Všechny modelové pokusy zmiňované v kapitole 3 jsou značnou měrou inhibovány kyslíkem. Žádná z životně nezbytných molekul, např. aminokyselin, by se nemohla vyvořit za oxidujících podmínek, a i kdyby k tomu nějakou náhodou došlo, rychle by se rozložila. Chemická evoluce by byla neuskutečnitelná. K tomu se vyslovili také Fox a Dose,⁴⁴ kteří sestavili šest důvodů, proč primordiální atmosféra nemohla obsahovat žádné významné množství kyslíku. Dva z jejich důvodů jsou pozoruhodné: (1) "laboratorní pokusy prokazují, že chemická evoluce... by byla značně inhibována kyslíkem,"⁴⁵ a (2) "organické sloučeniny, které... se během chemické evoluce hromadily na zemském povrchu, by nezůstaly v průběhu geologicky přijatelné doby stabilní."⁴⁶

Fox a Dose zastávali přesvědčení, že se chemická evoluce uskutečnila, a předkládají uvedené důvody spolu s ostatními jako důkaz redukující atmosféry. Tvrdí, že jelikož to chemická evoluce vyžaduje, muselo být volného kyslíku v prebiotické atmosféře zanedbatelné množství.

Fox a Dose nejsou jediní, kdo uvažují tímto způsobem. Walker⁴⁷ také usuzuje, že "nejpádňjším důkazem" bezkyslíkaté atmosféry je sám fakt, že chemická evoluce proběhla. Tato úvaha je sice dostatečná pro vytvoření hypotézy, není však dostatečná jako důkaz její pravdivosti.

Nebudeme přihlížet k tomuto "nejpádňjšímu" důkazu bezkyslíkaté (bez volného kyslíku) atmosféry, protože je založen na důkazu v kruhu. Takováto logika je stěží vědecká a jednoduše považuje za pravdivou hypotézu, kterou teprve vytváří. Zkontrolujme tedy důkazy o obsahu kyslíku v atmosféře dávné Země bez toho, že bychom předem předpokládali redukující atmosféru. Nejprve vezmeme v úvahu zdroje kyslíku, a pak přezkoumáme mineralogické důkazy pocházející z údobí, kdy byl kyslík součástí atmosféry. Tak můžeme určit, kdy a jak dlouho byla zemská atmosféra bez kyslíku.

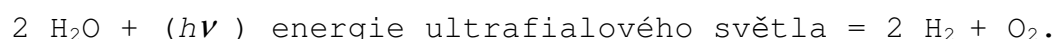
Zdroje volného kyslíku pro zemskou atmosféru

Existují nejméně tři možné zdroje volného kyslíku v atmosféře dávné Země: sopečné exhalace (a komety / meteority), fotodisociace vody a fotosyntéza, která je spojena s živými organismy. Uvažujme každý z těchto zdrojů vzhledem k množství kyslíku, jaké produkuje, a vzhledem k jeho pravděpodobné existenci během geologické historie.

Sopečné exhalace jako možný zdroj volného kyslíku. Již dříve se předpokládalo, že zemská atmosféra vznikla následkem sopečných erupcí, při nichž se uvolňovaly různé plyny. Mohl mezi nimi být i volný kyslík (O₂). Plyny, doprovázející v současnosti sopečné erupce, obsahují zejména CO₂, H₂O a malé

množství H_2S , SO_2 a N_2 , ale žádný volný kyslík. Vezmeme-li v úvahu vysokou teplotu v sopkách a značnou reaktivitu kyslíku, nemůže nás tato skutečnost udivit. Při zvýšených teplotách ($600\text{--}800^\circ\text{C}$) by kyslík reagoval s minerálními látkami v zemi a výsledkem by byla neoxidující směs plynů. Představa, že tehdejší sopečné emise mohly uvolnit do prebiotické atmosféry jakékoliv podstatné množství volného kyslíku, je tedy značně diskutabilní.⁴⁸

Fotodisociace vody jako možný zdroj volného kyslíku. Dalším uvažovaným zdrojem volného kyslíku v dávné atmosféře je fotodisociace vody v atmosféře vlivem ultrafialového záření:



Odhady, provedené od šedesátých let, které se týkaly množství volného kyslíku uvolněného do prebiotické atmosféry fotodisociací vody, se pohybují v rozmezí 10^{-15} – 0,25 PAL (present atmospheric level, tj. koncentrace kyslíku vztažená k jeho koncentraci v současné atmosféře). Různé odhady jsou uvedeny v tabulce 5-1 a stručně shrnuty v dalším textu. Je užitečné si uvědomit, že v tabulce 5-1 je koncentrace kyslíku vyjádřena dvěma způsoby, tj. PAL a MR (mixing ratio = relativní zastoupení kyslíku v současné atmosféře), a platí, že 1,0 PAL = 0,21 MR.

Bekner a Marshall⁴⁹ provedli jako první kvantitativní odhad koncentrace kyslíku v dávné atmosféře pocházející z fotodisociace vodní páry. Podle nich byla tato koncentrace 10^{-3} PAL.

Brinkmann⁵⁰ počítal množství O_2 produkovaného fotodisociací a spotřebovaného při oxidaci hornin a dalších pochodech. Dospěl k výsledku, že alespoň 25 % současné hladiny (0,25 PAL) kyslíku existovalo během 99 % geologického času. V důsledku toho usuzoval: "Nezdá se, že by chemická evoluce mohla probíhat v takové atmosféře."⁵¹ Zastánci neutrální nebo redukcující dávné atmosféry nesouhlasili s tak vysokou hladinou O_2 vzniklou fotodisociací H_2O . Například Walker⁵² označil Brinkmannův předpoklad, že rychlost úniku vodíku z atmosféry je rovna rychlosti fotolýzy vody, za chybný. Sám však musí předpokládat, že sopečný zdroj vodíku byl značně větší, než množství vodíku mizejícího do prostoru po fotolýze vody. Z tohoto důvodu by musely být v dávné minulosti sopečné zdroje plynů mnohem větší než dnes. Van Valen⁵³ měl také námitky proti Brinkmannově studii, ale nepředložil alternativní řešení, pouze uvedl, že existují důležité a dosud nevysvětlené problémy týkající se vytvoření kyslíku v atmosféře.

Vzhledem k zásadní důležitosti této otázky přezkoumal Caver⁵⁴ množství kyslíku uvolněného fotodisociací během prekambria;

uvažoval při tom větší zastoupení vodní páry v atmosféře než předchozí práce. Výsledky jeho studie poukazují na teplejší a mnohem vlhčí podnebí v prekambriu; koncentrace volného kyslíku mohla přitom dosáhnout 10 % současné hladiny (0,1 PAL). Pokud byly v prekambriu rychlosti oxidací při zemském povrchu podstatně větší než dnes, byla hladina kyslíku pravděpodobně 0,01 - 0,1 PAL.

Holland⁵⁵ konstatoval, že několik procent současné hladiny kyslíku v atmosféře bylo jistě přítomno před $2,9 \times 10^9$ lety. Jak je ale patrné z tabulky 5-1, odhady spadají do příliš širokého rozpětí hodnot, než aby bylo možné vytvořit konečný závěr. V tabulce 5-1 jsou pro dokreslení značné nejistoty kolem koncentrace kyslíku uvedeny i další odhady, o kterých se v textu nezmiňujeme.⁵⁶ Současná literatura se zabývá jedinou představou a to, že dávná atmosféra obsahovala mnohem více kyslíku, než si dosud kdokoli představoval. Důležitý podíl na této představě mají měření, která naznačují, že několik milionů let staré hvězdy podobající se slunci emitují až 10^4 krát více UV záření než současné Slunce.⁵⁷ Vlivem této větší intensity UV by mohlo být zvýšeno relativní zastoupení O_2 při povrchu Země 10^4 až 10^6 krát nad standardní hodnotu 10^{-15} , což by ovlivnilo všechny odhady koncentrace kyslíku.⁵⁸

Vysoký odhad koncentrace O_2 je podporován údaji z Apolla 16, které naznačují, že vlivem fotodisociace vodní páry ve vrchní vrstvě atmosféry vzniká velké množství volného kyslíku. UV spektrografická kamera z Apolla 16 odhalila masivní mrak atomárního vodíku obalujícího Zemi a sahajícího až asi 65 000 km do prostoru. Tento vodík pochází zjevně z fotodisociace vodní páry. Ve starší zprávě týkající se těchto výsledků se uvádí, že získané informace "poskytují pevnou podporu teorii, která za primární zdroj současného kyslíku považuje štěpení vodní páry vlivem slunečního ultrafialového záření" na rozdíl od obvykle předpokládané fotosyntézy.⁵⁹

George Carruthers,⁶⁰ hlavní výzkumník zodpovědný za spektrografickou kameru na Apollu 16, následně uvedl, že množství kyslíku uvolněného fotodisociací bylo v prvních zprávách nadsazeno. To znamená, že fotodisociace nebyla, jak bylo původně uváděno, primárním zdrojem kyslíku. (Více detailů týkajících se výsledků měření Apollo 16 lze nalézt ve zprávě Carrutherse a spol.)⁶¹ Carruthers souhlasí s ostatními pracovníky, že v sekundární atmosféře prebiotické Země bylo přítomno malé množství volného kyslíku. Avšak bez volného kyslíku (a tedy bez ozónu) by mohlo sluneční ultrafialové záření pronikat do mnohem nižších na vodu bohatých vrstev atmosféry, než je tomu v současnosti. Rychlost disociace vody by tedy mohla být mnohem větší a rychlost tvorby kyslíku by byla značně vyšší než v současnosti. Lze se tedy domnívat, že fotodisociace vodní páry mohla zajišťovat dostatečné množství

kyslíku v prebiotické atmosféře (snad až 1 % atmosféry neboli 0,05 PAL), takže se mohla vytvořit ozónová vrstva. Účinná ozónová clona by umožnila, omezením nepříznivého vlivu slunečního UV záření pronikajícího k zemskému povrchu, proliferaci živých organismů.

Pokud jde o destrukci organických sloučenin kyslíkem, Carruthers uznává, že by probíhala, ale ne tak rychle jako současné oxidace, protože kyslík byl mnohem zředěnější a nespolutřobil při bakteriálním rozkladu.⁶² Vezmeme-li ale v úvahu předpokládanou dobu trvání chemické evoluce, bylo by i malé množství kyslíku velmi škodlivé. Jestliže bylo přítomno malé množství kyslíku, byly důležité prekurzorové molekuly velmi pravděpodobně rozloženy (oxidovány) nebo byla jejich tvorba úplně znemožněna.

Živé organismy a organické molekuly potřebují ochranu před ultrafialovým zářením, kterou jim poskytuje ozónová vrstva, ale přítomnost kyslíku zabraňuje vývoji takových živých systémů a biologických molekul. Tento cyklický paradox je hlavním problémem při konstrukci modelu vývoje života. Jaké množství kyslíku je potřeba k tvorbě ozónové vrstvy a jaké maximální množství kyslíku může být tolerováno při syntéze molekulárních prekurzorů života? Těmito dvěma otázkám se budeme dále věnovat.

Berkner a Marshall⁶³ byli mezi prvními, kdo hodnotili vztah mezi O_2 a O_3 vzhledem k chemické evoluci. Předpokládají, že když koncentrace O_2 dosáhla 10^{-2} PAL, vzniklá koncentrace O_3 byla dostatečně velká, aby zabránila průniku smrtícího UV do vrchní vrstvy oceánu. Když dosáhla hladina O_2 10^{-1} PAL, koncentrace O_3 byla dostatečná k pohlcení veškerého UV záření o vlnové délce menší než 300 nm. Za těchto okolností bylo poprvé možné, aby se život přemístil z moře na pevninu. Po Berknerovi a Marshallovi zkoumali i jiní vědci vznik a vývoj ozónové vrstvy.⁶⁴

Byla vypracována hypotéza, že k vytvoření biologicky účinné ozónové vrstvy je potřeba velmi malé koncentrace atmosférického kyslíku (asi 10^{-3} PAL). Vezmeme-li však v úvahu několik dalších faktorů, zdá se, že bylo potřeba 0,1 PAL kyslíku. Carver⁶⁵ při posuzování dostupných informací dospěl k závěru, že by se biologicky účinná ozónová vrstva vytvořila, jakmile by obsah kyslíku přesáhl 0,01 PAL.

Krátce řečeno, vývoj ozónové vrstvy zjevně vyžaduje vyšší koncentrace kyslíku (0,01 až 0,1 PAL), než byl původní předpoklad, tedy 10^{-3} PAL. Zda se tato koncentrace volného kyslíku vytvořila pouze fotodisociací vody, nebo kombinovaným působením fotodisociace a fotosyntézy v řasách atd., je obtížné zjistit. Není dosud známo, jakou rychlostí je volný

kyslík odstraňován reakcí s redukujícími plyny, jako je metan, nebo minerály jako je Fe_3O_4 . V každém případě se zdá být zřejmé, že volný kyslík byl produkován fotodisociací od dávných dob a že tento zdroj volného kyslíku fungoval až do vytvoření takové koncentrace volného kyslíku, která umožnila vytvoření ozónové vrstvy jako filtru krátkovlnného ultrafialového záření (<300 nm), čímž byla produkce kyslíku v atmosféře pod ozónovou vrstvou fakticky zastavena.

Protože k utvoření účinné ozónové vrstvy je potřeba jen nízká hladina kyslíku, mohla krýt tato vrstva Země ještě před počátkem života. Tento názor však do této oblasti výzkumu vnáší rozpory.

Představa časně ozónové vrstvy má dva důsledky:

- 1) nutnost postulovat jiné zdroje energie pro prebiotické syntézy organických molekul než UV záření a
- 2) nutnost alternativního scénáře, který by umožnil průběh syntézy dostatku organických molekul a jejich následnou ochranu v oxidujícím prostředí.

Živé organismy jako zdroj volného kyslíku. Protože sopečné erupce nebyly zřejmě zdrojem volného atmosférického kyslíku a fotodisociace poskytovala volný kyslík jen do té doby, než byla vytvořena ozónová vrstva (patrně mezi 0,01 a 0,1 PAL kyslíku), všeobecně se soudí, že současných 21 % volného atmosférického kyslíku bylo a je výsledkem fotosyntézy v živých rostlinách. Obvykle se předpokládá, že tento přechod z předpokládaných bezkyslíkatých podmínek k současným 21 % volného kyslíku proběhl před 1-2 miliardami let. Obrázky 5-1 a 5-2 ilustrují odhady několika vědců týkající se zvyšování koncentrace kyslíku v čase.

Současné paleontologické důkazy však naznačují existenci podstatně více oxidující atmosféry dříve než před 1-2 miliardami let. Na začátku této kapitoly jsme hovořili o stáří prvního života na Zemi. Některé z těchto živých forem zřejmě produkovaly kyslík, úroveň jeho tvorby však stále zůstává sporným bodem. Mezi prvními organismy mohly být anaerobní bakterie, a v tom případě by atmosféra mohla být bezkyslíkatá. Walker⁶⁶ odhaduje stáří prvních autotrofních organismů na 3,5 miliardy let, počátek bakteriální fotosyntézy klade do doby před 3 miliardami let a fotosyntézu zelených rostlin asi před 2,5 miliardami let. Kyslík produkující organismy (cyanobakterie / sinice) by tak jistě existovaly před $2,8 \times 10^9$ lety a snad mnohem dříve (možná před 2,9-3,1 miliardami let). Podle Schopfa⁶⁷ vytvářely tyto organismy proměnlivou hladinu volného kyslíku. Nejprve byl kyslík spotřebováván vlivem redukujících minerálních látek (hlavně železnatých sloučenin).

Pak se množství kyslíku měnilo v závislosti na jeho přístupu k dalším redukujícím minerálům, sopečným emisím atd. až do doby, kdy asi před 2 miliardami let dosáhla jeho koncentrace poměrně konstantní hladiny. Až do nedávna ale mnoho vědců předpokládalo, že malé množství kyslíku existovalo ještě před 2 miliardami let. Walker přemítal: "Je těžké vysvětlit, proč zůstával tlak kyslíku nízký téměř 2 miliardy let poté, co se objevila na scéně fotosyntéza zelených rostlin."⁶⁸

Na základě narůstajícího množství důkazů utvořil Walker závěr, že kyslík, pocházející z fotosyntézy, se objevil před více než 3,8 miliardami let a doba existence prebiologické atmosféry musela tedy být "z geologického hlediska poměrně krátká."⁶⁹

Z informací o zastoupení izotopů síry v prekambriických minerálech usuzovali Churkov a spol. na "... existenci organismů redukujících sírany a přítomnost podstatného množství kyslíku v pozemské atmosféře před 3 miliardami let nebo dříve."⁷⁰ Podobně Eichmann a Schidlowski ukázali na základě výzkumu izotopů uhlíku, že "již před více než 3 miliardami let byla fotosyntézou vyprodukována většina z kyslíku, který kdy byl uvolněn do atmosféry. Tento kyslík je nyní vázán především ve formě Fe_2O_3 a SO_4^{2-} a jen 5 % tohoto množství je ve formě volného plynu v atmosféře."⁷¹ Také informace Schidlowskeho a spol.⁷² neprokazují žádnou dlouhodobou změnu v izotopovém složení uhličitánů od doby před 3 miliardami let. V podstatně novější studii ukazuje Schidlowski, že "stálost izotopového poměru mezi redukovaným a oxidovaným uhlíkem v geologických vzorcích z různých dob lze nejlépe interpretovat jako výraz biologické aktivity během posledních $3,5 \times 10^9$ let (nebo možná $3,8 \times 10^9$ let)."⁷³ Broecker⁷⁴ považuje stabilitu poměru $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ ve fanerozoických (mladší než 0,6 miliardy let) mořských uhličitanech za svědectví o tom, že obsah kyslíku musel být srovnatelný s jeho současnou hodnotou. Pokud je tento princip správný pro fanerozoické uhličitany, měl by také být správný pro uhličitany staré 3 miliardy let. Musíme tedy prohlásit, že současná hladina kyslíku existovala již před 3 miliardami let. Na základě informací, získaných Schidlowskim, vyvodili jiní vědci, že 80 % současné hladiny kyslíku existovalo během minulých 3,0 miliard let.⁷⁵

Kyslík produkující organismy vytvořily pravděpodobně velmi staré vápencové usazeniny (např. Bulawayan, 2,7–3,0 miliardy let) stejným způsobem, jakým se vytvářejí současné vápencové usazeniny vlivem řas. Podle množství vápence ve starých ložiscích lze usuzovat na to, že tehdejší hladina O_2 byla významná. Někteří autoři, např. Rutten⁷⁶, nesouhlasí s tímto závěrem a tvrdí, že protože byla koncentrace O_2 před 2,7 miliardami let jen 1 % současné úrovně, musel být metabolismus tehdejších organismů tvořících vápencové usazeniny odlišný od

současných řas. Protože nejsou známy žádné objektivní důvody podobné změny v metabolismu řas, je jediným důvodem podobného předpokladu touha prokázat existenci bezkyslíkaté prebiotické atmosféry. Stejně přijatelné nebo přijatelnější vysvětlení množství vápence ve starých ložiscích je, že hladina O_2 v těchto dobách byla právě taková, jak odpovídá množství nalezeného vápence.

Z této části kapitoly týkající se zdrojů volného atmosferického kyslíku vyplývá jako nejpravděpodobnější následující scénář. Dávná sekundární atmosféra obsahovala především N_2 , H_2O a CO_2 . Fotodisociací pak byla vyprodukována určitá nepatrná koncentrace volného kyslíku, zvýšená později fotosyntézou. Jakmile dosáhla hladina kyslíku koncentrace 0,01 až 0,1 PAL (samotnou fotodisociací nebo její kombinací s fotosyntézou), vytvořila se účinná ozónová vrstva a zastavila fotodisociací ve spodní vrstvě atmosféry. Zbývající vzrůst koncentrace kyslíku na současnou úroveň byl způsoben pouze fotosyntézou. Současné paleontologické údaje a skutečnost, že se živé organismy objevily před 3,5 miliardami let, naznačují, že tento vzrůst koncentrace kyslíku mohl proběhnout velmi dávno v geologické historii (před více než 3 miliardami let).

Tento scénář odkryl dvě významné otázky. První z nich je, jak vysoká hladina kyslíku byla vytvořena samotnou fotodisociací vody před vznikem života. Druhá pak, zda by tato hladina volného kyslíku nepříznivě ovlivňovala tvorbu a trvání organických biomonomerů. První otázkou jsme se již zabývali a zjistili jsme, že současné odhady obsahu O_2 v dávné atmosféře, pocházejícího z fotodisociace, se pohybují v rozmezí 10^{-15} PAL až 10^{-1} PAL. Levin tvrdí: "Je to široké rozmezí i pro výzkumy paleoatmosféry. Je tedy potřeba pokračovat v bádání na tomto poli."⁷⁷ I na druhou otázku je obtížné nalézt odpověď a ty, které byly navrženy, jsou jen kvalitativní. Například:

Pomalá oxidace většiny organických sloučenin probíhá i při nízké koncentraci kyslíku a její rychlost ještě značně vzroste za přítomnosti ultrafialového záření. Tyto a další argumenty uváděné v této souvislosti jsou tak závažné, že se dlouhodobější zachování organických sloučenin v prebiotickém oceánu zdá být nemožné poté, co se kyslík stal součástí zemské atmosféry.⁷⁸

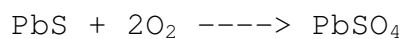
Vyjdeme-li ze současného modelu tvorby ozónu, můžeme také říci, že horní limit koncentrace volného kyslíku uvolněného pouhou fotodisociací vody, byl 0,01 až 0,1 PAL. Jak jsme již uvedli, značně spornou otázkou je, zda mohl být tento horní limit koncentrace kyslíku skutečně dosažen pouhou fotodisociací. Nejnižší současný odhad 10^{-15} PAL je jistě pro tvorbu ozónové vrstvy příliš nízký, kdežto 10^{-1} PAL je horní limit jako takový. Jedno je jisté - jestliže následující

výzkum potvrdí, že samotná fotodisociace umožnila tvorbu biologicky účinné ozónové vrstvy, bude nevyhnutelné věnovat se řešení dalšího problému. V dávné atmosféře by byl totiž dostatek kyslíku na to, aby došlo k účinnému zastavení tvorby a akumulace biomonomerů, a tím k zamezení průběhu chemické evoluce.

Geologické nálezy vztahující se k určení obsahu volného kyslíku v atmosféře během různých stadií geologické historie

Výsledky fyzikálního výzkumu atmosféry nejsou sice jednoznačné, pokud se týká obsahu kyslíku v dávné atmosféře, ale přinejmenším připouštějí možnost, že dávná atmosféra byla oxidující. Tato možnost se staví proti obvyklé představě, že tehdejší Země byla redukující. Přezkoumejme tedy poznatky a obvyklé důvody, které vedou k tvrzení o redukujících podmínkách na dávné Zemi a v její atmosféře.

Úvahy o volném atmosférickém kyslíku, odvozované z nálezů minerálů, se opírají o oxidační stupeň prvků ve vrstvách minerálů, které se utvořily během různých geologických fází. Například při reakci



probíhající při teplotě 25°C je rovnovážný tlak kyslíku potřebný pro oxidaci PbS 10^{-63} atm. Tento rovnovážný tlak je tak malý, že kdyby byl nějaký kyslík přítomen, došlo by k oxidaci PbS na PbSO₄. Pokud je tedy v hornině vyšší obsah PbS proti PbSO₄, dá se logicky předpokládat, že byla utvořena v bezkyslíkatém prostředí. Podobně, je-li hojněji zastoupen PbSO₄ než PbS, lze se domnívat, že byl při vzniku horniny přítomen kyslík. Je poučné si povšimnout, že podobný vztah můžeme nalézt i u jiných minerálů:

Redukovaná forma Oxidovaná forma

(utvořená za bezkyslíkatých (utvořená za přítomnosti
podmínek) kyslíku)

Fe₃O₄ (magnetit) Fe₂O₃ (hematit)

UO₂ - U₃O₈ (uraninit) UO₃

PbS (galenit) PbSO₄

ZnS (wurtzit) ZnSO₄ nebo ZnSO₄ . 7H₂O

Fe_{1-x}S (pyrhotit) FeSO₄ . 7H₂O

Z termodynamiky vyplývá, že rovnovážné tlaky kyslíku pro oxidace sulfidů (PbS, ZnS a FeS) na odpovídající sírany (SO_4^{2-}) jsou nižší než rovnovážný tlak pro přeměnu

$\text{U}_3\text{O}_8 - \text{UO}_2$ na UO_3 ($p_{\text{O}_2} = 10^{-21} - 10^{-23}$ atm.)

Rovnovážný tlak kyslíku pro přeměnu Fe_3O_4 na Fe_2O_3 ($p_{\text{O}_2} = 10^{-72}$ atm) je dokonce menší než hodnoty pro oxidace sulfidů. Vyčerpávající přehled různých prvků a jejich oxidačních stupňů, které jsou využívány v tomto typu výzkumu, byl podán Ruttenem.⁷⁹

Základní předpoklady. Interpretace údajů o oxidačních stupních minerálů závisí na dvou základních otázkách: Jak dlouho trvá oxidace daného minerálu? Jak dlouho byl daný minerál vystaven působení atmosféry během své tvorby nebo během přemístování a ukládání? Obvykle se předpokládá, že minerály bez kyslíku, či v nižších oxidačních stupních, byly utvořeny v bezkyslíkaté atmosféře. To však není jediná možnost. Musíme také brát do úvahy reakční rychlost (kinetiku). Předpovědi vycházející z termodynamické rovnováhy mají význam jen v případě dostatečného časového údobí. Pokud není minerál dostatečně dlouho v kontaktu s atmosférou nebo s vodou nasycenou atmosférickými plyny během transportu a ukládání, nedojde k ustavení rovnováhy. Protože jsou některé z těchto reakcí při okolních teplotách velmi pomalé, neznamená nezbytně přítomnost redukovaného nebo nepřítomnost zcela oxidovaného minerálu, že atmosféra neobsahovala kyslík. Na podporu tohoto tvrzení uvádíme v následujících odstavcích několik příkladů.

Charakteristické příklady minerálů: oxidy železa a uranu.

1. Oxidy železa

Oxidy železa nejsou nepochybným důkazem přítomnosti kyslíku v dávné atmosféře. Je to nejlépe patrné z oblastí stability různých minerálů železa za různých přirozených podmínek pH a oxidačně-redukčního potenciálu. Pokud klesne hladina kyslíku ze současné úrovně na 0,01 PAL, oblast stability se změní jen málo (viz obrázek 5-3). To znamená, že stabilita a podmínky ukládání oxidů železa jsou ovlivněny jen nepatrně. Rutten vyvozuje: "Z toho vyplývá, že důkazy ve prospěch bezkyslíkaté atmosféry nemohou vycházet z rovnováhy anorganických reakcí, ... ale z jejich kinetiky,"⁸⁰ nebo z rychlosti, při níž oxidace probíhá.

Podle Foxe a Dose⁸¹ nejsou známy žádné údaje týkající se rovnováhy mezi FeO , Fe_3O_4 a Fe_2O_3 jako funkce koncentrace O_2 . Holland⁸² vysvětluje, že Fe_2O_3 je stabilní za extrémně nízkých koncentrací O_2 , což vysvětluje jeho přítomnost v sedimentech starých více než 2,5 miliardy let, kdy podle předpokladu

neobsahovala atmosféra žádný kyslík. Jiní geologové však využívají přítomnosti Fe_2O_3 jako důkazu podstatné hladiny O_2 v prebiotické atmosféře. Davidson⁸³ tvrdí, že mocná ložiska hematitu (Fe_2O_3) jsou slučitelná pouze s přítomností volného kyslíku v povrchových vodách v době již před 3,4 miliardami let. Skutečnost, že v sedimentech všech stáří byly nalezeny všechny oxidační stupně železa od FeO , přes Fe_2O_3 k FeS_2 naznačuje, že přítomnost daného minerálu určují místní a nikoliv všeobecné podmínky. Například před 0,4 až 0,5 miliardami let (když hladina kyslíku dosahovala současné úrovně) byly ukládány redukované minerály v bezkyslíkatých vodách (místní bezkyslíkaté prostředí) podobných dnešnímu Indickému oceánu, kde se v hloubce pod 150 metrů nevyskytuje v podstatě žádný volný kyslík. Nález těchto sedimentů by mohl vést k chybnému závěru, že tehdejší atmosféra neobsahovala kyslík. Krecji-Graf vyvozuje na základě těchto poznatků, že geologické důkazy nemohou být použity k utvoření všeobecného závěru týkajícího se zemské atmosféry.⁸⁴ Jiné vysvětlení pozorovaných variací oxidačních stavů železa je, že se hladina kyslíku v dávné atmosféře měnila. Schopf udává, že takové podmínky existovaly pravděpodobně před 3,0 miliardami let a dříve.⁸⁵

Názor, že červené naplaveniny (Fe_2O_3) tvoří nejlepší indikátor prvního výskytu kyslíku, je stále velmi rozšířený⁸⁶ navzdory neprůkaznému vztahu mezi hladinou kyslíku a oxidačním stavem železa. Podle Walkera⁸⁷: "Přítomnost vrstevnatých útvarů obsahujících oxidy železa v Isuaských skalách západního Grónska naznačuje, že se kyslík uvolněný při fotosyntéze objevil na Zemi před 3,8 miliardami let." Walkerova úvaha předpokládá, že před tím, než se začal uvolňovat kyslík při fotosyntéze, se objevilo množství metabolických procesů, které mohly ovlivňovat atmosféru (např. fermentace, bakteriální fotosyntéza a redukce síranů). Existence prebiotické atmosféry složené z dusíku, oxidu uhličitého a vodní páry musela být tedy z geologického hlediska velmi krátká.

2. Oxidy uranu

Poněkud jasnější obrázek poskytují sedimenty $\text{UO}_2 - \text{UO}_3$ z útesu Dominion a z oblasti Witwatersrand v jižní Africe. Minerální ložiska obsahují uraninit (UO_2), galenit (PbS), pyrit (FeS_2) a zlato. Všechna tato ložiska vznikla sedimentací. Minerály pocházejí ze zvětralé žulové skály a byly neseny prudce tekoucími řekami do vějířovité delty, kde říční proud ztrácel rychlost a minerály se postupně usazovaly. To prokazuje přítomnost ohlazených sférických zrn uraninitu o průměru zhruba 0,0655 mm v sedimentu. Tento druh sedimentu se nazývá úlomkovitý nebo nanesený sediment a okolí, v němž byl uložen, se nazývá říční vějířovitá delta (fluvial fan-delta) nebo copánkovitá aluviální nížina (braided alluvial plain). Je

jisté, že minerály byly při svém zvětrávání a ukládání před zhruba 2,5 - 2,75 miliardami let v kontaktu s atmosférou. Protože tyto naplaveniny obsahují redukované formy minerálů, obvykle se soudí, že k jejich utvoření došlo v prostředí bez kyslíku. Jak ale Miller a Orgel vysvětlují: "... tyto minerály mohly být ukládány za místních redukujících podmínek, nebo proces probíhal, aniž došlo k utvoření rovnováhy s atmosférou."⁸⁸ Většina geologů učiní pohotový závěr, že minerály byly v rovnováze díky výše zmíněnému transportu řekou. To je však také otázka kinetiky. Pokud byly například minerály přenášeny a ukládány velmi rychle, nebyl čas na utvoření rovnováhy s atmosférou. Za těchto podmínek by se ukládal uran v nižším oxidačním stupni jako UO_2 i v přítomnosti podstatných hladin O_2 . Ale k rychlé sedimentaci nemohlo dojít, když jsou jednotlivá zrna minerálů dobře ohlazená a roztržena.

Jinou možností je, že tyto sedimenty byly transportovány během doby ledové. Velmi chladné okolí by snížilo rychlost reakce UO_2 s O_2 . UO_2 by tedy byl ukládán i v přítomnosti O_2 . Existují doklady o přítomnosti ledovců v jižní Africe před 2,5 miliardami let a zároveň se ukazuje, že současné deposity UO_2 se vytváří v chladném prostředí. Je skutečností, že se v řece Indu v současném Pákistánu vyskytuje úlomkovitý uraninit.⁸⁹ Tyto úvahy a údaje ukazují, že je nezbytné znát rychlosti jednotlivých reakcí před utvořením konečného závěru.

Trow navrhl mechanismus pro ukládání depositů uranu ve Witwatersrandu a v jezeře Elliot v kyslíkaté atmosféře během dob ledových, pro které je typický nedostatek CO_2 . Tvrdí, že "bezokyslíkatá atmosféra v těchto dobách (před 2,25 - 2,5 miliardami let) zřejmě neexistovala."⁹⁰

Je možno souhlasit s Walkerem⁹¹, že důkaz existence bezokyslíkaté atmosféry, který poskytují úlomkovitý uraninit a pyrit ve Witwatersrandu není nevyvratitelný. Z Hollandovy⁹² práce vyplývá, že horní limit relativního zastoupení kyslíku kolem 1 % je v souladu s existencí úlomkovitého uraninitu. Podle Muiry⁹³ je úlomkovitý pyrit (redukovaný minerál) běžný dokonce i dnes. Skinner⁹⁴ shrnul různé příspěvky na pracovním setkání "U.S. Geological Survey Quartz-Pebble Workshop" prohlášením, že současné teorie týkající se atmosférického vlivu na rudy, jaké jsou ve Witwatersrandu, pokulhávají, současné úvahy nejsou správné a absence atmosférického kyslíku nemůže spolehlivě vysvětlit existenci slepenců uranoželeznatých křemenných oblázků. Navrhoval neutrálnější atmosféru jako alternativu k redukující i oxidující atmosféře.

Mnoho nejasností kolem shromažďování minerálů bylo rozřešeno D.E. Grandstaffem,⁹⁵ který vytvořil kinetickou analýzu oxidace U^{4+} na U^{6+} . Uraninit (UO_2-U^{4+}) je termodynamicky nestabilní při

tlaku kyslíku větším než přibližně 10^{-21} atmosféry. Nicméně Grandstaffova kinetická analýza dokládá, že uraninit mohl bez oxidace přetrvat za tlaku kyslíku až 0,01 PAL. Tak usazování uranoželeznatých slepenců

...nepotřebuje nezbytně bezkyslíkatou atmosféru, jak bylo dříve navrhováno, ale může se uskutečnit v atmosféře obsahující malé množství kyslíku, které odpovídá fotodisociaci vodní páry a omezené aerobní fotosyntéze.⁹⁶

Důležitým závěrem Grandstaffovy kinetické analýzy je, že tvorba minerálů v nižším oxidačním stupni, jakými jsou UO_2 nebo Fe_3O_4 , nevyžaduje absenci volného kyslíku v atmosféře. Z toho vyplývá, že obvyklé argumenty, které zakládají existenci redukující atmosféry na přítomnosti redukovaných minerálů, jsou nepřesvědčivé. K oxidaci U^{4+} nedojde v atmosféře, která je přinejmenším středně oxidující, tj. do 0,01 PAL. Již dlouho je známo, že termodynamicky příznivou reakci je třeba jednoduše chápat jako reakci, která je dovolena, nemusí však probíhat. Pouze kinetickou analýzou mohou být získány detaily o tom, zda reakce proběhla a jakou rychlostí.

Souhrn poznatků získaných z minerálů. Detailně jsme přezkoumali důkazy o existenci redukující prebiotické atmosféry, odvozené z údajů o minerálech uranu a železa. Protože nelze s jistotou popsat kinetiku oxidací těchto minerálů, je obtížné utvořit věrohodný závěr, zda existovala doba, kdy zemská atmosféra postrádala volný kyslík. Erich Dimroth a Michael Kimberley prozkoumali řadu minerálů včetně sloučenin uranu a železa, a uzavírají:

V rozložení uhlíku, síry, uranu nebo železa v sedimentech jsme nenalezli žádný důkaz o tom, že by kdykoli během celé geologické historie, zaznamenané v dobře konzervovaných naplavených horninách, existovala bezkyslíkatá atmosféra.⁹⁷

Souhrn a závěr

V této kapitole jsme se zamýšleli nad třemi důležitými otázkami. Nejprve jsme se zabývali časem, který měla chemická evoluce k dispozici. Na základě důkazů nalezených v molekulárních fosiliích a mikrofosiliích bylo zjištěno, že život vznikl téměř okamžitě (v geologickém časovém měřítku) po té, co zemská kůra vychladla a stabilizovala se, tj. před zhruba 4,0 miliardami let. Tím zbylo jen málo přes 100 miliónů let (či ještě méně) pro uskutečnění chemické evoluce. Dále jsme přezkoumali vlastnosti a složení ranné zemské atmosféry a zjistili jsme, že nebyla silně redukující, jak se předpokládalo v posledních třiceti letech. Názor vědecké veřejnosti na dávnou atmosféru se v současnosti mění. V době, kdy vzniká tato kniha, je široce přijímána představa o

podstatně neutrálnější prebiotické atmosféře složené z CO_2 , N_2 , H_2O a snad z 1 % H_2 . Existuje sporný bod v tom, zda dávná Země a její atmosféra mohly být opravdu oxidující.

Nakonec jsme se věnovali důležité otázce obsahu kyslíku na dávné Zemi.

Byly přezkoumány tři oblasti důkazů, které vypovídají o existenci volného kyslíku v prebiotické zemské atmosféře: (1) informace dokládající přítomnost kyslík produkujících živých forem v horninách starších než $3,5 \times 10^9$ let, (2) informace o existenci oxidovaných minerálních látek v horninách starších než $3,5 \times 10^9$ let a (3) výpočty určující, že až do 0,1 PAL mohl být O_2 produkován fotodisociací vody. Ačkoliv nelze učinit žádný přesný závěr týkající se hladiny kyslíku v atmosféře dávné Země, jsou tyto výsledky velmi sugestivní.

Hromadění důkazů o tom, že na dávné Zemi existovala oxidující atmosféra, zvýrazňuje tajuplnost vzniku života. Pokud budou důkazy tohoto typu i nadále přibývat, budou se muset teorie chemické evoluce odvolávat na náhodný výskyt proměnného nebo místního redukujícího prostředí na prebiotické Zemi. Tato mikroprostředí mohla existovat (jak ukazují redukované minerály). Otázkou je, zda byla vhodná a zda existovala dost dlouho, aby v nich mohl vzniknout život. Naděje na nalezení takové vhodné lokality, trvající na prebiotické Zemi dostatečně dlouhou dobu, je velmi malá.

Modelové pokusy popsané v kapitole 3 převážně předpokládaly silně redukující atmosféru. Tyto pokusy pokrývají údobí od Millerova klasického experimentu zveřejněného v roce 1953 do poloviny sedmdesátých let. Ve skutečnosti si lze všimnout myšlenkového posunu k méně redukující atmosféře, k němuž došlo v době letu Vikingu na Mars. Ačkoliv, jak vyplývá z kapitoly 5, byly významné důkazy, svědčící o přítomnosti kyslíku na dávné Zemi, k dispozici již před rokem 1976, teprve objev oxidujícího prostředí na Marsu bez známek života pomohl obrátit pozornost vědců na otázku historie kyslíku na Zemi.

Nyní lze očekávat, že pokusy s prebiotickou atmosférou budou přehodnoceny ve světle důkazů o tom, že dávná Země a její atmosféra byly pravděpodobně méně redukující, než se původně soudilo, nebo možná dokonce oxidující. Jsou určité náznaky toho, že již probíhají pokusy prováděné s podstatně přijatelnější atmosférou. Několik pokusů používajících neutrálnější až slabě oxidující atmosféru bylo zmíněno již dříve v této kapitole. Jejich výsledkem byly obvykle méně rozmanité a méně koncentrované produkty, než látky získané při srovnatelných experimentech, které probíhaly za více redukujících podmínek. Zdá se však, že to nijak nezmenšuje

obecné přesvědčení o tom, že chemická evoluce na této planetě zcela jistě proběhla.

Literatura

1. R.E. Dickerson, 1978. *Sci.Am.* **239**, 70.
2. "How Did Life Begin?" 6.srpna 1979, *Newsweek*, str. 77.
3. Dickerson, *Sci.Am.*, str. 70.
4. G. Tilton a R. Steiger, 1965. *Science* **150**, 1805; Robert H. Dott, Jr., Roger L. Batten a Randall D. Sale, 1981. *Evolution of the Earth*. New York: McGraw-Hill, 3. vydání, str. 157.
5. S. Fox a K. Dose, 1972. *Molecular Evolution and the Origin of Life*. San Francisco: W.H. Freeman & Co., str. 286.
6. Tamtéž, str. 289.
7. J.W. Schopf a E.S. Barghoorn, 1967. *Science* **156**, 508.
8. H. Knoll a E.S. Barghoorn. 1977. *Science* **198**, 396.
9. H.D. Pflug a H. Jaeschke-Boyer. 1979. *Nature* **280**, 483; C. Ponnampereuma, 24.září 1979. *Time*; C. Ponnampereuma, 10.září 1979. American Chemical Society Meeting, Washington, D.C.
10. J.W. Schopf. 30.června 1980. *Nesweek*, str. 61.
11. D.R. Lowe. 1980. *Nature* **284**, 441; M.R. Walter, R. Buick a J.S.R. Dunlop, 1980. *Nature* **284**, 443.
12. D. Bridgewater, J.H. Allaart, J.W. Schopf, C. Klein, M.R. Walter, E.S. Barghoorn, P. Strother, A.H. Knoll a B.E. Gorman, 1981. *Nature* **289**, 51; Nigel Henbest, 1981. *New Scientist* **92**, 164.
13. J. Brooks a G. Shaw, 1973. *Origin and Development of Living Systems*. London a New York: Academic Press, str. 73.
14. Tamtéž, str. 78.
15. Tamtéž, str. 78.

16. S.L. Miller, 1982. V *Mineral Deposits and the Evolution of the Biosphere*, ed. H. Holland a M. Schidlowski. New York: Springer-Verlag, str. 157.
17. S. Awramic, P. Cloud, C. Curtis, R. Folinsbee, H. Holand, H. Jenkyns, J. Langridge, A. Lerman, S. Miller, A. Nissenbaum, J. Veizer, 1982. V *Mineral Deposits and the Evolution of the Biosphere*, ed. H. Holland a M. Schidlowski, str. 311.
18. M. Waldrop, 19. února 1979. *Chem.Eng.News.*, str. 26; J.B. Pollock a D.C. Black, 1979. *Science* **205**, 1.
19. P.H. Abelson, 1979. *Science* **205**, 1.
20. D.M. Butler, M.J. Newran, R.T. Tolbert, Jr., 1978. *Science* **201**, 522.
21. L. Garmon, 1981. *Science News* **119**, 72.
22. J. Oro, 1971. V *Proceedings of the Second Conference on Origins of Life*, ed. L. Margulis. Washigton, D.C.: The Interdisciplinary Communication Assoc., Inc., str.7.
23. Fox a Dose, *Molecular Evolution and the Origin of Life*, str. 40.
24. R.T. Revelle, 1965. *J.Marine Res.* **14**, 446.
25. P.H. Abelson, 1966. *Proc.Nat.Acad.Sci. U.S.* **55**, 1365.
26. Brooks a Shaw, *Origin and Development of Living Systems*, str. 77.
27. A.I. Oparin, 1938. *The Origin of Life* (do angličtiny přeložil S. Morgulius). New York: Macmillan.
28. H.C. Urey, 1952. *The Planets*. New Haven, Conn.: Yale University Press.
29. S.L. Miller, H.C. Urey, 1959. *Science* **130**, 245.
30. Fox a Dose, *Molecular Evolution and the Origin of Life*, str. 43.
31. H.D. Holland, 1962. V *Petrologic Studies*, ed. A.E.J. Engel, H.L James a B.F. Leonard, Geological Society of America, str. 447.
32. J.C.G. Walker, 1977. *Evolution of the Atmosphere*. New York: Macmillan, str. 210, 246.

33. J.C.G. Walker, 1978. *Pure Appl.Geophys.* **116**, 222.
34. J.S. Levin, 1982. *J.Mol.Evol.* **18**, 161.
35. H.D. Holland, Harvard University, Dept. of Geological Sciences, osobní sdělení, 24. června 1983.
36. Garmon, *Science News*, str. 72.
37. R.A. Kerr, 1980. *Science* **210**, 42.
38. R.C. Cowen, duben 1981, *Technology Review*, str. 8.
39. Waldrop, *Chem.Eng.News.*, str.26; Pollock a Black, *Science*, str. 56.
40. J. Pinto, G.R. Gladstone a Y.L. Yung, 1980. *Science* **210**, 183.
41. K. Kawamoto a M. Akabosh, 1982. *Origins of Life* **12**, 133; C. Folsome, A. Brittain a M. Zelko, 1983. *Origins of Life* **13**, 49.
42. W.M. Garrison, D.C. Morrison, J.G. Hamilton, A.A. Benson a M. Calvin, 1951. *Science* **114**, 416.
43. I.S. Shklovskii a C. Sagan, 1966. *Intelligent Life in the Universe*. New York: Dell, str. 231.
44. Fox a Dose, *Molecular Evolution and the Origin of Life*, str. 44-45.
45. Tamtéž, str. 44.
46. Tamtéž, str. 45.
47. Walker, *Evolution of the Atmosphere*, str. 224.
48. Kenneth M. Towe, 1978. *Nature* **274**, 657.
49. L.V. Berkner a L.C. Marshall, 1965. *J.Atmos.Sci.* **22**, 225.
50. R.T. Brinkmann, 1969. *J.Geophys.Res.* **74**, 5355.
51. Tamtéž, str. 5366.
52. Walker, *Evolution of the Atmospher*, str. 224.
53. L. Van Valen, 1971. *Science* **171**, 439.

54. J.H. Carver, 1981. *Nature* **292**, str. 136.
55. H.D. Holland, Harvardská univerzita, katedra geologických věd, osobní sdělení, 24.června, 1983.
56. J.C.G. Walker, 1978. *Pure Appl.Geophys* **117**, 498; J.F. Kasting, S.C. Liu a T.M. Donahue, 1979. *J.Geophys.Res.* **83**, 3097; T.B. Vander Wood a M.H. Thiemens, 1980. *J.Geophys.Res.* **85**, 1605; J.F. Kasting a J.C.G. Walker, 1981. *J.Geophys.Res.* **86**, 1147.
57. V.M. Canuto, J.S. Levine, T.R. Augustsson a C.l. Imhoff, 1982. *Nature* **296**, 816.
58. Tamtéž, str. 820.
59. News Release #30-72-7 z Výzkumné laboratoře amerického námořnictva, Washington, D.C., 1972 a Preliminary Report Lunar Surface Ultraviolet Camera/Spectrograph Apollo 16 experiment S-201 (předběžná zpráva z výzkumu slunečního povrchu spektrografickou ultrafialovou kamerou na palubě Apollo 16, pokus S-201).
60. G.R. Carruthers, Výzkumná laboratoř amerického námořnictva, osobní sdělení, 20.února 1979 a 28.září 1981.
61. G.R. Carruthers, T. Page, R.R. Meir, 1976. *J.Geophys.Res.* **81**, 1665.
62. G.R. Carruthers, osobní sdělení, 20.února, 1979.
63. Berkner a Marshall, *J.Atmos.Sci.*, str. 225.
64. J.S. Levine, *J.Mol.Evol.*, str. 161; Carver, *Nature*, str. 136; M.L. Ratner a J.C.G. Walker, 1972. *J.Atmos.Sci.* **29**, 803; A.J. Blake a J.H. Carver, 1977. *J.Atmos.Sci.* **34**, 720; E. Hesstvedt, S. Henriksen a H. Hjartarson, 1974. *Geophysica Norvegica* **31**, 1; J.F. Kasting a T.M. Donahue, 1980. *J.Geophys.Res.* **85**, 3255.
65. Carver, *Nature*, str. 136-8.
66. Walker, *Evolution of the Atmosphere*, str. 263.
67. J.W. Schopf. U.C.L.A., Dept. of Earth and Planetary Sciences (Kalifornská univerzita, Los Angeles, katedra nauk o Zemi a planetách), osobní sdělení, 23.června 1983.
68. Walker, *Evolution of the Atmosphere*, str. 266.
69. Walker, 1978. *Pure Appl.Geophys.* **116**, str. 230.

70. F.V. Chukhrov, V.I. Vinogradov a L.P. Ermilova, 1970. *Mineral.Deposita* (Berl.) **5**, 209. Citát ze str. 220.
71. R. Eichmann, M. Schidlowski, 1975. *Trans.Am.Geophys. Union* **56**, 176.
72. M. Schidlowski, R. Eichmann, C.E. Junge, 1975. *Precambrian Res.* **2**, 1; M. Schidlowski, 1976. V *The Early History of the Earth*, ed. B. Windley. New York: Wiley a Sons, str.525.
73. M. Schidlowski, 1982. V *Mineral Deposits and the Evolution of the Biosphere*, ed. h. Holland a M. Schidlowski, str. 103.
74. W.S. Broecker, 1970. *J.Geophys.Res.* **75**, 3553.
75. S. Awramik a spol., v *Mineral Deposits and the Evolution of the Biosphere*, str. 314.
76. M.G. Ritten, 1971. *The Origin of Life by Natural Causes*. New York: Elsevier Publishing Co., str. 319.
77. Levine, *J.Mol.Evol.*, str.167.
78. S.L. Miller a L.E. Orgel, 1974. *The Origins of Life on the Earth*. Englewood Cliffs, New Jersey: Prentice-Hall, str. 119; S.L. Miller, v *Mineral Deposits and the Evolution of the Biosphere*, str. 160.
79. Ritten, *The Origin of Life by Natural Causes*, str. 253.
80. Tamtéž, str. 282.
81. Fox a Dose, *Molecular Evolution and the Origin of Life*, str. 44.
82. Holland, v *Petrologic Studies*, str. 447.
83. Charles F. Davidson, 1965. *Proc.Nat.Acad.Sci.USA* **53**, 1194.
84. Graf K. Krejci, citovaný v Fox a Dose, *Molecular Evolution and the Origin of Life*, str. 44.
85. J.W. Schopf, U.C.L.A., Dept. of Earth and Planetary Sciences (Kalifornská univerzita, Los Angeles, katedra nauk o Zemi a planetách), osobní sdělení, 23.června 1983.
86. Walker, *Evolution of the Atmosphere*, str. 262.
87. J.C.G. Walker, 1978. *Pure Appl.Geophys.* **116**, 230.

88. Miller a Orgel, *The Origins of Life on Earth*, str. 50.
89. P.R. Simson a J.F.W. Bowle, 1977. *Phil.Trans.R.Soc.Lond.* **A286**, 527. Odkaz v K.M. Towe, 1978. *Nature* **274**, 657.
90. James Trow, 16.března 1978. "Uraniferous Quartz-Pebble Conglomerates and their Chemical Relation to CO₂ - Deficient Atmosphere Synchronous with Glaciations of Almost Any Age," Dept. of Geology, Michigan State University, East Lansing, Michigan. (Uveřejněno také na GSA Annual Meetings, Seattle, Washington, 1977.)
91. Walker, *Evolution of the Atmosphere*, str. 262.
92. H.D. Holland, 1975. Komentář na konferenci o The Early History of the Earth (Dávná historie Země), univerzita v Leicesteru, Anglie. V Walker, *Evolution of the Atmosphere*, str. 262.
93. M. Muir, 1975. Komentář na konferenci o The Early History of the Earth (Dávná historie Země), univerzita v Leicesteru, Anglie. V Walker, *Evolution of the Atmosphere*, str. 262.
94. B.J. Skinner, 13.-15.října 1975. Vyžádané ústní shrnutí příspěvků na U.S. Geol. Survey Quartz-Pebble workshop, Golden, Colo.
95. D.E. Grandstaff, 1980. *Precambrian Res.* **13**, 1.
96. Tamtéž, str. 1.
97. E. Dimroth a M.M. Kimberley, 1976. *Can.J.Earth Sci.* **13**, 1161.
-

KAPITOLA 6

Věrohodnost a vliv badatele

Naše diskuze o prebiotické polévce, uvedená v kapitole 4, byla převážně věnována procesům vedoucím ke zničení nezbytných chemických látek. Kritický pohled na údaje o složení dávné Země a její atmosféry v kapitole 5 ukazuje, že podmínky byly tehdy mnohem méně redukující a méně podporovaly abiogenní syntézy, než by odpovídalo dřívějším představám. Má-li mít teorie abiogeneze nějakou podporu, pak *musí tato podpora vycházet přímo z prebiotických modelových experimentů*. Publikované výsledky modelových pokusů ukazují, že v prebiotických vodních nádržích mohly být přítomny důležité prekurzory v dostatečných koncentracích. To je však v ostrém rozporu se závěrem plynoucím z úvah v kapitole 4. Odpověď na to, co je příčinou tohoto rozporu, je zřejmá, zabýváme-li se podrobnostmi prebiotických modelových experimentů.

Pokusme se nyní stanovit hodnotu různých druhů prebiotických modelových pokusů (kapitola 3) a technik, použitých v těchto pokusech. Každou z těchto technik krátce popíšeme a pokusíme se zhodnotit její geochemickou věrohodnost. Pak seřadíme experimentální techniky do stupnice podle jejich rostoucí geochemické nevěrohodnosti (toto uspořádání je do jisté míry věcí názoru a lze je v průběhu času revidovat). Naším cílem je přitom poukázat na závažnou potřebu kritérií, která by stanovila přijatelnou úlohu badatele v prebiotických modelových pokusech.

Analýza různých typů modelových pokusů a použitých technik

Modelové pokusy využívající ultrafialové záření

V literatuře jsou popsány úspěšné syntézy aminokyselin a jiných organických sloučenin uskutečněné v laboratorních modelových pokusech pomocí ultrafialového záření. Tyto pokusy byly prováděny s ultrafialovým zářením kratších vlnových délek, tj. < 200 nm, zatímco UV záření vyšších vlnových délek, tj. nad 200 nm,¹ které má značně destruktivní účinky, nebylo používáno.² Tento postup byl velmi účinný pro dosažení úspěšných syntéz, ale jeho použití v prebiotických modelových experimentech je pochybné, protože prebiotickou Zemi ozařovalo celé sluneční spektrum.

Fotosenzibilizace

Jak je uvedeno v kapitole 3, fotosenzibilizace umožnila využití dlouhovlnnější části ultrafialového záření (200 - 300 nm), na které je sluneční světlo bohaté, pro fotochemické reakce v prebiotické atmosféře redukujících plynů. Páry rtuti, formaldehyd a sirovodík byly použity jako fotosenzibilizační činidla, která absorbovala energii a předávala ji plynům prebiotické atmosféry; tak byla při reakcích využita i dlouhovlnnější část spektra.³

Činidlo s vhodným absorpčním spektrem může být prospěšné i jinak. Například sirovodík může tvořit ochranný štít proti dlouhovlnnějšímu UV, které způsobuje degradaci aminokyselin a jiných biomonomerů a nezbytných meziproductů vytvořených v atmosféře.⁴ Tento ochranný štít plní svou funkci jen v případě, že sirovodík, který absorbuje světlo o vlnových délkách 200 - 260 nm, je přítomen v dostatečné koncentraci. Organické molekuly, které by toto záření absorbovaly a rozkládaly se, jsou tak chráněny.⁵ Pokud tento proces probíhal v prebiotické atmosféře, podpořil tvorbu a akumulaci chemických látek nezbytných pro vznik života.

Není však jisté, zda formaldehyd nebo sirovodík mohly dosáhnout koncentrace nezbytné pro to, aby mohly působit jako fotosenzibilizační činidla na dávné Zemi, nebo aby mohly ochránit organické sloučeniny před rozkladem vyvolaným působením světla. Jak již bylo uvedeno, samotný formaldehyd i sirovodík podléhají rozkladu vlivem světelného záření a nezdá se, že by existoval vhodný štít pro jejich ochranu.

Ve srovnání s formaldehydem splňuje sirovodík lépe předpoklady pro podvojnou úlohu fotosenzibilizačního činidla a ochranného štítu. Jeho fotolýza, vedoucí ke vzniku volné síry a vodíku, by však proběhla během 10 000 let⁶ a není znám žádný mechanismus, kterým by se sirovodík potřebnou měrou doplňoval.

Pátrání po dalším fotosenzibilizačním činidle pokračuje, výběr je ale omezený. Je totiž nezbytné předpokládat, že takové činidlo bylo jedním z jednoduchých plynů prebiotické atmosféry nebo jeho derivátem. Rtuťové páry nemohly fungovat na dávné Zemi jako fotosenzibilizační činidlo ve větším rozsahu, i když snad místně a krátkodobě takto působit mohly. Předpokládá se, že byly uvolňovány při sopečné činnosti.⁷ Samotná existence fotosenzibilizace není zpochybňována, neboť např. při fotosyntéze funguje jako fotosenzibilizační činidlo chlorofyl, který umožňuje rostlinám využít sluneční světlo. Využití této metody při modelových pokusech však předpokládá geochemické podmínky, které jsou nevěrohodné. Hlavní otázkou tedy je, zda na dávné Zemi existovaly podmínky nezbytné pro fotosenzibilizaci a tvorbu ochranného štítu.

Ostatní zdroje energie: Teplo

Pokusy využívající teplo, elektrický výboj a tlakové vlny jsou rovněž předmětem kritiky. Pokusy využívající teplo vyvolávají vážné otázky, protože na Zemi neexistovaly, snad kromě krátkých údobí, oblasti, kde by byla lokálně vysoká teplota ($> 150^\circ$). Sopky, fumaroly, chrličové páry atd. patří mezi zdroje tepelné energie, jsou ale od sebe příliš vzdálené a doba jejich působení není geologicky významná.⁸ Vědci, kteří považují teplo za účinný zdroj energie, obhajují zpravidla svůj názor tvrzením, že ke vzniku protobuněk došlo velmi rychle, takže k tomu postačoval přísun energie během geologicky krátké doby. Až do objevení se fotosyntézy byl však nezbytný plynulý přísun chemických meziproduktů.⁹ Z tohoto důvodu se většina vědců domnívá, že pouze hlavní zdroj energie, tj. ultrafialové záření, mohl umožnit vznik života.

Někteří badatelé předpokládají, že prebiotické plyny vanoucí přes horkou lávu ($500 - 1\ 000^\circ\text{C}$) byly na krátkou dobu vystaveny působení této vysoké teploty. Mírně ohřáté plyny, které nebyly ve volné přírodě ničím omezovány, by však rychle unikly z dosahu horké lávy, aniž by se ohřály na potřebnou reakční teplotu.¹⁰ V omezenějším prostoru např. průduchů nebo trhlin ve skalách by vytvořené organické molekuly zůstaly pod vlivem tepla a došlo by tak k jejich rozkladu.¹¹

Blesk

Cílem pokusů s elektrickým výbojem bylo simulovat působení blesků na dávné Zemi. Teplota hlavní větve blesku je však příliš vysoká ($20\ 000^\circ\text{K}$), než aby byla využitelná pro vhodné syntézy, a navíc způsobuje okamžitý rozklad všech produktů.¹² V některých pokusech byl také napodobován mnohem mírnější výboj, tzv. koronový, který vzniká mezi hroty objektů. Hustota energie používaná při těchto pokusech je však o devět řádů větší, než by odpovídalo přírodnímu jevu.¹³ V Millerově experimentu bylo použito tak veliké množství energie, že "dvoudenní výboj byl srovnatelný s množstvím energie, které dopadlo na povrch prebiotické Země za dobu asi 40 milionů let."¹⁴ Dalším z geologického hlediska nepřijatelným rysem pokusů s elektrickým výbojem je, že jsou prováděny zpravidla v uzavřených systémech obsahujících zhruba 75 % vodíku.¹⁵ (Na počátku je sice podstatně přijatelnější koncentrace vodíku, při reakcích však dochází k jeho uvolňování, a na rozdíl od otevřeného systému je zamezeno jeho úniku.)

Sifony

Při všech prebiotických experimentech s teplem,¹⁶ elektrickým výbojem¹⁷ a ultrafialovým zářením¹⁸ (včetně fotosenzibilizace) byly používány sifony. Sifony umožňují dosažení vyššího

výtěžku produktů rovnovážných reakcí, v nichž by jinak rozklad převážil nad syntézou (tj. $K_{eq} \ll 1$).¹⁹ Sifony průběžně zachycují malé frakce reakčních produktů. Odstraňování produktů z místa jejich tvorby způsobí, že reakce opět probíhá až do obnovení rovnováhy. Tímto způsobem lze účinně udržovat reakce v chodu až do vyčerpání výchozích látek.

Podstata této metody je v souladu s Le Chatelierovým principem, podle něhož vnější zásah do chemické reakce nacházející se v rovnováze, představovaný v tomto případě sifonem, vyvolá reakci působící ve směru obnovení rovnovážného stavu. Podobně jako použití koncentrovaných reakčních činidel je tato metoda uznávaným prostředkem zkracujícím reakční dobu na realizovatelnou hodnotu.

Odstraňováním z reakční směsi jsou také produkty chráněny před následným rozkladem způsobeným zdrojem energie, který umožnil jejich vznik. Carl Sagan výstižně komentoval toto ochranné působení při pokusech:

Tento problém, o němž jsme hovořili, je velmi obecný. Používáme zdroj energie k tvorbě organických molekul. Bylo zjištěno, že tentýž zdroj energie může působit destruktivně na vzniklé organické molekuly. Organický chemik dá pochopitelně přednost odstranění reakčních produktů z dosahu zdroje energie před jejich zničením. Ale pokud hovoříme o vzniku života, myslím, že bychom neměli opominout skutečnost, že degradace probíhá současně se syntézou a že průběh reakce může být odlišný, pokud nejsou její produkty přednostně odstraňovány. Při rekonstrukci vzniku života si musíme vytvořit rozumný scénář, který se nějakým způsobem vyhne této komplikaci. (Zdůrazněno autory knihy.)²⁰

Pouhá zběžná prohlídka publikovaných článků a symposií týkajících se tohoto problému ukazuje, že neexistuje jednotný názor na "rozumný scénář." Předkládaná řešení jsou terčem kritiky a diskusí. Aniž bychom zabíhali do detailů této diskuze, můžeme uvést, že sifony jsou považovány za nápodobu přirozeného mechanismu, kterým se pomocí deště dostávaly pro život nezbytné sloučeniny vzniklé vlivem tepla, tlakových vln, světla a elektřiny do oceánu, kde byly chráněny před ničivým ultrafialovým zářením. Jak se tyto chemické látky dostaly bezpečně do moře? Podle jedné hypotézy byl plynný sirovodík, formaldehyd, rtuťové páry nebo jiná fotosenzibilizační činidla přítomen v prebiotické atmosféře v dostatečném množství (přes protiargumenty uvedené v předchozí kapitole), což umožnilo syntézy indukované dlouhovlnnější částí ultrafialového záření. Protože toto dlouhovlnnější UV záření může pronikat hlouběji do atmosféry, posunulo by se místo syntézy aminokyselin a jiných choulostivých organických molekul blíže ke hladině oceánu. Cesta do bezpečí by se tak podstatně zkrátila.²¹ Teplo,

elektrický výboj a tlaková vlna by také umožňovaly syntézy v malých výškách. Doba transportu organických sloučenin produkovaných vlivem těchto zdrojů by byla také krátká. Pokud by navíc byla přítomna vhodná fotosenzibilizační činidla, která by zachycovala ničivé ultrafialové záření, byly by organické sloučeniny syntetizované v atmosféře chráněny i tímto mechanismem, což by zvyšovalo pravděpodobnost jejich přežití.

Není ovšem jasné, zda oceán plnil ochrannou funkci tak jako sifon. Laboratorní sifony na rozdíl od oceánu, kde UV záření proniká několik desítek metrů pod povrch, nejsou obvykle vystaveny působení dlouhodobého ultrafialového záření.²² Kromě toho vynášejí mořské proudy na povrch pravidelně i vodu z hlubiny, čímž vystavují v ní obsažené organické součásti ničivému ultrafialovému záření. Zdá se tedy, že oceán měl mnohem méně společného se sifonem, než se obvykle předpokládá.

Concerto Effect

Laboratorní modelové pokusy jsou obvykle prováděny za využití pouze jednoho z různých zdrojů energie. Účelem tohoto uznávaného postupu je nalezení relativního vlivu daného zdroje energie. Je pravda, že celkový efekt je součtem vlivů jednotlivých zdrojů energie; často se však opomíjí skutečnost, že se sčítají nejen účinky vedoucí k syntézám, ale i destruktivní působení těchto zdrojů energie. Jak jsme poznali v kapitole 4, působí tyto zdroje za přirozených podmínek společně neboli v *součinnosti* jak ve směru syntézy, tak rozkladu organických sloučenin. Jeden zdroj energie ničí to, co jiný vytvořil, přičemž výsledně převládá destrukce.

Ochrana před zdroji energie není jediným problémem. Při mnoha laboratorních experimentech jsou používány pečlivě vybrané, vysoce purifikované a často koncentrované chemikálie v roztoku izolovaném od ostatních složek polévky. Používání koncentrovaných chemikálií vychází z dobře známého zákona o působení aktivní hmoty, který říká, že rychlost chemické reakce je úměrná koncentraci reagujících látek. Jinak řečeno, probíhá-li chemická reakce pomalu ve zředěném roztoku (např. v prebiotické polévce), bude probíhat mnohem rychleji v koncentrovaném roztoku (např. v badatelově baňce). Tímto způsobem lze zkrátit potřebnou reakční dobu z milionů let na realizovatelný laboratorní čas.²³ Reakce tak nejsou změněny, pouze uspíšeny. Tento postup je oprávněný bez ohledu na to, zda na dávné Zemi existovaly dostatečně účinné přirozené koncentrační mechanismy. Mnohé další rysy laboratorních modelových technik se však z pozice skutečností uvedených v kapitole 4 jeví jako nerealistické.

Oddělování výchozích látek

Bezmála všechny pokusy napodobující prebiotický oceán, které jsou popsány ve vědecké literatuře, vycházejí z předpokladu, že pokud reagují určitým způsobem dvě nebo tři chemické látky chemické polévky izolovaně, budou stejně reagovat i za přítomnosti rozmanitých chemikálií v polévce. Tento předpoklad našel své místo i v části diskuze *První konference o vzniku života*, která se konala v roce 1967 (*Proceedings of the First Conference on the Origins of Life*).²⁴ Alex Rich se ptal Leslie Orgela, zda on nebo někdo jiný "zkoušel tzv. syntézu v celku (*Synthesis in the Whole*), tj. zda použil jiskrový výboj, hrst písku a po troškách z různorodé suťi, a pak hledal v produktech cytosin, uracil atd."²⁵ Orgel odpověděl: "Tento postup je opakem toho, o co jsme se snažili. Chtěli jsme nejprve studovat kinetiku každého kroku, a teprve potom se pokusit spojit všechny kroky dohromady. Dosud jsme se však do tohoto posledního stadia nedostali. Dokážeme docela snadno získat dokonce i puriny. Dříve nebo později by někdo měl uskutečnit obrovský pokus, v němž by probíhaly všechny syntézy současně, ale domnívám se, že by bylo nerozumné tímto způsobem začínat."²⁶

Jak vyplývá z kapitoly 3, součástí obecných pracovních postupů jsou pokusy, kterými lze s určitou pravděpodobností oddělit množství jednotlivých reakcí, které probíhaly v polévce. Cílem je nalézt přijatelným způsobem reakční mechanismy a syntetické dráhy.

I když je tato metoda oddělující jednotlivé reakce je téměř univerzálně používána a je považována za odpovídající pro všechny praktické účely, je v obecném případě její základní předpoklad chybný. Je chybný, protože přehlíží vzájemnou propojenost četných reakcí, tedy to, co nazýváme synergií, či *Concerto Effect*. Směs se vyznačuje vlastním typickým chováním, jež není jednoduchým součtem chování jednotlivých složek.²⁷ Všechny přítomné složky mají určitou afinitu k reakcím s ostatními látkami ve směsi. Následkem toho se *soubor reakcí probíhajících v polévce nerovná součtu jednotlivých izolovaných reakcí*. S tím jsme se setkali ve velké části diskuze v kapitole 4, která se týkala destruktivních interakcí v polévce a čistících mechanismů, které odstraňují nezbytné organické sloučeniny z vodních nádrží. Obecně řečeno, látka A může reagovat s látkou B, pokud nejsou přítomny látky C, D a E. Pokud jsou ve směsi přítomny všechny tyto látky, lze předvídat kompetiční reakce, které způsobí, že nevzniknou prakticky žádné produkty reakce mezi látkami A a B. Je také možné, že reakce mezi A a B začne probíhat, ale bude přerušena v některém následujícím kroku. Při modelových pokusech tak vznikají některé produkty, které by *nikdy nemohly vzniknout v prebiotické polévce*.

Na dokreslení se zamysleme nad tím, zda mohl freon (dichlorodifluorometan) existovat na této planetě ještě před tím, než byl chemiky syntetizován v laboratoři počátkem tohoto století. Jeho existence byla samozřejmě možná a několik molekul se snad utvořilo někdy během historie Země. Ve skutečnosti vděčí freon za svou existenci zásahu badatele, který prováděl reakce podle předem určené chemické cesty.

Kromě toho byly na prebiotické Zemi přítomny mnohé chemické látky, které obvykle chybí v modelových experimentech. Například byly přítomny aldehydy včetně redukujících cukrů, ale mezi produkty modelových experimentů napodobujících prebiotickou atmosféru je nenalezneme. Nepřítomnost těchto aldehydických látek zabraňuje destruktivním interakcím s aminokyselinami, které se tak hromadí.*

Používání vybraných chemických látek při modelových pokusech je velmi nepřírodní a odporuje našim představám o dávné Zemi. Jinými slovy, předpokládáme-li, že oceán mohl fungovat jako sifon, musíme brát v úvahu *Concerto Effect*, podle něhož musí být vzájemné působení hmoty a energie uvažováno jako synergické, tj. s ohledem na součinnost jednotlivých složek.

* Pokud byly aminokyseliny vytvořeny Streckerovou syntézou v pokusech s jiskrovým výbojem (kapitola 3), byly přítomny i aldehydy. Ty se však spotřebovávají reakcí s nadbytečným HCN. To je v souladu se skutečností, že hlavním produktem při těchto pokusech je kyselina mravenčí, vznikající pravděpodobně hydrolýzou HCN. Aminokyseliny nahromaděné v sifonu jsou konečným výsledkem pokusů s jiskrovým výbojem právě proto, že tam nebyly žádné aldehydy, které by s nimi dále reagovaly.

Vytvoření stupnice geochemické věrohodnosti

Na základě úvah uvedených zde a v kapitole 4 usuzujeme, že rozličné modelové pokusy mohou být seřazeny podle své geochemické věrohodnosti (viz obr. 6-1). Začneme s pokusným reakčním systémem, který tvoří zředěný roztok směsi látek pro "syntézu v celku", kde působí *Concerto Effect*. Tento systém by měl tvořit základ stupnice, protože má nejvyšší geochemickou věrohodnost v rámci různých prověřovaných pokusů. Na dalším stupni, jen o málo méně věrohodné než "syntéza v celku", leží pokusy s koncentrovanějšími roztoky, kde by zákon o působení aktivní hmoty platil v extrapolaci.

Protože je možné, že nějaký doposud neobjevený mechanismus udržoval potřebnou koncentraci sirovodíku v atmosféře, a činil tak fotosenzibilizaci věrohodnou, řadíme ji na další stupeň naší stupnice. Tato technika je jistě věrohodnější než například používání sifonu, které předpokládá spolupůsobení několika náhodných faktorů na dávné Zemi. Ještě nevěrohodnější

jsou pokusy, předpokládající vysoké koncentrace reagujících látek, např. polymerace HCN, protože jsou zatíženy závažným problémem přirozeného mechanismu zahušťování.

Budeme-li postupovat dále po stupnici, narazíme na pokusy s jiskrovým výbojem a tlakovými vlnami, používanými izolovaně. Tyto pokusy hodnotíme jako ještě méně věrohodné než pokusy vyžadující vysokou koncentraci chemických látek, protože není znám žádný možný přírodní mechanismus, kterým by byl izolován jediný zdroj energie. Ještě méně přijatelné je použití tepla v kombinaci s vybranou částí UV spektra. V tomto případě se k nedostatku prostředků separace energetických zdrojů přidávají pochybnosti o jejich geochemické věrohodnosti. Dá se tvrdit, že použití jiskrového výboje s energií o několik řádů větší, než jaká mohla dopadat na dávnou Zemi, pouze "urychluje" existující procesy. Toto tvrzení však neplatí o teple. Například zvýšením teploty na 1 000°C se zvýší nejen reakční rychlosti, ale také se urychlí destrukce organických sloučenin. V případě ultrafialového záření není znám žádný přirozený filtr, který by propouštěl vybrané vlnové délky (tj. < 200 nm) a zamezil průchodu dlouhovlnnějšího UV záření, které působí destruktivně na některé nezbytné organické sloučeniny.

A konečně na vrcholu naší stupnice, tedy v oblasti nejmenší geochemické věrohodnosti, se nacházejí pokusy, které využívají pouze vybrané chemické sloučeniny izolovaně od ostatních složek polévky. Je velmi obtížné rozhodnout, zda je použití vybrané oblasti UV přijatelnější než používání vybraných chemikálií. V každém případě považujeme obě možnosti za velmi nevěrohodné.

Je zřejmé, že pokusy, které jsou na obrázku 6-1 pod číslem 1 a 2, jsou přijatelné prebiotické pokusy, 3-6 jsou pravděpodobně nevěrohodné a 7-8 určitě nevěrohodné.

Určení přijatelného vlivu badatele

Kdy se zásah experimentátora stává nelegitimním? Tak základní otázka jako je tato, je jen velmi zřídka součástí diskusí o modelových pokusech. (Šťastnou výjimku tvoří Orgel a Lohrman.²⁸) Dokonce i v případě jejího rozpoznání, jak je tomu u pokusů s vysokou teplotou a neobvyklými chemikáliemi, pokračuje diskuze bez jakékoliv dohody týkající se kritérií, podle nichž by se měl sestavit všeobecně uznávaný modelový pokus. Následkem toho je diskuze obklopena spornými otázkami. Z informací, které jsou uvedeny v kapitole 4, vyplývá značný rozpor mezi věrohodnými geochemickými podmínkami a podmínkami, za nichž byly prováděny prebiotické modelové pokusy. Nelze říci, že tyto pokusy nemají žádnou hodnotu, ale stanovení jejich skutečné hodnoty je velmi obtížné.

Všechny pokusy jsou prováděny *badatelem*, jehož vliv se v nich nutně musí odrazit. Nicméně nelze je považovat za prebiotické modelové pokusy, pokud je jistá úroveň badatelova vlivu zásadní pro jejich úspěšnost. Tento požadavek je analogický obecně uznávanému předpokladu, že žádná vnější nebo nadpřirozená síla nezasáhla do přírody v době, kdy vznikal život, nestala se pro jeho vznik *rozhodující* a nezmizela pak z historie.²⁹ Toto pravidlo můžeme použít po opatrném rozšíření analogie. Při přípravě prebiotického modelového pokusu vytváří badatel prostředí, dodává vodné medium, energii, chemikálie a stanovuje mezní podmínky a utváří tak celkové prostředí experimentu. Přestože je zde jeho přítomnost rozhodující pro úspěšnost pokusu, je zcela *legitimní*, protože napodobuje hodnověrné podmínky na dávné Zemi. Vliv badatele se stává *rozhodujícím v nelegitimním smyslu tehdy, když se laboratorní podmínky nepodobají věrohodným podmínkám na dávné Zemi.*

Z toho plyne, že nelegitimita zásahu badatele je v přímém vztahu ke geochemické nevěrohodnosti podmínek, která plyne z experimentálního záměru nebo z badatelova postupu; nelegitimní zásah je největší, když tato věrohodnost zcela chybí.

Vzhledem k dosud uvedeným skutečnostem lze za rozumný a přípustný vliv badatele považovat: vytvoření věrohodných postupů pokusu, vytvoření počáteční reakční směsi, zahájení přívodu volné energie umožňující odstartování první reakce a uskutečnění minimálních zásahů do systému, nezbytných v různých stadiích pro odebrání části reakčních produktů na analýzu.

Experimentátor obvykle využívá v laboratorních pokusech velké množství manipulativních zásahů ve snaze vést přirozené procesy ke specifickým nenáhodným chemickým výsledkům. Pomocí určitého nátlaku tak ovlivňuje výsledek. Při některých chemických syntézách může být například nezbytné přidávat reagující látky v určitém pořadí nebo měnit rychlosti přidávání, aby byla teplota pod kontrolou, upravit pH při zásadní barevné změně, odstraňovat produkty reakce po deseti minutách místo po dvaceti atd. Tyto manipulace jsou charakteristické pro zásah inteligence z vnějšku a *neměly by být využívány v žádném prebiotickém pokusu.*

Seřazení pokusných technik (podmínek) na obr. 6-1 představuje stupně nebo kontinuum vlivu badatele. V určitém bodu stupnice je dosaženo takového stupně nevěrohodnosti, že pokus již nemůže být považován za přijatelný. Za tímto bodem již neexistuje analogie mezi použitou technikou a věrohodně přijatelnými prebiotickými podmínkami. Badatel, který se odchyluje od věrohodných podmínek, je jako herec, který zapomněl text a začíná *improvizovat*. Techniky tohoto druhu

jsou nelegitimní a nemohou být postaveny na stejnou úroveň jako ty, které se nacházejí v oblasti věrohodnosti.

Na základě výsledků naší kritické analýzy jsme stanovili hranici legitimního zásahu mezi body 2 a 3, tj. mezi pokusy s koncentrovanějšími chemickými látkami, kde se extrapolací uplatňuje zákon o působení aktivní hmoty a pokusy využívající fotosenzibilizace. Relativní pořadí technik i hranice přijatelné interference jsou zkusmé. Hlavním účelem uvedení této stupnice je zdůraznit důležitost stanovení kritérií přijatelnosti pokusu.

Shrnutí a závěr

Shrneme-li to, co bylo právě řečeno, zjistíme, že v každé experimentální technice (podmínkách), která leží v uvedené stupnici nad hranicí rozhodující avšak přijatelné interference, hraje badatel velmi důležitou i když nelegitimní úlohu v úspěšnosti pokusu. Při posuzování abiotických pokusů Brooks a Shaw vyjádřili své mínění o tomto problému takto:

Tyto pokusy... jsou nazývány abiotickými syntézami, ačkoliv jsou ve skutečnosti naplánovány a provedeny vysoce inteligentním a velmi biotickým člověkem.³⁰

Jinými slovy, v každé z těchto nevěrohodných pokusných technik zasahuje badatel do experimentu tak, že využívá vlivu inteligence na domnělou "prebiotickou Zemi." Pokud je tento vnější zásah badatele přehlížen, vytváří se iluze prebiotické simulace. Tento neutěšený stav bude trvat, dokud se společenství vědců, kteří se zabývají problematikou vzniku života, nesjednotí na kritériích věrohodnosti pokusů.

Mají-li být techniky, které odrážejí vliv badatele, skutečně považovány za věrohodné napodobení dávných podmínek, zůstává na badatelích, aby obhájili jejich věrohodnost. Nejedná se o nic jiného, než o požadavek skutečné vědy.

Literatura

1. W.E. Groth a H. Weyssenhof, 1957. *Naturwiss.* **44**, str. 510; 1959. *Ann. Physik* **4**, str. 69; 1960. *Planet. Space. Sci.* **2**, str.79; C. Ponnampertuma a J. Flores, 1966. *Abstr. Amer. Chem. Soc.*, 152. Setkání 11.-16. září, New York; A.N. Terenin, 1959. V *The Origine of Life on the Earth*, vyd., A.I. Oparin, Oxford: Pergamon Press, str. 136; N. Dodonova a A.I. Sidorova, 1961. *Biophysics* **6**, str.14.

2. H.R. Hulett, 1969. *J. Theoret. Biol.* **24**, 56; J.W.S. Pringle, 1954. *New Biology* č. 16, str. 54; C. Sagan, 1961. *Rad. Res.* **15**, 174; S. Miller, H. Urey a J.Oro, 1976. *J. Mol. Evol.* **9**, 59.
3. C. Sagan a B.N. Khare, 1971. *Science* **173**, 417; Khare a Sagan, 1973. V *Molecules in the Galactic Environment*, ed. M.A. Gordon a L.E. Snyder, New York: John Wiley, str. 399. K. Hong, J. Hong a R. Becker, 1974. *Science* **184**, 984.
4. N. Friedmann, W.J. Haverland a S.L. Miller, 1971. V *Chemical Evolution and the Origin of Life*, ed. R. Buvet a C. Ponnampereuma. Amsterdam: North-Holland, str. 123.
5. Tamtéž, str. 129.
6. J.P. Ferris a D.E. Nicodem, 1974. V *The Origine of Life and Evolutionary Biochemistry*, ed. K. Dose, S.W. Fox, G.A. Deborin a T.E. Pavlovskaya. New York: Plenum Press, str. 113.
7. S.M. Siegel a B.Z. Siegel, 1976. *Origins of Life* **2**, 175.
8. Stanley L. Miller a Harold C. Urey, 1959. *Science* **130**, 245; S.L. Miller a L.E. Orgel, 1974. *The Origin of Life on the Earth*. Englewood Cliffs, New Jersey: Prentice-Hall, str. 145; S.L. Miller, H.C. Urey a J. Oro, 1976. *J. Mol. Evol.* **9**, 59.
9. Hulett, *J. Theoret. Biol.*, str. 56.
10. H.R. Hulett, 1973. V *Proceedings of the Fourth Conference on Origins of Life : Chemistry and Radioastronomy*, ed. Lynn Margulis. New York: Springer-Verlag, str. 95.
11. C. Sagan, v *Proceedings of the Fourth Conference on Origins of Life*, str. 95
12. A. Bar-Nun, N. Bar-Nun, S.H. Bauer a C. Sagan, 1970. *Science* **168**, 470
13. Hulett, *J. Theoret. Biol.*, str. 64.
14. C.E. Folsome, 1979. *The Origin of Life*. San Francisco: W.H. Freeman & Co., str. 62.
15. S.W. Fox a K. Dose, 1977. *Molecular Evolution and the Origin of Life* . New York: Marcel Dekker, str. 74-75.
16. K. Harada a S.W. Fox, 1965. V *The Origins of Prebiological Systems and of Their Molecular Matrices*, New York: Academic Press, str. 187.

17. S.L. Miller, 1955. *J. Am. Chem. Soc.* **77**, 2351.
18. Groth a Weyssenhoff, *Naturwiss.*, str. 510; *Ann. Physik*, str. 69; *Planet. Space Sci.*, str. 79; Ponnampereuma a Flores, *Abstr. Amer. Chem. Soc.*, 152. Setkání; Terenin, v *The Origin of Life on the Earth*, str. 136; N.Y. Dodonova a A.I. Sidorova, *Biophysics* **6**, 14; Sagan a Khare, *Science*, str. 417; Khare a Sagan v *Molecules in the Galactic Environment*, str. 399; Hong, Hong a Becker, *Science*, str. 984.
19. H. Sisler, C. VanderWerf a A. Davidson, 1967. *College Chemistry*, 3. vydání. New York: MacMillan, str. 326-7.
20. C. Sagan, v *The Origins of Prebiological systems*, str. 195-6, viz diskuze.
21. Sagan a Khare, *Science*, str. 417; Sagan, v *Proceedings of the Fourth Conference on Origins of Life*, str. 97.
22. L.V. Berkner a L.C. Marshall, 1965. *J. Atmos. Sci.* **22**, 225.
23. Dean H. Kenyon a Gary Steinman, 1969. *Biochemical Predestination*. New York: McGraw-Hill, str. 284.
24. Lynn Margulis, vyd., 1970. *Origins of Life: Proceedings of the First Conference*, (Princeton, New Jersey, 21.-24. května, 1967.) New York: Gordon and Breach.
25. Alexander Rich, v *Origins of Life: Proceedings of the First Conference*, str. 183.
27. A.I. Oparin, 1953. *The Origin of Life*, 2. vydání, překlad S. Morgulis. New York: Dover, str. 146-7.
28. L.E. Orgel a R. Lohrmann, 1974. *Accounts of Chem. Res.* **7**, 368.
29. Kenyon and Steinman, *Biochemical Predestination*, str. 30.
30. J. Brooks a G. Shaw, 1973. *Origin and Development of Living Systems*. New York: Academic Press, str. 212.
-

KAPITOLA 7

Termodynamika živých systémů

Zákony termodynamiky jsou obecně považovány za sjednocující prvek fyzikálních věd; podobnou úlohu sehrává na poli biologie teorie evoluce. Je velmi zajímavé, že předpovědi z jedné oblasti popírají předpovědi z druhé oblasti. Druhá věta termodynamiky svědčí o tom, že fyzikální svět postupuje od pořádku k nepořádku, od složitosti k jednoduchosti. Naproti tomu představuje biologická evoluce postupný vývoj ke stále složitějším formám živých systémů, což je zdánlivě v rozporu s druhou větou termodynamiky. Otázkou, zda je tento nesoulad mezi oběma teoriemi pouze zdánlivý nebo skutečný, se budeme zabývat v příštích třech kapitolách. Diskuze, která na toto téma proběhla po uveřejnění kontroverzního článku v *American Scientist*¹, prokazuje naléhavost tohoto problému.

První věta termodynamiky

Termodynamika je exaktní věda, která se zabývá toky a přeměnami energie. Náš svět překypuje přeměnami hmoty a energie. Ať jsou mechanické nebo chemické, první věta termodynamiky - zákon zachování energie - nám říká, že celková energie vesmíru nebo nějaké jeho izolované části bude stejná před transformací i po ní. Hlavní část termodynamiky tvoří kalkulace - výpočty energie soustavy, v níž došlo k nějaké transformaci. Z první věty termodynamiky tedy vyplývá, že změna energie soustavy (ΔE) je rovna práci vykonané v systému nebo systémem (ΔW) a toku tepla do nebo ze soustavy (ΔQ). Mechanická práce a energie jsou zaměnitelné, tj. energie může být přeměněna na mechanickou práci, jak je tomu u parní lokomotivy, nebo může být přeměněna mechanická práce na energii (zahřívání předmětu při vrtání). Za použití právě definovaných výrazů lze tento zákon vyjádřit rovnicí:

$$\Delta E = \Delta Q + \Delta W \quad (7-1)$$

Druhá věta termodynamiky

Druhá věta termodynamiky popisuje tok energie v přírodě při ireverzibilních dějích. Fyzikální podstatou druhé věty

termodynamiky je, že tok energie při těchto dějích směřuje vždy k rovnoměrnějšímu rozdělení energie ve vesmíru. Každý, kdo musel po delší dobu hradit náklady za bydlení, si uvědomil, že během zimy uniká do prostoru velké množství tepla z jeho domu. Tento tok energie z domu do chladného okolí během zimy, nebo tok energie z horkého okolí do klimatizovaného domu během léta, jsou procesy, které popisuje druhá věta termodynamiky. Druhým praktickým příkladem tohoto principu je spalování motorového benzínu, při němž se na energii "bohaté" sloučeniny (uhlovodíky) přeměňují na sloučeniny energeticky "chudé", oxid uhličitý (CO₂) a vodu (H₂O).

Pojetí entropie (S) umožňuje kvantitativnějším způsobem popsat snahu energie téci určitým směrem. Změna entropie systému je matematicky definována jako poměr toku energie a teploty:

$$\Delta Q$$

$$\Delta S \geq - \frac{\Delta Q}{T} \quad (7-2)$$

T

kde ΔS je změna entropie, ΔQ je teplo vstupující nebo vystupující ze soustavy, a T je absolutní teplota ve stupních Kelvina (K).*

* Pro reverzibilní tok energie, který probíhá například za rovnovážných podmínek, platí znaménko rovnosti. Ireverzibilní tok energie je popsán nerovností.

Hnací síla

Při popisu toku tepla z vytopeného domu ven do studené zimní noci můžeme použít rovnici 7-2 následujícím způsobem:

$$\Delta Q \quad \Delta Q$$

$$\Delta S_T = \Delta S_{\text{doma}} + \Delta S_{\text{venku}} \geq - \frac{\Delta Q}{T_1} + \frac{\Delta Q}{T_2} \quad (7-3)$$

T₁ T₂

kde ΔS_T je celková změna entropie odpovídající tomuto ireverzibilnímu toku tepla, T₁ je teplota uvnitř domu a T₂ je venkovní teplota. Záporné znaménko prvního členu vyjadřuje ztrátu tepla z domu, kdežto kladné znaménko druhého členu vyjadřuje teplo přijaté vnějším prostředím. Protože je uvnitř domu tepleji než venku (T₁ > T₂), bude celková entropie v důsledku toku tepla vzrůstat ($\Delta S > 0$). Když přestaneme vytápět dům, bude jeho teplota postupně klesat, dokud se nevyrovná s teplotou okolí, tj. T₁ = T₂. Za těchto okolností změna entropie

(ΔS) spojená s tokem tepla (ΔQ) klesne na nulu. Protože další hnací síla umožňující tok tepla ven neexistuje, dojde k jeho zastavení a ustaví se rovnováha.

Jak ukazuje tento jednoduchý příklad, probíhá tok energie směrem k rovnoměrnějšímu rozložení celkové energie. Další úvaha nás přivede k tomu, že vzrůst entropie spojený s tokem energie je úměrný hnací síle tohoto toku. Druhá věta termodynamiky říká, že entropie vesmíru (nebo libovolné izolované soustavy, která je jeho součástí) vzrůstá, tj. energie vesmíru je stále rovnoměrněji rozdělována.

Často se uvádí, že druhá věta termodynamiky vyjadřuje přirozenou tendenci dějů směřovat od uspořádanosti k neuspořádanosti, od složitosti k jednoduchosti. Pokud je nejnáhodnějším uspořádáním energie její rovnoměrné rozložení, není její současné uspořádání náhodné, protože existuje hmota velmi bohatá na chemickou energii, na tepelnou energii atd., kdežto jiná hmota je na tyto druhy energie velmi chudá. Podobně směřuje rozložení hmoty ve vesmíru od uspořádanosti k neuspořádanosti díky náhodnému pohybu atomů a molekul způsobeným tepelnou energií. Difúzní děje ve skupenství pevném, kapalném i plynném jsou příklady vzrůstající entropie v důsledku náhodného pohybu atomů. Tak odpovídá vzrůstající entropie stále více a více náhodnému rozložení hmoty a energie.

Entropie a pravděpodobnost

Na entropii lze pohlížet i jiným způsobem. Entropie soustavy je mírou pravděpodobnosti daného uspořádání hmoty a energie v tomto systému. Statistická termodynamika může dále kvantifikovat entropii soustavy. Vysoká hodnota entropie odpovídá vysoké pravděpodobnosti uspořádání daného systému. Vzhledem k tomu, že náhodné uspořádání je vysoce pravděpodobné, bude také charakterizováno velkou entropií. Vysoký stupeň uspořádanosti, který je méně pravděpodobný, bude vyjádřen nižší entropií. Druhá věta termodynamiky tedy říká, že události, které zvyšují entropii soustavy, vyžadují změnu od uspořádanějších k méně uspořádaným, nebo od méně náhodných k náhodnějším stavům. Tato představa nám pomůže v kapitole 9 při analýze kondenzačních reakcí, kterými vznikají DNA a bílkoviny.

Clausius², který je autorem druhé věty termodynamiky, shrnul tento zákon do známého stručného výroku: "Energie vesmíru je konstantní; entropie vesmíru směřuje k maximu." Vesmír se mění ze svého současného, méně pravděpodobného uspořádání (o nízké entropii) směrem k pravděpodobnějšímu uspořádání, čemuž odpovídá rovnoměrnější rozdělení energie ve vesmíru.

Život a druhá věta termodynamiky

Jak se toto všechno vztahuje k chemické evoluci? Protože jsou důležité makromolekuly živých systémů (DNA, bílkoviny atd.) podstatně bohatší na energii než jejich prekurzory (aminokyseliny, heterocyklické báze, fosfáty a cukry), nemohly by podle klasické termodynamiky spontánně vzniknout.

Roger Caillois vyjádřil nedávno toto tvrzení slovy: "Clausius a Darwin nemohou mít oba pravdu."³ Tato předpověď klasické termodynamiky však pouze vytvořila základ pro další úsilí porozumět vzniku života. Harold Morowitz⁴ a další říkají, že Země není izolovaná soustava, protože je otevřená vzhledem k toku energie ze Slunce. Problém vzniku organizace a složitosti biologických systémů však nelze jednoduše pominout neurčitým odkazem na otevřenou soustavu a nerovnovážnou termodynamiku. Je nezbytné definovat mechanismus zodpovědný za vývoj a udržení organizovaných stavů. Abychom objasnili úlohu toku hmoty a energie soustavou jako možné řešení problému, prozkoumáme v tomto smyslu termodynamiku soustavy izolované, uzavřené a otevřené. Pak se zamyslíme nad aplikací termodynamiky otevřených soustav na živé systémy. V kapitole 8 využijeme pojetí termodynamiky uvedené v této kapitole při studiu prebiotických syntéz DNA a bílkovin. V kapitole 9 bude tato teoretická analýza použita pro interpretaci různých prebiotických pokusů směřujících k syntéze DNA nebo bílkovin a naznačí fyzikální podstatu možných příčin neúspěchů při syntézách nezbytných složek živých buněk.

Izolované soustavy

Izolovaná soustava nevyměňuje s okolím hmotu ani energii. Takovou soustavu představuje například dokonale izolovaná termoska (nedochází k žádným tepelným ztrátám), kterou můžeme nejprve naplnit horkým čajem a kostkami ledu. Celková energie této izolované soustavy zůstává konstantní, ale její rozložení se mění s časem. Tím, jak led postupně taje, dochází ke stále rovnoměrnějšímu rozdělení energie v soustavě. Výchozí rozložení energie do horkých (čaj) a studených (led) oblastí je uspořádané a nenáhodné, nemůže se tedy pravděpodobně udržet velmi dlouho. Podle předchozí definice lze říci, že entropie soustavy je zpočátku nízká, ale s časem postupně vzrůstá. Podle druhé věty termodynamiky bude entropie soustavy vzrůstat až do určité maximální hodnoty, která odpovídá nejpravděpodobnějšímu stavu soustavy, jenž je obvykle označován jako rovnovážný.

Krátce řečeno, izolované soustavy vždy udržují celkovou energii konstantní a směřují k maximální entropii neboli k neuspořádanosti. Řečí matematiky:

$$\Delta E$$

— = 0 (izolovaná soustava)

$$\Delta t$$

$$\Delta S \quad (7-4)$$

— ≥ 0

$$\Delta t$$

kde ΔE a ΔS představují změny energie a entropie soustavy za časový interval Δt . Je zcela zřejmé, že v izolované soustavě nemůže uspořádanost žádným způsobem vzrůst. Podle druhé věty termodynamiky směřuje izolovaná soustava vždy k maximální entropii, tedy k neuspořádanosti.

Je třeba uvést, že právě popsáný děj je ireverzibilní v tom

smyslu, že led, který jednou roztál, se v termosce již neutvoří. Ve skutečnosti jsou přirozený rozklad a obecná tendence k větší neuspořádanosti tak univerzální, že je druhá věta termodynamiky vhodně označována jako "časový šíp."⁵

Uzavřené soustavy blízko rovnováhy

Uzavřená soustava může vyměňovat s okolím energii, ale nikoliv hmotu. Na rozhraní uzavřené soustavy a okolí může existovat teplotní gradient, který umožňuje tok energie do nebo ze soustavy, jež se tak dostává do rovnovážného stavu. Je-li teplota podél rozhraní proměnlivá (v místě nikoliv v čase), dojde k toku energie soustavou, která tak bude udržována v určité vzdálenosti od rovnováhy. Nejprve si povšimneme uzavřených soustav, které se nacházejí blízko rovnováhy, a pak uzavřených soustav vzdálených od rovnovážného stavu.

Kombinací první a druhé věty termodynamiky vyjádřených rovnicemi 7-1 a 7-2 a dosazením výrazu $-P\Delta V$ za mechanickou práci W , kde P je tlak a ΔV je změna objemu, dostaneme

$$\Delta E + P\Delta V$$

$$\Delta S \geq$$

$$T \quad (7-5)$$

* Zvětšení objemu ($\Delta V > 0$) odpovídá soustavě konající práci, a tedy ztrácející energii. Zmenšení objemu ($\Delta V < 0$) odpovídá situaci, kdy je práce soustavě dodána.

Úpravou rovnice dále získáme

$$\Delta E + P \Delta V - T \Delta S \leq 0 \text{ neboli } \Delta G \leq 0 \quad (7-6)$$

kde $\Delta G = \Delta E + P \Delta V - T \Delta S$

Výraz na levé straně nerovnosti 7-6 je označován jako změna Gibbsovy volné energie (ΔG). Představuje termodynamický potenciál, který vyjadřuje tendenci soustavy ke změně, např. tendenci k průběhu fázových změn, vedení tepla atd. Samovolně probíhající reakce jsou charakterizovány poklesem Gibbsovy volné energie ($\Delta G < 0$). Tato podmínka se shoduje s požadavkem zvyšování entropie vesmíru. Podobně jako vzrůst entropie, vyjadřuje také pokles Gibbsovy volné energie průběh takových změn v soustavě a jejím okolí, které směřují k rovnoměrnějšímu rozložení energie ve vesmíru.

Požadavek druhé věty termodynamiky lze pak shrnout do výrazu

$$\Delta G$$

$$\leq 0 \text{ (uzavřená soustava) } \quad (7-7)$$

$$\Delta t$$

kde Δt je čas, během kterého došlo ke změně Gibbsovy volné energie.

Blízko rovnováhy lze psát

$$\Delta G$$

$$\rightarrow 0 \text{ (uzavřená soustava) } \quad (7-8)$$

$$\Delta t$$

Fyzikální význam rovnice 7-7 vyplyne po úpravě rovnic 7-6 a 7-7 do následujícího výrazu:

$$\Delta S \geq - \frac{\Delta E + P \Delta V}{T}$$

$$\Delta S + \frac{\Delta E + P \Delta V}{T} \geq 0 \quad (7-9)$$

$$\Delta S_{\text{system}} + \Delta S_{\text{surroundings}} \geq 0$$

neboli

$$\Delta S_{\text{system}} + \Delta S_{\text{surroundings}} \geq 0$$

$$\Delta S_{\text{system}} + \Delta S_{\text{surroundings}} \geq 0$$

$$\Delta S_{\text{system}} + \Delta S_{\text{surroundings}} \geq 0$$

kde první výraz představuje změnu entropie v důsledku procesu probíhajícího v soustavě a druhý výraz představuje změnu entropie, která je důsledkem výměny mechanické nebo tepelné energie mezi soustavou a okolím. Tím je jednoduše zaručeno, že součet změny entropie systému a změny entropie okolí budou větší než nula, tedy že entropie vesmíru bude vzrůstat. V případě izolované soustavy platí, že $\Delta E + P \Delta V = 0$ a rovnice 7-9 se zjednodušuje na rovnici

7-4.

Jednoduchým příkladem ilustrujícím uvedený princip jsou fázové změny, například přeměna vody na led. Při tvorbě ledu se do okolí uvolňuje energie 80 cal/g. Změna entropie systému při přeměně amorfní vody na krystalický led je -0,293 jednotek entropie (eu)/stupeň Kelvina (K). Změna entropie je záporná, protože tepelná a konfigurační* entropie (neboli neuspořádanost) vody jsou větší než v případě ledu, který je ve formě vysoce uspořádaných krystalů. Tak lze termodynamické podmínky přeměny vody na led vyjádřit pomocí rovnice 7-9 takto:

$$-80$$

$$-0,293 - \frac{80}{T} > 0 \quad (7-10a)$$

T

$$\text{nebo } T \leq 273\text{K} \quad (7-10b)$$

Pro $T < 273\text{K}$ je z vody uvolněna energie a tvoří se led, přičemž zvýšení neuspořádanosti okolí je větší než zvýšení uspořádanosti vody tvorbou krystalů ledu. Tím je výsledně zaručen vzrůst entropie vesmíru v souladu s druhou větou termodynamiky.

Často je případ krystalizace vody uváděn jako analogie polymerace jednoduchých monomerů vedoucí ke vzniku komplikovaných molekul, například bílkovin a DNA. Tento přírám je však zcela nevhodný. Výraz $\Delta E + P\Delta V$ (rovnice 7-9) má při polymeraci důležitých organických molekul obvykle kladnou hodnotu (5 až 8 kcal/mol), z čehož vyplývá, že reakce nemůže nikdy za rovnovážných nebo rovnováže blízkých podmínek probíhat samovolně**. Naproti tomu má výraz $\Delta E + P\Delta V$, odpovídající přeměně vody na led, zápornou hodnotu (-1,44 kcal/mol), což vypovídá o samovolném průběhu fázové přeměny, pokud je $T < 273K$, jak bylo již uvedeno. Meziatomové vazebné síly umožňují molekulám vody vytvářet pravidelnou krystalovou strukturu, pokud je vlivem klesající teploty tepelný pohyb (neboli hnací síla entropie, $T \Delta S$) dostatečně malý. Organické monomery, např. aminokyseliny, vzdorují slučování při jakékoliv teplotě, avšak mnohem méně v určitém systematickém uspořádání.

* Konfigurační entropie měří náhodnost distribuce hmoty stejným způsobem, jakým tepelná entropie měří náhodnost distribuce energie.

** Je-li $\Delta E + P \Delta V$ kladné, musí být výraz pro entropii v rovnici 7-9 záporný vlivem záporného znaménka, které leží před ním. Podmínky pro nerovnost mohou být splněny jen, když ΔS má dostatečně velkou kladnou hodnotu, což odpovídá vzrůstu neuspořádanosti.

Morowitz⁶ odhadl vzrůst chemické vazebné energie, která je potřebná k tvorbě bakterie *Escherichia coli* z jednoduchých prekurzorů, jako 0,0095 erg, neboli průměrně 0,27 eV/atom pro 2×10^{10} atomů v jedné bakteriální buňce. To by se termodynamicky rovnalo samovolnému ohřátí vody ve vaně na 360°C, což je naštěstí velmi nepravděpodobné. Morowitz dále odhadl pravděpodobnost samovolné tvorby jedné bakteriální buňky v celém vesmíru během pěti miliard let za rovnovážných podmínek na 10^{-10} .¹¹ Důležitost tohoto výsledku shrnul slovy: "předpokládáme-li existenci pouze rovnovážných dějů, nedošlo by pravděpodobně v historii vesmíru k většímu výkyvu, než jaký by odpovídal vzniku malého peptidu."⁷ Laureát Nobelovy ceny I. Prigogine a spol. uvedl v souvislosti s tímto problémem:

Pravděpodobnost, že se při obvyklých teplotách shromáždí makroskopické množství molekul tak, že umožní vznik vysoce organizovaných struktur s funkcemi charakteristickými pro živé organismy, je extrémně malá. Myšlenka samovolného vzniku života v jeho současné formě je tedy nepravděpodobná i v rámci miliard let, během nichž probíhala prebiotická evoluce.⁸

Zdá se být zcela jisté, že soustava (izolovaná nebo uzavřená) nalézající se blízko rovnováhy nemůže nikdy vytvořit složitost

takového stupně, jaký odpovídá skutečným živým systémům. Místo toho směřují tyto soustavy neustále k maximální entropii neboli nahodilosti. Ani předpoklad dlouhého časového údobí neřeší tento problém, jelikož "časový šíp" (druhá věta termodynamiky) směřuje špatným směrem, tedy směrem k rovnováze. V tomto ohledu pozoroval H.F. Blum:

Druhá věta termodynamiky byla hlavním faktorem určujícím směr v tomto případě [chemické evoluce]; s ní spojené reakce směřují vždy do rovnováhy, tj. směrem k menší volné energii a tedy větší entropii. Z tohoto hlediska představuje nezměrné množství času, který byl k dispozici, pouze příležitost pro pohyb ve směru rovnováhy.⁹ (Důraz doplněn autory knihy.)

Chemická evoluce představuje tedy obrácení směru "časového šípů" to však nenastane v izolovaných nebo uzavřených soustavách blízko rovnováhy.

Slibněji se jeví potenciální možnosti v případě, že uvažujeme soustavu vystavenou toku energie, jenž jí může udržovat vzdálenou od rovnováhy a s ní spojené neuspořádanosti. Taková soustava se nazývá omezená na rozdíl od neomezené soustavy, která se nachází v rovnováze nebo v její blízkosti. Možnosti vzrůstu uspořádanosti v této soustavě budou prošetřeny dále.

Uzavřený systém vzdálený od rovnováhy

Tok energie soustavou je ekvivalentní práci nepřetržitě dodávané soustavě tak, že je udržována v určité vzdálenosti od rovnováhy. Nicolis a Prigogine¹⁰ navrhli, že změnu entropie soustavy (ΔS) za časový interval (Δt) lze rozdělit do dvou komponent:

$$\Delta S = \Delta S_e + \Delta S_i \quad (7-11)$$

kde ΔS_e je tok entropie způsobený tokem energie soustavou a ΔS_i je entropie produkovaná uvnitř soustavy vlivem ireverzibilních dějů, například difúze, vedení tepla, uvolňování tepla a chemických reakcí. Při rozboru otevřených soustav v další části uvedeme, že ΔS_e zahrnuje rovněž tok entropie vlivem toku hmoty soustavou. Podle druhé věty termodynamiky je

$$\Delta S_i \geq 0 \quad (7-12)$$

V izolovaném systému je $\Delta S_e = 0$ a z rovnic 7-11 a 7-12 tedy vyplývá

$$\Delta S = \Delta S_i \geq 0 \quad (7-13)$$

Na rozdíl od ΔS_i nemá ΔS_e v uzavřeném systému určité znaménko, ale závisí zcela na hraničních tlacích působících na soustavu. Celková změna entropie soustavy může být záporná, (tj. vzrůst uspořádanosti v soustavě), když:

$$\Delta S_e \leq 0 \text{ a } |\Delta S_{e1}| > \Delta S_i \quad (7-14)$$

Za těchto podmínek může být stav, za rovnováhy vysoce nepravděpodobný, udržován neomezeně dlouho. Je velmi nepravděpodobné (tj. statisticky bezmála nemožné), že by nezapojený ohřívač vody mohl dodávat ohřátou vodu. Je-li však zapojen plyn a hořák hoří, je soustava poháněna uvolňovanou energií, voda se ohřívá a tento stav se zachová, dokud soustavou prochází energie.

Otevřený systém poskytuje ještě jinou možnost uspořádání - udržování soustavy dále od rovnovážného stavu pomocí toku hmoty, o čemž bude řeč v následující části.

Otevřené soustavy

Otevřená soustava může podle definice vyměňovat s okolím energii i hmotu. Lze ji dobře znázornit jako motor s vnitřním spalováním. Soustavou prochází benzín a kyslík, dochází k jejich spalování a k uvolnění oxidu uhličitého a vody. Energie uvolněná tímto tokem hmoty soustavou je přeměněna na užitečnou práci, tj. točivý moment pohánějící kola automobilu. K přeměně uvolněné energie na zvláštní druh práce je ale zapotřebí spojovacího mechanismu. Podobným způsobem mohou být uvnitř otevřené soustavy vyváženy disipativní děje (děje vedoucí k neuspořádanosti) (ΔS_i) stálým dodáváním energie tak, aby byl zajištěn druh práce odpovídající ΔS_e . Rovnici 7-11, která se vztahovala k uzavřené soustavě vzdálené od rovnovážného stavu, můžeme použít i pro otevřenou soustavu. V takovém případě představuje S_e zápornou entropii neboli práci, vedoucí k většímu uspořádání, dodanou soustavě jako výsledek toku hmoty a energie soustavou. Tato práce dodaná soustavě ji může posunout dále od rovnováhy a udržovat ji tam, dokud nedojde k přerušení toku hmoty nebo energie. Toto, jak dále poznáme, tvoří velmi důležitý rys živých systémů.

Termodynamika živých systémů

Živé systémy jsou tvořeny složitými molekulárními strukturami, jejichž celková vazebná energie je méně záporná než vazebná energie jejich prekurzorů (např. Morowitzův odhad $\Delta E = 0,27$ ev/atom) a jejichž tepelná a konfigurační entropie jsou také menší, než je tomu u jejich prekurzorů. Tak je Gibbsova volná energie živých systémů (viz rovnice 7-6) ve srovnání s jednoduchými sloučeninami, z nichž jsou utvořeny, poměrně velká. Tvorba a udržování živých systémů na energetických

hladinách dostatečně vzdálených od rovnovážného stavu vyžaduje neustálé dodávání práce systému stejně, jako udržování horké vody v ohřívачi. Zajištění této nepřetržité práce vyžaduje tok energie nebo hmoty soustavou, bez nichž by se soustava dostala do rovnovážného stavu (nejnižší Gibbsova energie, viz rovnice 7-7 a 7-8) a docházelo by k rozkladu složitých molekul na jednoduché právě tak, jako by se horká voda v ohřívачi ochladila na pokojovou teplotu v případě zastavení přívodu plynu.

V živých rostlinách představuje tok energie soustavou především sluneční záření. U většiny rostlin zajišťují listy poměrně velký povrch vzhledem k jednotce objemu, což jim umožňuje "zachytit" tolik sluneční energie, aby se soustava mohla udržet daleko od rovnováhy. Sluneční energie je přeměňována na užitečnou práci (záporná hodnota ΔS_e v rovnici 7-11), která rostlinu udržuje ve stavu vysokoenergetické konfigurace, pomocí složitého procesu, který se nazývá fotosyntéza. Rostlinou také prochází hmota, tj. voda a oxid uhličitý, čímž jsou zajištěny suroviny, ale nikoliv energie. Rostliny slouží celému biologickému světu svou schopností zachycovat a uchovávat užitečnou energii.

U zvířat je tok energie soustavou zajišťován konzumací vysokoenergetické biomasy rostlinného nebo živočišného původu. Rozklad této energeticky bohaté biomasy a následná oxidace její části (např. sacharidů) poskytuje plynulý zdroj energie i surovin. Jsou-li rostliny připraveny o sluneční světlo a živočichové tak o potravu, budou procesy vedoucí k neuspořádanosti směřovat ke smrti organismu. Udržení složitého, vysokoenergetického stavu spojeného s životem není tedy možné bez nepřetržitě fungujícího zdroje energie. Samotný zdroj energie však nepostačuje k vysvětlení vzniku a zachování živých systémů. Dalším velmi důležitým faktorem je *prostředek přeměňující tuto energii* na nezbytnou užitečnou práci, která buduje a udržuje složité živé systémy z jednoduchých biomonomerů, jež jsou jejich molekulárními stavebními bloky. Automobil se spalovacím motorem, převodovkou a hnacím řetězem tvoří mechanismus nezbytný pro využití energie ukryté v benzínu pro pohodlnou dopravu. Bez tohoto "měniče energie" by bylo nemožné využít benzín k dopravě. Podobně by potrava sotva prospěla člověku, který má odstraněný žaludek, střeva, játra nebo slinivku. Takový člověk by jistě zemřel, i kdyby nadále jedl. Bez mechanismu, který umožňuje přeměnu použitelné energie na nutnou práci, nemůže vysokoenergetická biomasa udržet živý systém daleko od rovnováhy. V případě živých systémů vede takový mechanismus energii specifickými chemickými cestami, aby vykonala velmi specifický druh práce. Z toho lze vyvodit, že udržení živého systému daleko od rovnováhy nepředstavuje z termodynamického hlediska žádný

problém, pokud existuje dostupná energie a vhodný mechanismus k jejímu převedení na práci.

Pomocí matematických vzorců lze toto pojetí shrnout následujícím způsobem:

(1) Podle druhé věty termodynamiky musí být entropie při irreverzibilním ději uvnitř soustavy větší než nula :

$$\Delta S_i > 0 \quad (7-15)$$

(2) Udržení živých systémů vyžaduje takový tok energie systémem, aby výsledná záporná hodnota změny entropie (tj. hodnota užitečné práce) byla větší než hodnota disipace (vzrůstu neuspořádanosti), která je výsledkem ireverzibilních procesů probíhajících v systému:

$$|S_{e1}| > \Delta S_i \quad (7-16)$$

(3) Vytváření záporné entropie musí být zapojeno do systému takovým způsobem, aby výsledná konaná práce směřovala k obnovování uspořádanosti systému, jež je přirozenými procesy snižována. To je možné popsat druhou větou termodynamiky:

$$-\Delta S_e = \Delta S_i \quad (7-17)$$

kde ΔS_e a ΔS_i se nevztahují pouze k velikosti změny entropie, ale také ke specifickým změnám systému, které jsou spojeny se změnou entropie. Výsledkem přeměny energie na práci nesmí být jakékoliv vyšší uspořádání systému, ale zcela specifické uspořádání, které daný systém vyžaduje.

Udržování živých systémů je poměrně snadné vysvětlit pomocí termodynamiky, jejich vznik však představuje zcela odlišný problém. Ačkoliv je Země otevřená vzhledem k toku energie ze Slunce, neznáme zatím mechanismy přeměny této energie na nezbytnou práci, umožňující vytvoření živých systémů z jednoduchých prekurzorů (viz rovnice 7-17). "Evoluce" funkčních buněk z biomonomerů je do značné míry sporná. Lze vůbec uskutečnit tak neuvěřitelný skok v organizaci hmoty a energie, vycházíme-li ze surovin a surové energie bez prostředků usměrňujících tok energie systémem? Touto otázkou se budeme zabývat v kapitolách 8 a 9 ; omezíme se přitom na dva malé, ale zásadní kroky v předpokládaném schématu evoluce, totiž tvorbu bílkovin a DNA z jejich prekurzorů.

Je obecně přijímanou skutečností, že bílkoviny a DNA jsou nezbytné pro živé systémy a jsou nepostradatelnými složkami každé současné živé buňky¹¹. Přitom však jsou produkovány výhradně živými buňkami. Oba typy molekul jsou mnohem bohatší na energii i informace než biomonomery, z nichž vznikly. Dá se

rozumně předpovědět jejich vznik na základě existence nezbytných biomonomerů a zdroje energie? Lze to ověřit experimentálně? Tyto otázky budou diskutovány v kapitolách 8 a 9.

Literatura

1. Victor F. Weisskopf, 1977. *Amer.Sci.* **65**, 405-411.
 2. R. Clausius, 1855. *Ann.Phys.*, **125**, 353.
 3. R. Caillois, 1976. *Coherences Aventureuses*. Paris: Gallimard.
 4. H.J. Morowitz, 1968. *Energy Flow in Biology*. New York: Academic Press, str. 2-3.
 5. H.F. Blum, 1951. *Time' Arrow and Evolution*. Princeton: Princeton University Press.
 6. H.J. Morowitz, *Energy Flow*, str. 66.
 7. H.J. Morowitz, *Energy Flow*, str. 66.
 8. I. Prigogine, G. Nicolis a A. Babloyantz, listopad 1972. *Physics Today*, str. 23.
 9. H.F. Blum, 1955. *American Scientist* **43**, 595.
 10. G. Nicolis a I. Prigogine, 1977. *Self-Organization in Nonequilibrium Systems*. New York: John Wiley, str. 24.
 11. S.L. Miller a L.E. Orgel, 1974. *The Origins of Life on the Earth*. Englewood Cliffs, New Jersey: Prentice-Hall, str. 162-163.
-

KAPITOLA 8

Termodynamika a vznik života

Peter Molton definoval život jako "útvary, v nichž panuje řád, a které využívají energii k udržení své organizace proti rozkladnému působení entropie."¹ V kapitole 7 bylo ukázáno, že tok energie nebo hmoty soustavou ji může udržet daleko od rovnováhy, což vede ke zvýšení uspořádanosti. Vytvoření složitých živých forem je tedy termodynamicky možné za předpokladu, že energie protékající soustavou může být nějakým způsobem využita při tvorbě těchto složitých struktur z jednoduchých chemických sloučenin.

V existujících živých systémech je přeměna toku energie na "práci" umožňující zvýšení organizace zajištěna prostřednictvím metabolického motoru DNA, enzymů atd. Analogicky funguje automobil, v němž je chemická energie benzínu přeměňována na mechanický otáčivý pohyb kol. Je možné provést termodynamickou úvahu o tom, jak funguje metabolický motor živých systémů. Vysvětlit jeho vznik (vznik DNA, enzymů atd.) pomocí termodynamiky je ale podstatně složitější, protože není znám mechanismus přeměny toku energie na práci působící vznik struktur v předbiologických systémech. Nicolis a Prigogine shrnuli problém tímto způsobem:

Pochopitelně, že tyto jednoduché postřehy nestačí k vyřešení problému biologické organizace. Rádi bychom nejenom ustanovili, že druhá věta termodynamiky ($dS_{i \geq} 0$) je slučitelná s poklesem celkové entropie ($dS < 0$), ale také uvedli mechanismus zodpovědný za vývoj a udržení stavu určité organizace.²

Není pochyb o tom, že atomy a molekuly, z nichž jsou složeny živé buňky, se jednotlivě podřizují chemickým a fyzikálním zákonům, včetně zákonů termodynamiky. Záhadou je, jak mohlo vzniknout tak nepravděpodobné uspořádání atomů a molekul. Elektronický počítač se nápadně podobá živé buňce. Všechny komponenty počítače se chovají podle zákonů elektroniky a mechaniky. Klíč k jeho úžasným schopnostem však spočívá ve vysoce nepravděpodobném uspořádání jeho součástek, které jsou jednotlivě podřizeny zákonům elektroniky a mechaniky. Uspořádání počítače bylo navrženo konstruktéry a vytvořeno

mechaniky a v činnosti (přes občasné poruchy) je udržován pomocí pravidelných prohlídek servisním technikem.

Živé systémy mají ještě složitější strukturu. Problémem vymezeným molekulárními biology a teoretickými přírodovědci je, jak mohly samovolně vzniknout struktury živých systémů. Prigogine a spol. k tomu poznamenali:

Všechny tyto rysy poskytují vědcům bohatství nových problémů. Na prvním místě se jedná o systémy, které se samovolně rozvinuly ve vysoce organizované a složité formy. Koherentní chování je skutečně charakteristickým rysem biologických systémů.³

V této kapitole se budeme zabývat pouze problémem vzniku živých systémů. Zvláště budeme diskutovat náročný úkol tvorby složitých polymerů, jakými jsou DNA a bílkoviny, z jednoduchých biomonomerů pomocí tepelné, elektrické, chemické nebo sluneční energie. Nejprve určíme druh a velikost "práce" nutné k vytvoření DNA a enzymů. V kapitole 9 popíšeme různé teoretické modely, které se snaží vysvětlit, jak může neřízený tok energie vykonat práci nezbytnou k tvorbě složitých polymerů z jednoduchých chemických látek. Pak projdeme experimentální práce, které testovaly navržené modely. Nakonec shrneme současný stav výzkumu na tomto poli.

* "Práce ve fyzice se normálně vztahuje k síle působící po nějakou dobu. V této kapitole je však mnohem obecnějším způsobem rovna změně Gibbsovy volné energie systému, která provází polymeraci monomerů na polymery.

Jak můžeme přesněji určit práci, jež musí být vykonána energií procházející soustavou, aby došlo k syntéze DNA a proteinů z jednoduchých biomonomerů? I když vznik živých systémů zahrnuje více než jen tvorbu enzymů a DNA, jsou tyto komponenty nezbytné pro replikaci libovolného živého systému. Obecně se soudí, že přirozená selekce je možná jen u systémů, které se mohou replikovat. Je-li tomu tak, je tvorba DNA a enzymového systému jiným procesem než přirozenou selekcí nezbytnou, i když ne postačující, podmínkou přirozeného vysvětlení vzniku života (tj. vzniku bez zásahu vnější inteligentní síly).*

* Postačující vysvětlení vzniku života by muselo zahrnovat také model tvorby ostatních nezbytných buněčných komponent (včetně membrán) a jejich vzájemného uspořádání.

Uspořádanost vs. složitost v otázce informace

Až v dnešní době se stává zřejmým, že to, co je pro živé systémy charakteristické, je spíše složitost než uspořádanost.⁴ Toto odlišení vyplývá z poznání, že nezbytné součásti

replikačního systému - enzymy a nukleové kyseliny - jsou všechno molekuly nesoucí informaci. Představme si naproti tomu krystaly, tedy vysoce uspořádaná, prostorově se opakující uskupení atomů (nebo molekul), která ale nenesou téměř žádnou informaci. Nylon je dalším příkladem uspořádaného polymeru s periodickou strukturou (polyamid), který je nositelem jen malého množství informace. Nukleové kyseliny a proteiny jsou *aperiodické* polymery a právě tato aperiodicita jim umožňuje přenášet velké množství informace. Podle definice se *periodická struktura* vyznačuje *uspořádaností* a pro *aperiodickou strukturu* je typická *složitost*. Z hlediska obsahu informace představují periodické polymery (jako nylon) a krystaly knihu, v níž se neustále opakuje jediná věta. Uspořádání písmen v knize je velmi pravidelné, ale kniha obsahuje velmi málo informací, protože přítomná informace - jedno slovo nebo věta - je mnohokrát opakována.

Je třeba poznamenat, že aperiodické polypeptidy nebo polynukleotidy nemusejí *nezbytně* obsahovat smysluplnou informaci nebo mít biologicky užitečné funkce. Náhodné uspořádání písmen v knize je aperiodické, ale obsahuje málo užitečných informací (pokud vůbec nějaké), protože toto uspořádání postrádá smysl.* Pouze některé sekvence písmen odpovídají větám a pouze některé sekvence vět odpovídají odstavcům, atd. Podobně jen některé sekvence aminokyselin v polypeptidech a bází v polynukleotidech odpovídají užitečným biologickým funkcím. Podle toho může být informační makromolekula definována jako aperiodická a se *specifickou* sekvencí.⁵ Orgel poznamenal:

Živé organismy se odlišují svojí specifickou složitostí. Krystaly, např. žuly, nelze označit za živé, protože se jim nedostává složitosti; směsi náhodných polymerů nelze označit za živé kvůli nedostatku specifity.⁶

* H.P. Yockey, osobní sdělení, 29.9.1982. Význam je přiřazen sekvenci z vnějšku, libovolně, a je závislý na určité konvenci symbolů. Například slovo "gift" znamená v angličtině *dárek*, v němčině *jed* a ve francouzštině nemá žádný význam.

Tři skupiny různě uspořádaných písmen zřetelně ukáží rozdíl mezi uspořádaností a složitostí ve vztahu k informaci:

1. Uspořádaná (periodická) a tedy specifická úprava:

KONEC KONEC KONEC KONEC*

Příklady: nylon nebo krystal.

2. Složitá (aperiodická) nespecifická úprava:

AGDCBFE GBCAFED ACEDFBG

Příklady: Náhodné polymery (polypeptidy).

3. Složitá (aperiodická) specifická úprava:

TATO SEKVENCE PÍSMEN OBSAHUJE ZPRÁVU!

Příklady: DNA, bílkovina.

* Použili jsme zde slovo "KONEC", ačkoliv nemáme žádný důvod se domnívat, že nylon nebo krystal v sobě nesly takové množství informace. Ale i kdyby tomu tak bylo, utopil by se tento kousek informace v moři nadbytečnosti.

Yockey⁷ a Wickens⁸ uvádějí stejné rozlišení vysvětlující, že "uspořádanost" je statistický pojem vztahující se k pravidelnosti, kterým lze charakterizovat sled čísel v čísle nebo ionty v anorganickém krystalu. Naproti tomu se "organizace" vztahuje k fyzikálním systémům a ke specifické skupině časoprostorových a funkčních vztahů mezi jejich částmi. Yockey a Wickens také upozorňují na to, že informační makromolekuly vykazují nízký stupeň uspořádanosti, ale vysoký stupeň specifické složitosti. Stručně řečeno, mnohokrát opakovaná struktura v krystalech nemůže dát vzniknout specifické složitosti typu nebo velikosti nacházené v biologických strukturách; pokusy srovnávat organizaci a složitost nemají tedy žádnou budoucnost.

Informace a entropie

Existuje obecný vztah mezi informací a entropií. Ten umožňuje provést analýzu použitím termínů klasické termodynamiky. Máme tak k dispozici výborný nástroj pro výpočet práce, vykonané energií procházející systémem, která je potřebná k syntéze bílkovin a DNA (pokud je vůbec nějaký tok energie schopen tvořit informaci). Informační obsah dané sekvence jednotek, ať už jde o číslice v čísle, písmena ve větě nebo aminokyseliny v polypeptidu nebo bílkovině, závisí na minimálním množství pokynů potřebných ke stanovení nebo popisu struktury. K přesnému stanovení *složitě*, informaci nesoucí struktury molekuly jako je DNA je zapotřebí značné množství pokynů. Ke stanovení *uspořádané* struktury krystalu je potřeba jen několik pokynů. V tomto případě vystačíme s popisem základní sekvence nebo uspořádání, které se pak opakuje *do nekonečna* podle určitého klíče.

Orgel⁹ objasňuje tuto představu následujícím způsobem. K popisu krystalu je potřeba jen přesně stanovit látku a způsob, jakým budou její atomy navzájem uspořádány. K tomu by mělo postačovat několik vět s instrukcemi, a pak už jen "opakování

téhož", protože krystaly mají pravidelnou strukturu. Popis by byl stejně krátký jako stanovení struktury polynukleotidu podobajícího se DNA, který má ale náhodnou sekvenci bází. V takovém případě je třeba znát pouze poměrné zastoupení čtyř nukleotidů v konečném produktu spolu s pokynem vytvořit jejich náhodnou sekvenci. Chemik by tak mohl vytvořit polymer vhodného složení, ale náhodné sekvence.

Je zcela vyloučené vytvořit odpovídajícím způsobem jednoduchý návod, podle něhož by chemik syntetizoval DNA bakterie *E. coli*. V tomto případě je totiž *sekvence důležitá*. Jen přesným určením sekvence písmeno za písmenem (kolem 4 000 000 instrukcí) bychom mohli říci chemikovi, jak má postupovat. Takový návod by se však nevešel do několika krátkých vět, ale zabral by celou velkou knihu!

Brillouin,¹⁰ Schrodinger¹¹ a další¹² stanovili kvalitativní i kvantitativní vztah mezi informací a entropií. Podle Brillouina¹³ je entropie soustavy daná rovnicí

$$S = k \ln \Omega \quad (8-1)$$

kde S je entropie soustavy, k je Boltzmannova konstanta a Ω odpovídá počtu možností uspořádání energie a hmoty v soustavě.

K označení tepelné a konfigurační entropie použijeme výrazů S_t a S_k . Tepelná entropie S_t je spojena s distribucí energie v soustavě. Konfigurační entropie S_k se týká pouze uspořádání hmoty v soustavě. Vzhledem k našemu účelu se budeme zajímat zejména o sekvence aminokyselin v polypeptidech (nebo bílkovinách) nebo nukleotidů v polynukleotidech (např. DNA). Symboly t a k se vztahují k počtu případných možností uspořádání hmoty a energie v soustavě.

Můžeme tedy napsat:

$$S = k \ln \Omega_t \Omega_k = k \ln \Omega_t + k \ln \Omega_k = S_t + S_k \quad (8-2a)$$

$$\text{kde } S_t = k \ln \Omega_t \quad (8-2b)$$

$$\text{a } S_k = k \ln \Omega_k \quad (8-2c)$$

Určení velikosti informace: od náhodného polymeru k informačnímu polymeru

Chceme-li přeměnit náhodný polymer na informační molekulu, můžeme zjistit vzrůst informačního obsahu (podle Brillouina) určením rozdílu mezi negativními hodnotami entropie odpovídajícími počátečnímu a konečnému stavu, tedy entropie náhodného polymeru a informační molekuly, následujícím způsobem:

$$I = -(S_{ki} - S_{kn}) \quad (8-3a)$$

$$I = S_{kn} - S_{ki} \quad (8-3b)$$

$$= k \ln \Omega_{kn} - k \ln \Omega_{ki} \quad (8-3c)$$

V této rovnici je I mírou informačního obsahu aperiodického (složitého) polymeru se specifickou sekvencí, S_{ki} představuje konfigurační "kódovací" entropii tohoto polymeru nesoucího určitou informaci a S_{kn} představuje konfigurační entropii téhož polymeru s nespecifickou neboli náhodnou sekvencí.*

Jak si lze všimnout, informační obsah polymeru se specifickou sekvencí je maximální, může-li být hmota v molekule uspořádána mnoha různými způsoby, z nichž jen jeden nese daný informační obsah. (Jak vyplývá z rovnice 8-2c, S_{kn} je velké, neboť Ω_{kn} je velké, zatímco $S_{ki} = 0$ protože $\Omega_{ki} = 1$, rovnice 8.2c). Informace nesená krystalem je malá, protože S_k krystalu je malá (rov. 8-2c). Krystal má velmi malou možnost nést informaci, protože je tak málo možností distribuce jeho hmoty. Náhodný polymer představuje ještě výraznější kontrast. Nenese žádnou informaci, protože S_{kn} je sice velká, ale rovna S_{ki} (viz rovnice 8-3b).

Závěrem lze říci, že rovnice 8-2c a 8-3c vyjadřují kvantitativně názor, že jen aperiodické makromolekuly se specifickou sekvencí jsou schopny nést velké množství informace což je charakteristické pro živé systémy. Později vypočteme hodnotu " Ω_k " pro náhodné i specifické polymery, takže budeme moci určit změnu konfigurační entropie přechodu od náhodného polymeru ke specifickému. V další části zvážíme jaké složky celkové práce jsou potřebné pro tvorbu makromolekul, jakými jsou DNA a proteiny.

* Yockey a Wickenes definují informaci poněkud jinak než Brillouin, jehož definici používáme v naší analýze. Rozdíl, pokud se naší analýzy týče, však není důležitý.

Tvorba DNA a proteinu:

Definování práce

Práce potřebná k uspořádání jednoduchých biomonomerů do složitého (neboli aperiodického) lineárního polymeru se specifickou sekvencí, jakou nalézáme v DNA nebo proteinu, má tři odlišné složky. Změna Gibbsovy energie ΔG soustavy během polymerace představuje celkovou práci, která musí být vykonána energií procházející soustavou. Již dříve bylo ukázáno, že změna Gibbsovy volné energie je

$$\Delta G = \Delta E + P \Delta V - T \Delta S \quad (8-4a)$$

nebo

$$\Delta G = \Delta H - T \Delta S \quad (8-4b)$$

kde pokles Gibbsovy volné energie při dané chemické reakci poblíž rovnováhy zajišťuje vzrůst entropie vesmíru, požadovaný druhou větou termodynamiky.

Nyní uvažujme složky Gibbsovy volné energie (rov. 8-4b), kde změna entalpie (ΔH) je zejména výsledkem změn v celkové vazebné energii (ΔE) za předpokladu, že výraz $P\Delta V$ je zanedbatelný. Složku entalpie (ΔH) budeme označovat jako *chemickou práci*. Užitečné však bude ještě následující rozlišení: Změna entropie (ΔS), která doprovází polymerační reakci, může být rozdělena do dvou odlišných komponent, které odpovídají změnám v distribuci tepelné energie (ΔS_t) a v distribuci hmoty (ΔS_k), viz rovnice 8-2. Podle toho můžeme psát rovnici 8-4b následujícím způsobem:

$$\Delta G = \Delta H - T \Delta S_t - T \Delta S_k \quad (8-5)$$

Gibbsova chemická tepelná konfigurační

volná energie práce entropická entropická energie práce práce

Ukážeme, že polymerace makromolekul vede k poklesu tepelné a konfigurační entropie ($\Delta S_t < 0$, $\Delta S_k < 0$). Oba výrazy účinně zvyšují ΔG a představují tak vedle chemické další složky práce, která má být vykonána.

Uvažujme tvorbu bílkoviny nebo DNA z biomonomerů v chemické polévce. Pro výpočty si lze jejich tvorbu představit ve dvou krocích: (1) polymeraci za vzniku řetězce s aperiodickou strukturou, ale téměř náhodnou sekvencí,* a (2) přeskupení do aperiodické sekvence, která je specifická a nese informaci. Změna entropie (ΔS) spojená s prvním krokem je téměř výhradně dána změnou tepelné entropie (ΔS_t), jak jsme se již zmínili dříve. Změna entropie v druhém kroku je v podstatě dána změnou konfigurační entropie (ΔS_k). Ve skutečnosti, jak již bylo řečeno, je změna konfigurační entropie (ΔS_k) = ΔS_k , "kódující" přechod od náhodného uspořádání (ΔS_{kn}) ke specifické sekvenci (ΔS_{ki}) v makromolekule, podle Brillouina (viz rovnice 8-3a) číselně rovna záporné hodnotě informačního obsahu molekuly.

Stručně řečeno, tvorba složitých biologických polymerů, jako jsou DNA a bílkoviny, zahrnuje změny chemické energie ΔH , tepelné entropie ΔS_t a konfigurační entropie ΔS_k systému. Nalezení velikosti těchto jednotlivých změn pomocí experimentálních dat a několik výpočtů nám umožní kvantifikovat požadovanou velikost práce, již má vykonat tok

energie soustavou při syntéze makromolekul, jako DNA a bílkovin.

Kvantifikace různých složek práce

1. CHEMICKÁ PRÁCE

Polymerace aminokyselin za vzniku polypeptidů (bílkovin) či polymerace nukleotidů, vedoucí ke vzniku polynukleotidů (DNA), probíhá prostřednictvím kondenzačních reakcí. Podle dat shromážděných Hutchensem¹⁴ lze vypočítat, že změna entalpie odpovídající tvorbě dipeptidu je pro různé aminokyseliny 5 - 8 kcal/mol. Soustavě se musí tedy dodat práce, aby v ní mohla probíhat polymerace. Morowitz¹⁵ odhaduje mnohem obecněji, že chemická práce nebo průměrný vzrůst entalpie potřebný pro tvorbu makromolekuly v živých systémech je 16,4 cal/g. Na jiných místech v téže knize uvádí, že průměrný vzrůst vazebné energie při vzniku bakterie *E. coli* z jednoduchých sloučenin je 0,27 eV/atom. Je tedy zřejmé, že musí být vykonána chemická práce, aby z biomonomerů vznikly makromolekuly podobné těm, které jsou nezbytné pro živé systémy. Naproti tomu je tvorba aminokyseliny z jednoduchých plynů redukující atmosféry (metan, amoniak, voda) spojená se změnou entalpie (ΔH) -50 kcal/mol až -250 kcal/mol,¹⁶ což znamená, že energie je uvolňována a ne spotřebovávána. Tím se vysvětluje, proč v prebiotických modelových experimentech vznikají aminokyseliny poměrně snadno. Na druhé straně je známo, že tvorba aminokyselin probíhá při pokusech za méně redukujících podmínek (oxid uhličitý, dusík a voda) podstatně obtížněji. Důvodem je kladná hodnota odpovídající změny entalpie (ΔH), což znamená, že energie se musí dodat, aby mohla probíhat energeticky nevýhodná chemická reakce.

2. TEPELNÁ ENTROPICKÁ PRÁCE

Wickens¹⁷ uvádí, že polymerační reakce budou snižovat počet možných způsobů distribuce translační energie při současném zvýšení možností vibrační a rotační energie. Výsledkem čistého poklesu je řada možností, jak lze rozdělit tepelnou energii, a tím i pokles tepelné entropie podle rovnice 8-2b (tj. $\Delta S_t < 0$). K nalezení velikosti poklesu tepelné entropie (ΔS_t) spojené s tvorbou polypeptidu nebo polynukleotidu nám nejlépe dopomohou experimentální výsledky.

Morowitz¹⁸ odhadl, že průměrný pokles tepelné entropie, ke kterému dojde během tvorby makromolekul v živých systémech, je 0,218 cal/deg.g neboli 65 cal/g při 298°K. Armstrong a spol.¹⁹ ve své současné práci udávají, že hodnoty ΔH a $-T\Delta S_t$ pro polymeraci nukleotidů až na pentamery jsou 11,8 kcal/mol a 15,6 kcal/mol při 294°K. Gibbsovu volnou energii tedy zvyšuje

pokles tepelné entropie během polymerace biomakromolekul a práce potřebná k tvorbě těchto molekul, tj. $-T \Delta S_t > 0$.

3. KONFIGURAČNÍ ENTROPICKÁ PRÁCE

Nakonec určíme velikost změny konfigurační entropie (ΔS_k), která doprovází tvorbu DNA a proteinu. V tomto případě nám standardní experimenty, v nichž jsou určovány rovnovážné konstanty polymeračních reakcí za různých teplot, příliš nepomohou. Tyto pokusy se nezajímají o to, zda je ve výsledných polymerech dosaženo specifické sekvence, ale jen o koncentraci utvořených polymerů s náhodnou sekvencí (tj. polypeptidů). Následkem toho neměří příspěvek konfigurační entropie (ΔS_k) ke změně celkové entropie (ΔS). Velikost změny konfigurační entropie spojená se vznikem sekvence polymerů však může být vypočtena.

Pomocí definice pro konfigurační "kódovací" entropii danou rovnicí 8-2c můžeme přímo spočítat změnu konfigurační entropie pro daný polymer. Počet možností uspořádání hmoty v lineárním systému (Ω_k) lze nalézt pomocí statistiky. Brillouin²⁰ ukázal, že počet odlišných sekvencí, které lze utvořit z N různých symbolů, je za použití Fermi-Diracovy statistiky dán rovnicí

$$\Omega = N! \quad (8-6)$$

Vyskytují-li se některé z těchto symbolů opakovaně, je počet jedinečných nebo odlišných sekvencí redukován následujícím způsobem:

$N!$

$$\Omega = \frac{N!}{n_1! n_2! \dots n_i} \quad (8-7)$$

$$n_1! n_2! \dots n_i$$

kde $n_1 + n_2 + \dots + n_i = N$ a i představuje počet odlišných symbolů. Pro protein je $i = 20$, protože u živých systémů byla nalezena skupina dvaceti odlišných aminokyselin, kdežto pro DNA je $i = 4$, což představuje podskupinu čtyř nukleotidů. Typický protein obsahuje 100 až 300 aminokyselin uspořádaných do specifické sekvence, tedy $N = 100$ až 300. Pro DNA bakterie *E. coli* je $N = 4\,000\,000$. V dodatku 1 jsou uvažovány alternativní přístupy výpočtu Ω_k a je ukázáno, že výsledky vyplývající z rovnice 8-7 leží na dolní hranici skutečné hodnoty.

Pro náhodný polypeptid skládající se ze 100 aminokyselin můžeme vypočítat konfigurační entropii S_{kn} pomocí rovnic 8-2c a 8-7:

$$S_{kn} = k \ln \Omega_{kn}$$

$$N! 100! 100!$$

protože $\Omega_{kn} = = =$

$$n_1! n_2! \dots n_{20}! 5! 5! \dots 5! (5!)^{20}$$

$$= 1,28 \times 10^{115} \quad (8-8)$$

Výpočet rovnice 8-8 je založen na předpokladu, že polypeptid obsahuje stejný počet molekul každé aminokyseliny, tj. 5. Protože k (Boltzmannova konstanta) se rovná $1,38 \times 10^{-14}$ nJ/deg a $\ln(1,28 \times 10^{115}) = 265$,

$$S_{kn} = 1,38 \times 10^{-14} \times 265 = 3,66 \times 10^{-12} \text{ nJ/deg na polypeptid}$$

Pokud by jen *jediná* specifická sekvence aminokyselin mohla poskytnout charakteristickou funkci, pak by konfigurační entropie proteinu neboli specifického aperiodického polypeptidu byla :

$$S_{ki} = k \ln \Omega_{ki}$$

$$= k \ln 1$$

$$= 0 \quad (8-9)$$

Určení ΔS_k při přechodu od náhodného polymeru k informačnímu polymeru

Změna konfigurační entropie S_k odpovídající přechodu od náhodného polypeptidu obsahujícího 100 aminokyselin, se stejným počtem molekul každé z dvaceti aminokyselin, k polypeptidu se specifickou sekvencí nesoucí informaci je:

$$S_k = S_{ki} - S_{kn}$$

$$= 0 - 3,66 \times 10^{-12} \text{ nJ/deg na polypeptid}$$

$$= - 3,66 \times 10^{-12} \text{ nJ/deg na polypeptid} \quad (8-10)$$

Konfigurační entropická práce ($-T \Delta S_k$) je při laboratorní teplotě :

$$-T \Delta S_k = -(298^\circ\text{K}) \times (-3,66 \times 10^{-12}) \text{ nJ/deg na polypeptid}$$

$$= 1,1 \times 10^{-9} \text{ nJ/polypeptid}$$

$$6,023 \times 10^{23} \text{ molekul/mol}$$

$$= 1,1 \times 10^{-9} \text{ nJ/polypeptid} \times$$

$$10\,000 \text{ g/mol}$$

$$1 \text{ cal}$$

x

$$4,184 \times 10^9 \text{ nJ}$$

$$= 15,8 \text{ cal/g (8-11)}$$

kde relativní molekulová hmotnost proteinu byla odhadnuta na 10 000 z předpokladu, že průměrná relativní molekulová hmotnost aminokyseliny je po odstranění molekuly vody rovna 100. Podobnou hodnotu konfigurační entropické práce, tj. 16,8 cal/g, dostaneme pro protein obsahující 300 aminokyselin, jejichž jednotlivé druhy jsou zastoupeny stejným počtem molekul.

Obdobně lze vypočítat konfigurační entropickou práci pro molekulu DNA bakterie *E. coli* za předpokladu, že obsahuje 4×10^6 nukleotidů v řetězci a že každý ze čtyř odlišných nukleotidů (tj. lišících se typem vázané nukleové báze) je v této molekule přítomen 1×10^6 krát, a že průměrná relativní molekulová hmotnost nukleotidu je 339. Při teplotě 298°K pak dostaneme:

$$-T \Delta S_k = -T(S_{ki} - S_{kn})$$

$$= T(S_{kn} - S_{ki})$$

$$= kT \ln(\Omega_{kn} - \ln \Omega_{ki})$$

$$(4 \times 10^6)!$$

•

•

$$= kT \ln - kT \ln 1$$

$$(10^6)! (10^6)! (10^6)! (10^6)!$$

$$= 2,26 \times 10^{-5} \text{ nJ/polynukleotid}$$

$$= 2,39 \text{ cal/g (8-12)}$$

Je zajímavé, že zatímco práce potřebná pro vytvoření specifické sekvence je v případě molekuly DNA obsahující 4 miliony nukleotidů mnohem větší než v případě proteinu obsahujícího 100 aminokyselin ($2,26 \times 10^{-5}$ nJ/DNA oproti $1,10 \times 10^{-9}$ nJ/protein), je tato práce vztažená na gram daných sloučenin ve skutečnosti menší pro DNA. Existují dva důvody tohoto snad neočekávaného výsledku: (1) nukleotid má větší hmotnost než aminokyselina (339 proti 100); (2) abeceda je omezenější, jsou-li k dispozici jen čtyři nukleotidová "písmena" ve srovnání s dvaceti "písmeny" aminokyselin. Nicméně důležitější je hodnota celkové nutné práce, která říká, že syntéza DNA je mnohem obtížnější než syntéza proteinu.

Je třeba zdůraznit, že tyto odhady velikosti potřebné konfigurační entropické práce jsou umírněně malé. Z praktických důvodů byla v našich výpočtech zanedbána konfigurační entropická práce nutná pro výběr monomerů. Předpokládáme tedy, že v prebiotické polévce bylo přítomno pouze dvacet biologicky významných aminokyselin, potřebných pro vznik funkčních proteinů. Totéž platí i pro DNA. Předpokládali jsme, že v polévce byla přítomna pouze charakteristická skupina čtyř nukleotidů a že tyto nukleotidy neinteragovaly s aminokyselinami nebo jinými složkami polévky. Jak jsme ukázali v kapitole 4, bylo by ve skutečném oceánu přítomno množství různorodých aminokyselin a nukleotidů, tuto různorodost jsme však v našich výpočtech konfigurační entropické práce zanedbali. Kromě toho by polévka obsahovala mnoho jiných druhů molekul, které mohly reagovat s aminokyselinami a nukleotidy. Podobně byl zanedbán problém použití pouze vhodných optických izomerů. Náhodná chemická polévka by obsahovala směs D- a L- forem aminokyselin v poměru 1 : 1, z nichž by se však do skutečného proteinu mohly zabudovávat pouze L-enantiomery. Podobně je v DNA zastoupen výlučně opticky aktivní cukr D-deoxyribóza. Konečně jsme zanedbali problém tvorby nepřírozených vazeb. Předpokládali jsme, že se při tvorbě polypeptidu tvořily mezi aminokyselinami pouze α -vazby a při tvorbě polynukleotidů vznikaly jen správné vazby mezi uhlíky 3' a 5' molekul cukru. Tyto problémy týkající se specifity nedávno kvantifikoval Yockey.²¹

Dvě stránky problému, tedy výběr odpovídajícího složení látky a kódování neboli přeskupení za vzniku vhodné sekvence, jsou analogické psaní příběhu za použití písmen vytažených z hromady lístečků, obsahujících vždy jedno z 22 hebrejských

souhlásek, 24 řeckých nebo 26 anglických písmen. Abychom napsali anglickou zprávu

HOW DID I GET HERE?

musíme nejprve z této hromady vybrat po dvou písmena: H, I, E, D a po jednom W, O, G, T a R. Již vytažení nebo vybrání této specifické skupiny písmen je samo o sobě značně nepravděpodobnou událostí. Práce potřebná pro výběr právě těchto 14 písmen by byla jistě mnohem větší než práce vynaložená na jejich uspořádání do správné sekvence. Podobně naše výpočty uvažují pouze snazší krok uspořádání a zanedbávají větší problém výběru patřičné skupiny písmen. Hodnota skutečné konfigurační entropické práce, která má být vykonána, je tak značně podhodnocená.

V kapitole 6 jsme vytvořili stupnici ukazující stupeň vlivu badatele při prebiotických modelových experimentech. Při diskusi o této stupnici jsme ukázali, že v publikovaných pokusech měl badatel velmi často důležitý, ale *nelegitimní* podíl na úspěchu experimentu. Na tomto místě je jasné, že jedním takovým nelegitimním zásahem badatele je vykonání části konfigurační entropické práce, tj. té části z celkové práce - $T\Delta S_k$, která odpovídá výběru vhodných prekurzorů.

Někdy se uvádí, že druh aminokyseliny přítomný v bílkovině je skutečně důležitý jen v určitých pozicích v řetězci - aktivních místech - a ne kdekoli v molekule. Pokud by toto platilo, bylo by možno tutéž zprávu (tj. funkci) realizovat více než jednou sekvencí aminokyselin.

Tím by se snížila "kódovací" práce, protože počet dovolených uspořádání Ω_{ki} v rovnicích 8-9 a 8-10 by byl větší než 1. Zanedbáme-li toto snížení, bude to mít na naše výpočty nepatrný vliv ve srovnání se zanedbáním "selekční" práce a uvažováním pouze "kódovací práce", jež jsme právě diskutovali. To nás přivádí k závěru, že náš odhad ΔS_k je značně nízký.

Výpočet celkové práce při polymeraci biomakromolekul

Nyní můžeme odhadnout celkovou práci potřebnou ke sloučení biomonomerů za vzniku polymeru nezbytného pro živé systémy. Výpočet využívající rovnici 8-5 lze uskutečnit ve dvou krocích. Nejprve probíhá polymerace aminokyselin za vzniku polypeptidu, přičemž je vykonána chemická a tepelná entropická práce ($\Delta H - T\Delta S_t$). Poté se náhodný polymer přeorganizuje za vzniku specifické sekvence a je vykonána konfigurační entropická práce ($-T\Delta S_k$). Například celková práce vyjádřená změnou Gibbsovy volné energie potřebná k vytvoření specifické sekvence je

$$\Delta G = \Delta H - T\Delta S_t - T\Delta S_k \quad (8-13)$$

kde lze předpokládat, že výraz $\Delta H - T\Delta S_t$ má hodnotu 300 kcal/mol při vytvoření náhodného polypeptidu ze 101 aminokyseliny (100 vazeb). Práce potřebná k přeskupení náhodného polypeptidu a vytvoření užitečné sekvence tak, že vznikne funkční bílkovina, zahrnuje přídatnou komponentu "kódovací" práce $-T\Delta S_k$, která byla dříve odhadnuta na 15,9 cal/g, nebo přibližně 159 kcal/mol pro náš protein se sto vazbami a přibližnou relativní molekulovou hmotností 10 000. Z toho plyne, že celková práce (při zanedbání práce na třídění a výběr) je přibližně

$$\Delta G = (300 + 159) \text{ kcal/mol} = 459 \text{ kcal/mol} \quad (8-14)$$

kde "kódovací" práce představuje 159/459 čili 35 % celkové práce.

Podobně vyžaduje polymerace 4×10^6 nukleotidů za vzniku náhodného polynukleotidu přibližně 27×10^6 kcal/mol. Přeskupení tohoto náhodného polynukleotidu na specifickou molekulu DNA s aperiodickou sekvencí vyžaduje dodatekovou práci $3,2 \times 10^6$ kcal/mol. Práce, která je potřeba ke kódování polymerované DNA, tvoří tedy 8,5 % celkové práce - opět při zanedbání práce potřebné na třídění a výběr.

Vytvoření bílkoviny za rovnovážných podmínek není možné

V kapitole 7 bylo uvedeno, že tvorba makromolekuly (např. bílkoviny polymerací aminokyselin) je energeticky nevýhodná, a proto musí být soustavě dodávána práce prostřednictvím toku energie. Je obtížné si představit průběh polymeračních reakcí za rovnovážných podmínek, tj. za nepřítomnosti tohoto toku energie.

Za rovnovážných podmínek je koncentrace bílkoviny, kterou bychom získali v roztoku všech aminokyselin o téže koncentraci 1 mol/l, dána rovnicí

$$[\text{bílkovina}] \times [\text{H}_2\text{O}]$$

$$K = \quad (8-15)$$

$$[\text{glycin}][\text{alanin}] \dots$$

kde K je rovnovážná konstanta, definovaná jako

$$- \Delta G$$

$$K = \exp (8-16)$$

RT

Po úpravě

$$\Delta G = -RT \ln K (8-17)$$

Již dříve jsme uvedli, že $\Delta G = 459$ kcal/mol pro náš protein složený ze 101 aminokyselin. Plynová konstanta $R = 1,9872$ cal/deg.mol a předpokládá se, že T je 298°K. Dosazením těchto hodnot do rovnice 8-15 a 8-16 dostaneme

$$\text{koncentrace bílkoviny} = 10^{-338} \text{ M (8-18)}$$

Tento nepatrný výtěžek zdůrazňuje neúčinnost tvorby bílkovin za rovnovážných podmínek. V následující kapitole budeme uvažovat různé teoretické modely, které se snaží vysvětlit, jak může energie protékající soustavou vykonat práci potřebnou pro polymeraci DNA a bílkoviny, již jsme kvantifikovali v této kapitole. Nakonec prověříme experimentální úsilí uskutečnit syntézu biomakromolekul.

Literatura

1. Peter M. Molton, 1978. *J.Brit.Interplanet.Soc.* **31**, 147.
2. G. Nicolois a I. Prigogine, 1977. *Self Organization in Nonequilibrium Systems*. New York: John Wiley, str. 25.
3. I. Prigogine, G. Nicolis a A. Babloyantz, 1972. *Physics Today*, str. 23.
4. L.E. Orgel, 1973. *The Origins of Life*. New York: John Wiley, str. 189ff; M. Polanyi, 1968. *Science* **160**, 1308; Hubert P. Yockey, 1977. *J.Theoret.Biol.* **67**, 377; Jeffrey Wickens, 1978. *J.Theoret.Biol.* **72**, 191.
5. Yockey, *J.Theoret.Biol.*, str. 383.
6. Orgel, *The Origins of Life*, str. 189.
7. Yockey, *J.Theoret.Biol.*, str. 579.
8. Wickens, *J.Theoret.Biol.*, str. 191.
9. Orgel, *The Origins of Life*, str. 190.

10. L.Brillouin,1951. *J.Appl.Phys.***22**, 334; 1951. *J.Appl.Phys.***22**, 338; 1950. *Amer.Sci.* **38**, 594; 1949. *Amer.Sci.* **37**, 554.
 11. E. Schrodinger, 1945. *What is Life?* London: Cambridge University Press a New York: Macmillan.
 12. W. Ehrenberg, 1967. *Sci.Amer.* **217**, 103; Myron Tribus a Edward C. McIrvine, 1971. *Sci.Amer.* **225**, 197.
 13. Brillouin, *J.Appl.Phys.* **22**, 335.
 14. John O. Hutchens, 1976. *Handbook of Biochemistry and Molecular Biology*, 3. vydání, Physical and Chemical Data, Gerald D. Fasman. Cleveland: CRC Press.
 15. H. Morowitz, 1968. *Energy Flow in Biology*. New York: Academic Press, str. 79.
 16. H. Borsook a H.M. Huffman, 1944. *Chemistry of Amino Acids and Proteins*, ed. C.L.A. Schmidt. Springfield, Massachusetts: Charles C. Thomas Co., str. 822.
 17. Wickens, *J.Theoret. Biol.*, str. 191.
 18. Morowitz, *Energy Flow in Biology*, str. 79.
 19. D.W. Armstrong, F. Nome, J.H. Fendler a J. Nagyvary, 1977. *J.Mol.Evol.* **9**, 213.
 20. Brillouin, *J.Appl.Phys.* **22**, 338.
 21. H.P. Yockey, 1981. *J.Theoret.Biol.* **91**, 13.
-

KAPITOLA 9

Upřesnění pracovního postupu

V kapitole 7 jsme viděli, že práce nezbytná pro polymeraci makromolekul DNA a bílkovin z jednoduchých biomonomerů může být *potenciálně* kryta energií, která protéká systémem. Také víme, že tento tok energie je nezbytnou, nikoli však postačující podmínkou pro vznik životně důležitých makromolekul. Postavení domu z hromady cihel vyžaduje práci, ale stěží můžeme očekávat, že takovou práci vykoná dynamit. Nezbytný tok energie systémem musí být tedy určitým specifickým způsobem přeměněn na práci, která má být vykonána. Proto byla kapitola 8 věnována charakterizaci jednotlivých složek práce, které se uplatňují při polymeračních reakcích. Z jejich přehledu vyplývá jedna velice důležitá věc. Při tvorbě DNA a bílkovin je použití toku energie na konání požadovaného druhu práce velmi důležité, protože konfigurační entropická práce potřebná pro kódování představuje značnou část práce celkové.

Teoretické modely vzniku DNA a bílkovin

Při studiu tvorby biologických makromolekul zdaleka nestačí odvolávat se pouze na otevřený termodynamický systém. Je třeba vytvořit funkční teoretický model, který vysvětlí, jak může být využitelná energie spřažena s konáním požadované práce. V této kapitole probereme různé teoretické modely vzniku DNA a bílkovin. Zaměříme se zejména na jednotlivé navrhované mechanismy převedení dostupné energie na požadovanou práci, zejména pak konfigurační entropickou práci kódování.

Nahodilost

Před tím, než byla vzata do úvahy specifická složitost živých systémů, panoval názor, že vznik živých systémů lze, za předpokladu dostatečného času, vysvětlit "nahodilostí." Ve většině učebnic je vlastně vznik života vysvětlován především působením nahodilosti. Například Lehninger tvrdí ve své klasické učebnici *Biochemie*:

Nyní se dostáváme ke kritickému okamžiku evoluce, kdy se prostřednictvím nahodilého spojení množství abioticky vytvořených makromolekulárních složek objevuje první podoba

"života", aby poskytla jedinečný systém se značně zvýšenou schopností přežití.¹

Později byla "nahodilost" jako mechanismus vzniku života významně zpochybněna.²

My nyní můžeme analyzovat "nahodilost" vzniku života pomocí postoje, k němuž jsme dospěli v předchozí kapitole. Předpokládejme, že tok energie systémem je schopen konat chemickou a tepelnou entropickou práci a že konfigurační entropická práce výběru a kódování je vykonána na principu nahodilosti.

Pro názornou představu předpokládejme, že chceme syntetizovat protein obsahující 101 aminokyselin. V rovnici 8-14 jsme odhadli vzrůst celkové volné energie (ΔG), neboli práce potřebné k tvorbě náhodného polypeptidu z předem vybraných aminokyselin, na 300 kcal/mol. Dalších 159 kcal/mol je potřeba pro překódování polypeptidu na protein. Protože model "nahodilosti" nepředpokládá žádnou závislost mezi tokem energie a tvorbou sekvence, lze frakci polypeptidů se správnou sekvencí vypočítat pomocí rovnovážné termodynamiky (rovnice 8-16):

[koncentrace proteinu] $-\Delta G$

$$\frac{\dots}{\dots} = \exp(9-1)$$

[koncentrace polypeptidu] RT

-159.000

= exp

1,9872 x 298

$\cong 1 \times 10^{-117} *$

* To je v podstatě převrácená hodnota odhadu počtu možností, jakými lze sestavit 101 aminokyselin do jednoho řetězce (t.j. I/Q_k v rovnici 8-7).

Tento poměr poskytuje frakci polypeptidů, které mají sekvenci proteinu.

Eigen³ odhadl, jaký počet polypeptidů o molekulové hmotnosti 10^4 (to je stejná hmotnost, jakou jsme brali v úvahu v předchozím výpočtu), by se nacházel ve vrstvě silné 1 metr, pokrývající celý zemský povrch. Dospěl k číslu 10^{41} . Jestliže by se tyto polypeptidy přeskupovaly do nových sekvencí maximální rychlostí, jakou mohou chemické reakce probíhat, tj. $10^{14}/s$, po dobu 5 miliard let ($1.6 \times 10^{17}s$), pak by celkový počet polypeptidů, jaký vůbec mohl v historii Země vzniknout, byl

$$10^{41} \times 10^{14}/s \times 1,6 \times 10^{17}s = 10^{72} \quad (9-2)$$

Porovnáním výsledků rovnice 9-1 a 9-2 zjistíme, že pravděpodobnost vytvoření jednoho proteinu o 101 aminokyselině během pěti miliard let je $1 : 10^{45}$. Použitím poněkud odlišných příkladů dospěli Steinman⁴ a Cairns-Smith⁵ ke stejnému závěru, že totiž nahodilost nepostačuje k vysvětlení vzniku života na Zemi.

Je zřejmé, že "nahodilost" je třeba jako model pro kódování makromolekul nezbytných pro živé systémy opustit. Ve skutečnosti se tak s výjimkou populárně naučné literatury a základních učebnic již stalo.

Neodarwinistický přirozený výběr

Když si lidé uvědomili, jak nepravděpodobné je, že by se množící se organismy mohly tvořit pouhými náhodnými interakcemi, začali vytvářet velké množství spekulací, které se týkaly existence nějakého nezbytného organizujícího principu. Spolu s mnoha jinými také Crick⁶ předpokládal, že odpověď může poskytnout neodarwinistický mechanismus přirozeného výběru. Nicméně i tady je nutná prvotní existence nějaké entity, jež je schopná vlastní samostatné replikace, než může začít působit samotný přirozený výběr. Teprve pak mohou přijít změny způsobené mutacemi a tlakem okolního prostředí, jejichž následkem je převaha entit s největší pravděpodobností přežití a reprodukce.

Nejslabším bodem tohoto vysvětlení vzniku života je vysoká složitost počáteční entity, která musí vzniknout zřejmě náhodným způsobem, než začne fungovat přirozený výběr. Tato teorie v podstatě předpokládá vytvoření "metabolického motoru", který bude následně schopen usměrnit tok energie systémem. Takto usměrněný tok energie pak podle předpokladu umožňuje konání nejen chemické a tepelné entropické práce, ale i konfigurační entropické práce při výběru vhodných látek a překódování vzniklého polymeru za vzniku aperiodického,

specifického a biologicky funkčního polymeru. Takový systém musí nést ve své struktuře minimálně informaci pro svou vlastní syntézu a kontrolovat mechanismy, které vytvářejí požadované kopie. Je obecně známo, že takový systém vyžaduje bílkoviny i nukleové kyseliny,⁷ i když podle několika autorů by tuto úlohu mohly splňovat i krátké peptidy.⁸

Jednou z cest k vyřešení tohoto problému by bylo rozšířit představu přirozené selekce na prebiotický svět molekul. Řada autorů bere tuto možnost v úvahu, ačkoliv neexistuje žádný důkaz, který by podpořil její věrohodnost. Přirozený výběr je uznávaným principem diferencované reprodukce, který předpokládá existenci alespoň dvou odlišných typů molekul schopných autoreplikace. Dobzhansky varoval pracovníky ve výzkumu vzniku života, aby neměnili obsah definice přirozeného výběru:

"Rád bych vás jednoduše požádal, abyste si uvědomili, že nemůžete používat slovní spojení "přirozený výběr" nepřesně. Prebiotický přirozený výběr je sám sobě protimluvou."⁹

Bertalanffy vyjadřuje stanovisko ještě daleko přesněji:

"Výběr, tj. přednostní přežívání 'lepších' prekurzorů života, už sám o sobě předpokládá samoudržování složitých, otevřených systémů, mezi nimiž je možná kompetice; výběr tudíž nemůže být vysvětlením pro vznik těchto systémů samotných."¹⁰

Vrozené tendence hmoty k samouspořádání

Jak by mohl být tok energie systémem účinně převeden na chemickou a tepelnou entropickou práci, aby byl získán nezanedbatelný výtěžek polypeptidu, jaký je předpokládán modelem "nahodilosti"? Jednu odpověď může tvořit myšlenka, že konfigurační entropická práce a zejména práce potřebná pro kódování by mohly být důsledkem tendence hmoty k samouspořádání. Na podporu tohoto modelu se staví práce Steinmana a Coleho¹¹ z konce šedesátých let.¹² Předpokládá se, že polymerace proteinu je *nenáhodný* proces, při němž je kódování proteinu výsledkem rozdílů v chemických vazebných silách. Například, dojde-li k reakci mezi aminokyselinami A a B ochotněji než k reakci mezi aminokyselinami C, D a E, očekávali bychom, že častěji nalezneme v proteinu vazbu mezi aminokyselinami A a B než A a C, A a D, A a E nebo B a C, B a D či B a E.

Před nedávnem jsme společně s naším kolegou Randallem Kokem stanovovali četnost dipeptidů v deseti bílkovinách, které původně analyzovali Steinman a Cole¹³ a rovněž v patnácti dalších bílkovinách, jejichž struktury (kromě hemoglobinu) byly určeny poté, co byla v roce 1967 poprvé publikována práce

těchto vědců. Očekávali jsme, že nalezneme shodu mezi četnostmi dipeptidů ze Steinmanovy a Coleho práce a průměrnými četnostmi pro přirozené proteiny. Charakteristické struktury jednotlivých proteinů by způsobily odlišnost výsledků od Steinmanových a Coleho dat; když se však tyto charakteristiky nahradily průměrem, bylo možné očekávat podobné hodnoty četností dipeptidů, jaké získali oba vědci. Vybrané hodnoty uvedené v tabulce 9-1 ukazují, že Steinmanovy a Coleho četnosti dipeptidů příliš neodpovídají pozorovaným četnostem dipeptidů v jedné, deseti nebo dvaceti pěti přirozených bílkovinách. Realizace těchto výpočtů pomocí počítače je jednoduchá. Domníváme se, že pro dosažení lepšího souladu byly použity další předpoklady, které nejsou uvedeny v citované práci.

Nadto se četnosti dipeptidů nalezené ve dvaceti pěti přirozených bílkovinách blíží spíše statisticky náhodné distribuci než četnostem dipeptidů naměřených Steinmanem a Colem. Z tohoto pozorování vyplývá, že vazebné preference mezi jednotlivými aminokyselinami nehrají důležitou roli při kódování proteinu. A konečně, kdyby měly chemické vazebné síly vliv na pořadí aminokyselin, očekávali bychom, že získáme velkou převahu jediné sekvence (jako v krystalech ledu) nebo ne více než několik sekvencí místo obrovského množství, jaké nalézáme v živých systémech. Yockey, který použil odlišnou analýzu, dospěl v zásadě ke stejnému závěru.¹⁴

Podobný závěr lze učinit i pro syntézu DNA. Až do současnosti nebyly publikovány žádné údaje, které by potvrzovaly existenci vazebných preferencí, uplatňujících se při kódování molekul DNA. Chemické vazebné síly mají zjevně minimální vliv na tvorbu sekvence nukleotidů v polynukleotidu.

Katalytické působení minerálů

Minerální katalýza je často navrhována jako důležitá součást prebiotické evoluce. Experimentální práce uveřejněné na počátku sedmdesátých let¹⁵ uvádějí, že minerální katalýza funguje při polymeracích prostřednictvím adsorpce biomonomerů na povrch nebo mezi jednotlivé vrstvy jílu. Monomery se tak účinně koncentrovaly a byly chráněny před opětovným přijímáním vody, což umožnilo průběh kondenzačních reakcí. Žádný další efekt nebyl objeven. S ohledem na katalytický vliv jílu upozornil Hulett: "Je nezbytné si uvědomit, že povrch nemůže změnit poměry mezi volnou energií reagujících látek a produktů, ale pouze rychlost, s jakou je dosažena rovnováha."¹⁶

Je minerální katalýza schopná konat chemickou nebo tepelnou entropickou práci? Odpověď zní rozhodně ne. Katalýza by sice měla podporovat konání tepelné entropické práce, není však schopná konat chemickou práci, protože jíly nedodávají

energii. Proto byly při úspěšných pokusech s minerální katalýzou vždy používány energeticky bohaté prekurzory, například aminoacyladenyláty, místo aminokyselin.¹⁷

Existuje nějaká naděje, že minerální katalýza může konat konfigurační entropickou práci, zejména při kódování polypeptidů a polynukleotidů? I v tomto případě zní odpověď naprosto jasně ne. Až do současné doby vznikaly při pokusech kondenzovat z roztoku vybrané chemické látky pouze náhodné polymery. Kromě toho neexistuje teoretický podklad pro tvrzení, že by minerální katalýza mohla udělit polypeptidům nebo polynukleotidům jakýkoliv podstatný informační obsah. Jak poznamenal Wilder-Smith,¹⁸ není možno očekávat, že by nízký stupeň uspořádanosti, který se nachází v minerálech, zajistil vysoký stupeň kódování polymerů, které vznikají kondenzací po adsorpci na povrch minerálu. Jinak řečeno, nelze získat složitý polymer s neperiodickou sekvencí použitím velmi periodického (krystalického) templátu.

Minerální katalýzu je tedy nutno vyloučit jako mechanismus pro konání chemické a konfigurační entropické práce, potřebné při polymeraci životně důležitých makromolekul. Může pouze pomáhat při polymeraci krátkých, náhodných řetězců polymerů z vybraných vysokoenergetických biomonomerů tím, že ulehčuje konání tepelné entropické práce.

Nelineární, nerovnovážné děje

1. Ilya Prigogine

Prigogine vytvořil obecnější formulaci zákonů termodynamiky, která zahrnuje nelineární, ireverzibilní děje, například autokatalytickou aktivitu. Ve své knize *Self Organization in Nonequilibrium Systems (Samoorganizace v nerovnovážných systémech, 1977)*¹⁹, kterou napsal společně s Nicolisem, tuto práci shrnul a aplikoval pro případ uspořádání a udržování vysoce složitých struktur živých objektů. Základním tvrzením této knihy je, že existují určité systémy, které se řídí nelineárními zákony - zákony, jejichž aplikací vznikají dva odlišné druhy chování. V blízkosti termodynamické rovnováhy převládá destrukce pořádku (entropie dosahuje maximální hodnoty ve shodě s tlakem systému). Jsou-li však tyto systémy odvedeny dostatečně daleko od rovnováhy, může se uspořádání objevit spontánně.

Příkladem takového chování je tok tepla prouděním. Vedení tepla v plynech probíhá normálně náhodnými srážkami molekul plynu. Za určitých podmínek však může vedení tepla probíhat prostřednictvím vzestupného teplého proudu, tj. koordinovaného pohybu mnoha molekul plynu. Podobným způsobem může vytékat proud vody z vany díky náhodnému pohybu molekul vody pod

vlivem gravitace. Za určitých podmínek však může být náhodný pohyb vody do odpadu vystřídán dobře známým, vysoce uspořádaným tokem ve víru. V každém případě jsou náhodné pohyby molekul v kapalině spontánně vystřídány vysoce uspořádaným chováním. Prigogine a spol.²⁰ a Eigen²¹ a další navrhli, že podobný druh samouspořádání je snad vlastní organické chemii a může teoreticky vysvětlit vznik vysoce složitých makromolekul nezbytných pro živé systémy.

Tyto analogie mají ale omezený vztah k otázce vzniku života. Hlavním důvodem je, že nedokáží rozlišit mezi uspořádaností a složitostí. Vysoce uspořádaný tok energie systémem jako je vzestupný proud tepla nebo víry není dobrou analogií, stejně jako jí není neměnný, periodicky uspořádaný krystal. Pravidelnost nebo uspořádanost nemůže zajistit uchování velkého množství informací, které vyžadují živé systémy. Místo uspořádané struktury je potřeba spíše vysoce nepravidelná, ale specifická struktura. Neexistuje zřejmé spojení mezi způsobem spontánního uspořádání, ke kterému dochází vlivem toku energie takovými systémy, a prací potřebnou k vybudování neperiodických, na informace bohatých makromolekul, jako jsou DNA a bílkoviny. Prigogine a spol.²² navrhuje, že tok energie systémem snižuje jeho entropii, což potenciálně vede k vysoce organizované struktuře DNA a bílkoviny. Nepředkládají však žádný návrh mechanismu, jak by mohl být pokles tepelné entropie z toku energie systémem použit na konání potřebné konfigurační entropické práce.

Druhým důvodem pro skeptický pohled na modely vytvořené Prigoginem a spol.²³ a dalšími je, že uspořádání utvořené uvnitř systému je determinováno omezením, tedy hranicemi samotného systému. Uspořádanost systému a, což je důležitější, jeho složitost tak nemohou dosáhnout většího stupně než jaký lze nalézt v okolním prostředí.

Walton²⁴ ilustruje tento názor následujícím způsobem. Nádoba s plynem, která je na jedné straně připojena ke zdroji tepla a na druhé straně k rezervoáru o nižší teplotě, tvoří otevřený systém. Tok energie systémem od zdroje tepla k rezervoáru o nižší teplotě vede ke koncentrování plynu v chladnější oblasti. Řád v tomto systému je daný konstrukcí: zdroj-intermediární systémy-odvod tepla. Jestliže dojde k takové změně této konstrukce, že se zdroj tepla dostane do kontaktu s rezervoárem, který teplo odčerpává, vrátí se systém zpět do rovnováhy. Je třeba poznamenat, že informace indukovaná v otevřeném systému nepřevyšuje informační obsah okolní struktury, která je jejím zdrojem.

Kondenzace nukleotidů za vzniku polynukleotidů nebo nukleových kyselin může být uskutečněna použitím vhodného zařízení (tj. struktury) a dodáváním energie a hmoty. Podobně jako Walton

ukázal také Mora²⁵, že míra uspořádanosti (nemluvě o specifické složitosti) v konečném produktu není větší než množství informace ukryté ve fyzikálním uspořádání experimentu nebo v chemické struktuře reagujících látek. Nerovnovážná termodynamika nevysvětluje toto původní uspořádání či strukturu, ale předpokládá jeho existenci, a pak ukazuje způsob uspořádání, který tak vzniká. Vznik a udržování této struktury tak není vysvětleno, a jak správně poznamenal Harrison,²⁶ problém se tak vrací zpět ke vzniku vnitřního uspořádání ve vesmíru. Věda dosud nenavrhlá žádné uspokojivé řešení tohoto problému.

Nicolis a Prigogine²⁷ předkládají svůj trimolekulární model jako příklad chemického systému s požadovanou nelinearitou, jež způsobuje sebeuspořádání. Matematicky odvozují, že v původně homogenním systému může později vzniknout periodická prostorová rozmanitost koncentrací. K dosažení tohoto nízkého stupně uspořádání jsou však nezbytné mezní poměry, s jakými se setkáváme jen v blízkosti buněčných stěn (tj. na membránách), relativní reakční rychlosti, které nejsou typické pro kondenzační reakce, rychlé odstranění reakčních produktů a trimolekulární reakce, tedy vysoce nepravděpodobné simultánní srážky tří atomů. Nadto vyžaduje trimolekulární model chemické reakce, které jsou v podstatě ireverzibilní. Kondenzace peptidů a polypeptidů jsou ale vysoce reverzibilní, pokud není odstraňována ze systému veškerá voda.

Autoři navrhují, že nízký stupeň prostorového uspořádání dosažený v jednoduchém trimolekulárním modelu by mohl být řádově větší pro složitější reakce, které by tak mohly směřovat k plně replikujícím se buňkám. Soubor hraničních omezení, relativních reakčních rychlostí atd. by však byl také řádově větší. Ve skutečnosti mohou být tato omezení překonána výhradně vnitřním uspořádáním okolí, tedy vnějším zásahem chemika. Plným právem můžeme tedy náhodné, současné splnění všech omezujících podmínek nazvat zázrakem.

V současné době dokážeme syntetizovat v laboratoři několik proteinů, jako např. inzulin. Chemik musí nejen dodat energii potřebnou ke konání chemické a tepelné entropické práce, ale také použít i nezbytné chemické manipulace k zajištění konfigurační entropické práce. Bez toho by se neuskutečnil výběr odpovídající směsi molekul a vytvoření správné sekvence aminokyselin. Úspěch syntézy závisí nezbytně na chemikovi.

Nicolis a Prigogine postulovali, že systém chemických reakcí, který má jednoznačně autokatalytickou aktivitu, může být schopen obejít problémy spojované nyní se syntézou prebiotické DNA a bílkovin. Zbývá jen *experimentálně* prokázat, že tyto modely mají jakýkoliv vztah k prebiotickým kondenzačním reakcím. Zatím nanejvýš předpovídají větší výtěžky kondenzací

bez jakéhokoliv mechanismu kontrolujícího sekvenci. Nebyl také předložen žádný experimentální důkaz, který by ukázal, jak by tyto modely mohly umožnit vznik jakéhokoliv podstatného stupně kódování. Modely Prigogine a spol. založené na nerovnovážné termodynamice nenabízejí v současnosti vysvětlení, jak byla za prebiotických podmínek uskutečněna konfigurační entropická práce. Problém převedení toku energie systémem na požadovanou konfigurační entropickou práci tedy zůstává nezodpovězen.

2. Manfred Eigen

Ve svých obsáhlých aplikacích nerovnovážné termodynamiky na evoluci biologických systémů Eigen²⁸ ukázal, že selekce by nemohla zajistit žádný evoluční vývoj v otevřeném systému, pokud by tento systém nebyl udržován daleko od rovnováhy. Reakce musejí být autokatalytické, avšak schopné reprodukovat samy sebe. V polemice Eigen ukázal, že vznik skutečného autoreplikujícího se systému vyžaduje spojení instrukcí obsažených v komplementárním párování bází v nukleových kyselinách s katalytickou funkcí bílkovin, umožňující kondenzace. Kaplan²⁹ odhaduje, že takový systém potřebuje 20-40 funkčních bílkovin, které obsahují po 70-100 aminokyselinách, a podobný počet nukleových kyselin. Nicméně, jak již bylo uvedeno, je pravděpodobnost vzniku byť jediné bílkoviny o 100 aminokyselinách v podstatě nulová.

Tato představa trpí stejným nedostatkem, jako již popsané modely. Nepředkládá totiž mechanismus převedení toku energie systémem na konfigurační entropickou práci, nezbytnou pro vytvoření systému, jež je schopen samostatné replikace.

Opakovaně se setkáváme s touž myšlenkou (objevující se snad neúmyslně), že totiž nahodilost usnadňuje v teoretických modelech řešení problému. Názorně to ukazuje Eigenův model. Musí totiž nezbytně vycházet z náhodných událostí, takže je téměř stejně neuvěřitelný, jako náhodný vznik života samého. Skutečnost, že v abiotických sekvencích musí být nahodilost obecně mnohokrát použita, je podle Brookse a Shawa "nejslabším místem v celé teorii chemické evoluce."³⁰

Experimentální výsledky syntéz bílkovin a DNA

Až dosud jsme se zabývali rozličnými teoretickými modely, které byly navrženy jako vysvětlení, jak může tok energie systémem vykonat práci potřebnou pro syntézu bílkovin a DNA. Shledali jsme, že jsou nevyhovující. Nicméně je možné, že experimentální podpora myšlenky spontánního vzniku života může být nalezena dříve, než bude tento problém objasněn teoreticky. Jaké jsou tedy výsledky experimentálního úsilí syntetizovat bílkoviny a DNA? Během posledních třiceti let bylo za tímto účelem vyvinuto značné experimentální úsilí. V

této části přezkoumáme snahy o prebiotické syntézy bílkovin a DNA s ohledem na tři formy energie, o kterých se nejčastěji soudí, že byly k dispozici na dávné Zemi. Jedná se o tepelnou energii sopek, zářivou energii Slunce a chemickou energii v podobě kondačních činidel nebo energeticky bohatých prekurzorů. (Elektrická energie je v tomto stadiu evoluce vyloučena, protože je příliš "prudká," převažují u ní ničivé účinky nad syntézou biomonomerů.)

Syntézy za tepla

Sidney Fox³¹ provedl jako první syntézy polypeptidů za tepla a produkty své syntézy nazval *proteinoidy*. Fox zahříval aminokyseliny buď za sucha nebo ve vodném roztoku při 200°C* po dobu 6-7 hodin. Veškerá voda včetně té, která se uvolňovala při polymeraci, byla účinně odstraňována odpařováním. Odstranění vody umožnilo získat malý, ale významný výtěžek polypeptidů, z nichž některé obsahovaly až 200 aminokyselinových zbytků. Teplo je systémem přijímáno vedením a prouděním a odchází z něho prostřednictvím páry. Důvod úspěchu tohoto způsobu tvorby polypeptidů snadno vyplyne z pohledu na rovnice 8-15 a 8-16. Vzrůstem teploty totiž vzrůstá výtěžek produktu v důsledku vzrůstu hodnoty výrazu $\exp(-\Delta G/RT)$. Ještě důležitější však je, že odstraněním vody se reakce stává ireverzibilní, a poskytuje tedy nesmírný výtěžek ve srovnání s výtěžkem reakce za rovnovážných podmínek, daný zákonem o působení aktivní hmoty.

* Fox později modifikoval tuto metodu vytvořením "nízkoteplotní" syntézy, tj. při 90°-120°C. Viz S. Fox, 1976. *J.Mol.Evol.* **8**, 301; a D. Rohlving, 1976. *Science* **193**, 68.

Tepelné syntézy polypeptidů však selhávají ze čtyř důvodů. První z nich vyplynul z analýzy produktů použitím nukleární magnetické rezonance (NMR). Proteinoidy vzniklé tepelnou syntézou "se jen vzdáleně podobají přírodním peptidům a proteinům, protože v jejich molekulách zpravidla převažují β, γ a ϵ ** peptidické vazby nad přirozenou α -vazbou."*³² Dalším důvodem je, že proteinoidy jsou složeny stejnou měrou z L- a D-aminokyselin na rozdíl od přirozených proteinů, které obsahují výhradně jejich L-formy. Třetí nedostatek spočívá v tom, že neexistuje důkaz, že by proteinoidy byly něčím jiným než náhodně uspořádanými řetězci aminokyselin, které nemají žádnou nebo jen velmi malou katalytickou aktivitu (toto Fox již dlouho popírá). Miller a Orgel uvádí v souvislosti s Foxovým tvrzením o podobnosti proteinoidů a proteinů, následující pozorování:

Dosud demonstrováný stupeň nenahodilosti polypeptidů vzniklých tepelnou syntézou je velmi nepatrný ve srovnání s nenahodilostí proteinů. Je tedy velmi zavádějící hovořit o

podobnosti těchto polypeptidů s proteiny, pokud jde o nenahodilost jejich struktury.

* Tento citát se vztahuje k peptidovým vazbám, do nichž jsou zapojeny β -karboxylová skupina asparagové kyseliny, γ -karboxylová skupina glutamové kyseliny a ϵ -aminoskupina lysinu, které se nevyskytují v přírodních bílkovinách, obsahujících výlučně α -peptidické vazby.

Čtvrtým nedostatkem je, že podmínky, za nichž byly syntézy za tepla uskutečněny, nelze považovat z geologického hlediska za realistické. Folsome k tomu dodává: "Hlavní otázkou [týkající se Foxových proteinoidů] je, kde se ve skutečném abiologickém světě vzaly všechny tyto čisté, suché, koncentrované a opticky aktivní aminokyseliny?"³⁴

Tok tepelné energie systémem včetně odstranění vody může nepochybně konat tepelnou entropickou a chemickou práci potřebnou k tvorbě polypeptidu (podle našeho předchozího příkladu to je 300 kcal/mol). Důkazem konání této práce je skutečnost, že tyto polypeptidy vznikají. Je rovněž zřejmé, že doplňková konfigurační entropická práce potřebná pro přeměnu neperiodického a nespecifického polypeptidu na specifický, neperiodický polypeptid, tedy funkční protein, nebyla vykonána (v předchozím případě představovala 159 kcal/mol).

Je třeba si uvědomit, že těchto 159 kcal/mol konfigurační entropické práce bylo spočítáno za předpokladu, že změna sekvence aminokyselin představuje jedinou dodatečnou práci, která má být vykonána. Experimentální výsledky Temussiho a spol.³⁵ naznačují značnou obtížnost izolace výhradně L-aminokyselin z racemické směsi a vytvoření α -vazeb mezi nimi. Tento požadavek tedy dále zvyšuje konfigurační entropickou práci potřebnou k vytvoření správné sekvence nad hodnotu našeho odhadu (159 kcal/mol). Velikost tohoto vzrůstu konfigurační entropické práce můžeme odhadnout, jestliže se vrátíme zpět k našim původním výpočtům (rovnice 8-7 a 8-8).

V našem původním výpočtu, který se týkal hypotetického proteinu o 100 aminokyselinách, jsme předpokládali, že všech dvacet druhů aminokyselin je zastoupeno stejným počtem molekul. Počet možných sekvencí aminokyselin jsme pak vypočítali následujícím způsobem:

100! 100!

$$\Omega_{kn} = = = 1,28 \times 10^{115} \quad (9-3)$$

$$5!5!5!\dots 5! (5!)^{20}$$

Jestliže si uvědomíme, že pravděpodobnost výskytu L-aminokyseliny je v každém místě proteinu 50 %, a učiníme-li velkorysý předpoklad,* že je 50 % pravděpodobnost, že daná vazba je typu α , jaký je běžný u skutečných proteinů, pak bude počet možností uspořádání systému náhodnou chemickou reakcí:

$$\Omega_{kn} = 1,28 \times 100^{115} \times 2^{100} \times 2^{99} = 10^{175} \quad (9-4)$$

kde 2^{100} odpovídá počtu dalších možných uspořádání v případě, že by v každém místě mohla být L- nebo D-aminokyselina, a 2^{99} představuje předpoklad, že 99 vazeb mezi 100 aminokyselinami je rovnoměrně rozděleno mezi přirozené α -vazby a nepřirozené β -, γ -, nebo ε -vazby.

* Některé práce uvádějí přítomnost méně než 50 % α -vazeb v peptidech utvořených vzájemnou reakcí náhodné směsi aminokyselin. (P.A. Temussi, L. Paolillo, F.E. Benedetti a S. Andini, 1976. *J.Mol.Evol.* **7**, 105.)

Požadavky kladené na biologicky funkční molekulu bílkoviny jsou následující: (1) pouze L-aminokyseliny, (2) pouze α -vazby, (3) specifická sekvence. Protože tomu tak je, zůstává výpočet konfigurační entropie použitím rovnice 8-8 nezměněn až na to, že počet možností uspořádání systému, Ω_{kn} , vzrostl z $1,28 \times 10^{115}$ na $1,0 \times 10^{175}$, jak vyplývá z rovnic 9-3 a 9-4. Použitím vztahů uvedených v rovnicích 8-7 a 8-8 spolu s počtem permutací upravených v předchozím textu můžeme získat celkovou konfigurační entropickou práci. Po provedení výpočtu dostaneme celkovou entropickou konfigurační práci 195 kcal/mol, z čehož připadá 159 kcal/mol na tvorbu sekvence a 36 kcal/mol na získání výhradně L-aminokyselin a α -vazeb. Konečně je třeba si uvědomit, že Fox a další se svým přístupem vyhnuli ještě mnohem většímu podílu konfigurační entropické práce, protože vycházeli z čistých aminokyselin, tj. vyloučili ostatní organické sloučeniny, a tím eliminovali práci potřebnou na výběr vhodných sloučenin, která není zahrnuta v hodnotě 195 kcal/mol vypočítané dříve.

Stručně řečeno je neřízená tepelná energie schopna konat při syntéze polypeptidu pouze chemickou a tepelnou entropickou práci, ale ne část konfigurační entropické práce potřebné ke kódování, tj. tvorbě určité sekvence. Proteinoidy jsou pouhá klubka náhodných polymerů. Takový polymer složený výhradně z aminokyselin (i když spojených nejenom přirozenými peptidovými vazbami) byl vytvořen jako důsledek výlučného použití aminokyselin při pokuse. Část konfigurační entropické práce, která byla vykonána, tedy práce potřebné pro výběr vhodných

sloučenin, nebyla uskutečněna působením přirozených sil systému, ale působením nelegitimního vlivu badatele. Je obtížné si představit, jak by bylo kdy možné převést náhodný tok tepelné energie systémem na konfigurační entropickou práci nezbytnou pro provedení výběru a utvoření dané sekvence. Konečně, jak poznamenali jiní autoři, je tento postup velmi sporný i z hlediska geologického, neboť je založen na množství náhodných událostí.

Sluneční energie

V literatuře se můžeme příležitostně setkat s problematikou fotochemicky (UV) indukovaných polymerací vedoucích ke vzniku polypeptidů a polynukleotidů. Podstatou děje je uskutečnění termodynamicky nevýhodné polymerační reakce v důsledku průchodu sluneční energie vodným roztokem, čímž může být vykonána nezbytná práce. I když je reakce nevýhodná (viz rovnice 8-16), můžeme očekávat spontánní vznik minoritních výtěžků malých peptidů. Větší výtěžky delších peptidů by bylo možné očekávat pouze v tom případě, že by energie byla určitým způsobem spřažena s reakcí. Fox a Dose přezkoumali výsledky pokusů, které provedli Bahadur a Ranganayaki³⁶ a zjistili, že UV záření nebylo spřaženo s reakcí. Uvádějí: "Autoři neukázali, že by se jim podařilo něco jiného, než pouze urychlit ustavení nepříznivé rovnováhy. Mohou tak pouze potvrdit platnost druhé věty termodynamiky."³⁷ Další pokusy vytvořit polymery přímo vlivem UV záření nebyly vzhledem k nepřítomnosti spřažení energie s reakcí povzbudivé. Použitím sluneční energie nebylo umožněno konání ani chemické ani tepelné entropické práce a rozhodně ne konfigurační entropické práce.

Chemická energie (energeticky bohatá kondenzační činidla)

Použitím kondenzačních činidel se z energeticky nepříznivé reakce vzniku dipeptidu ($\Delta G_1 = + 3\ 000\ \text{cal/mol}$) stává reakce energeticky výhodná ($\Delta G_3 < 0$), protože dojde ke spřažení s druhou reakcí, která je energeticky velmi výhodná ($\Delta G_2 < 0$), a dodá tak energii potřebnou pro vznik dipeptidu:

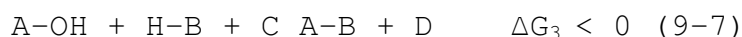
vznik dipeptidu



reakce kondenzačního činidla



souhrnná reakce



Stejně jako v případě tepelné syntézy proteinoidů je i tentokrát odstraňována voda. V tomto případě je však odstraňována chemickou reakcí s vhodným kondenzačním činidlem - takovým, které účinně snižuje Gibbsovu volnou energii tak, aby reakce mohla probíhat ($\Delta G_2 < 0$ a $|\Delta G_2| \geq |\Delta G_1|$, čili $\Delta G_1 + \Delta G_2 = \Delta G_3 \leq 0$).

Bohužel se ukázalo, že je obtížné nalézt kondenzační činidla pro syntézu těchto makromolekul, která by mohla vznikat na prebiotické Zemi a fungovat vhodným způsobem za mírných podmínek v alkalickém vodném prostředí.³⁸ Prozatím jsou tedy v pokusech používána jiná kondenzační činidla, která nejsou prebioticky významná, např. polymetafosfáty. Deriváty kyanidu, přijatelné jako kondenzační činidla na dávné Zemi, ve vodných roztocích snadno hydrolyzují (viz kapitola 4). Přitom se nespojují přednostně s vodou, která pochází z kondenzačně-dehydratační reakce. Kondenzační činidla, s kterými se setkáváme v živých systémech, jsou produkována pouze těmito systémy, a nejsou tedy prebioticky významná. Mimoto jsou aminokyseliny nejprve aktivovány enzymovou aktivitou živého systému, a teprve pak dochází ke kondenzaci těchto aktivovaných molekul, čímž je odstraněn problém náhodné reakce s vodou.

I kdybychom však mohli vyřešit významné problémy spojené s prebiotickou syntézou polypeptidů použitím kondenzačních činidel, získali bychom přesto jen náhodné polypeptidy. Spřažením hydrolyzy kondenzačního činidla s vlastní kondenzační reakcí je konána jen chemická a tepelná entropická práce. Neexistuje důvod, proč bychom se mohli domnívat, že by kondenzační činidla mohla mít nějaký vliv na výběr aminokyselin nebo na jejich sekvenci. Tím jsou kondenzační činidla vyloučena jako možné prostředky konající konfigurační entropickou práci při kódování proteinů nebo DNA.

Chemická energie (energeticky bohaté prekurzory)

Protože je tvorba i náhodného polypeptidu z aminokyselin energeticky velmi nevýhodná ($\Delta G = 300$ kcal/mol pro 100 aminokyselin), pokusili se někteří badatelé připravit polypeptidy přímo z energeticky bohatých prekurzorů, např. HCN, tedy způsobem, při kterém dochází k uvolňování energie, tj. $\Delta G < 0$. Tento postup má své výhody, neboť nevyžaduje konání chemické práce. Reakcí energeticky bohatých prekurzorů

vedoucí ke vzniku složitých molekul dochází k reálnému poklesu vazebné energie. Tento pokles vazebné energie umožňuje uskutečnění reakce a současně konání tepelné entropické práce. Háček je však v tom, že vycházíme-li při přímé tvorbě složitých polymerů z jednoduchých molekul (např. HCN), je konfigurační entropická práce takového kroku (bez mezikroků, které poskytují biomonomery) ohromná.

Jednotlivé experimentální kroky schématu zahrnují reakci plynů, například metanu, amoniaku a oxidu uhličitého, za vzniku aminokyselin a dalších sloučenin, které v následujícím stupni vytvářejí polymery. V pokusech tohoto typu je významná složka konfigurační entropické práce, tj. selekční práce, zpravidla vykonána badatelem, který odděluje, čistí a koncentruje aminokyseliny před vlastní polymerací. Matthews³⁹ se svými spolupracovníky provedl pokusy, v nichž chyběl tento mezikrok, a badatel tak neměl příležitost přispět, byť nepřímo, k úspěchu pokusu pomocí při selekci chemikálií, tj. vykonání části konfigurační entropické práce. V těchto pokusech – bezpochyby mnohem přijatelnějších jako skutečné prebiotické modelové pokusy – je však již dříve zmiňovaná malá pravděpodobnost úspěchu však dále omezena. Matthews a Mose⁴⁰ uvedli, že s použitím HCN jako energeticky bohatého prekurzoru a amoniaku jako katalyzátoru získali za bezvodých podmínek rozmanité chemické sloučeniny. Autoři uvádějí, že po působení vody na polymer získali mezi produkty i peptidy. Ferris a spol. však ukázali, že polymery HCN neuvolňují po působení proteolytických enzymů (enzymů štěpících proteiny) aminokyseliny a že neposkytují pozitivní výsledek v biuretové reakci (barevná reakce peptidů). Je velmi těžké uvést tyto výsledky v soulad se strukturou peptidů.

Ferris⁴² a Matthews⁴³ souhlasí s tím, že přímá syntéza polypeptidů nebyla dosud uskutečněna. Ačkoli se některé peptidické vazby mohou tvořit přímo, bylo by velmi udivující, kdybychom je našli ve významném množství. Protože z HCN vznikají i jiné sloučeniny a tvoří se různé druhy vazeb, je tvorba polypeptidu s výlučně α -vazbami nanejvýš nepravděpodobná. Nadto nelze očekávat tvorbu určité sekvence při reakci, která je řízena a vedena pouze chemickou energií.

Ačkoli nevěříme v úspěch jednostupňové syntézy polypeptidů z HCN, o níž usilují Matthews a další vědci, je tato metoda postižena nejmenším vlivem badatele, a představuje tedy velmi přijatelný prebiotický modelový pokus. Metodický postup Foxe a dalších, tj. reakce plynů za vzniku množství organických sloučenin, oddělení aminokyselin, jejich purifikace a konečně polymerace, je mnohem úspěšnější, protože zahrnuje větší měrou vliv badatele. Část konfigurační entropické práce potřebné pro selekci zajišťuje v tomto případě vědec. Matthewsův neúspěch v produkci polypeptidů je předvídatelný jako důsledek obrovského

problému prebiotické syntézy, který není v tomto případě překonán nelegitimním zásahem badatele.

Katalytické působení minerálů

V literatuře byla popsána neobvyklá syntéza polypeptidů, která využívá minerální katalýzu.⁴⁴ Syntéza probíhá ve vodném roztoku energeticky bohatých aminoacyladenylátů, jejichž použití je vhodnější než použití aminokyselin, za přítomnosti určitých vrstevnatých jílu, jako jsou např. montmorillonity. Na povrch a mezi vrstvy jílu jsou adsorbována velká množství reakčních činidel bohatých na energii. Katalytický účinek jílu pak může primárně spočívat v zakoncentrování reagujících látek. Touto metodou lze získat polypeptidy o délce až 50 i více jednotek. Polymerace sice za těchto podmínek zjevně probíhá, použití energeticky bohatého aminoacyladenylátu (obr. 9-1) je však problematické, protože by za prebiotických podmínek snadno vstupoval do mnoha vedlejších reakcí, jak je popsáno v kapitole 4. Nadto nevede použití jílu a volných aminokyselin k úspěšné syntéze polypeptidů. Energeticky bohaté aminoacylderiváty snižují polymeraci svou chemickou vazebnou energií, konají tepelnou entropickou práci, a umožňují tak průběh reakce. Úlohou jílu je koncentrovat reagující látky a snad i katalyzovat reakci. I v tomto případě nenalzáme žádný zjevný mechanismus spojení toku energie, která je ve formě prebioticky sporných, energeticky bohatých, prekurzorů s konfigurační entropickou prací nezbytnou pro selekci a tvorbu sekvence specifických aperiodických polypeptidů nebo bílkovin.

Shrnutí experimentálních výsledků prebiotické syntézy proteinů

Stručně řečeno, zjistili jsme, že je možné konat tepelnou entropickou práci a chemickou práci, které jsou nezbytné k vytvoření náhodných polypeptidů, např. Foxových proteinoidů. V žádném případě jsme se však nesečkali s úspěchem při konání dodatečné konfigurační entropické práce při kódování, která je nezbytná pro přeměnu náhodného polypeptidu na bílkovinu. Ve skutečnosti nebyl nalezen žádný mechanismus, který by dával jakoukoli naději na vyřešení spojení náhodného toku energie systémem s konáním velmi specifické práce. Prebiotická věrohodnost uvedených úspěšných syntéz polypeptidů je diskutabilní, protože před syntézou polymeru byla působením badatele vykonána značná konfigurační entropická práce výběrem reagujících látek. Nikdo neuvádí, že by právě takový soubor aminokyselin, který se nachází v živých objektech, byl vybrán přirozenými prostředky nebo že by se tento soubor skládal výhradně z L- α -aminokyselin. Proto musí být značná část zodpovědnosti za tvorbu proteinoidů připsána Foxovi a dalším vědcům spíše než přírodě.

Shrnutí experimentálních výsledků prebiotické syntézy DNA

Bylo dokázáno, že prebiotická syntéza DNA je ještě obtížnější než syntéza proteinu. Problémy, které obklopují syntézu proteinu, působí ještě více při syntéze DNA. Tok energie systémem snad umožní chemickou reakci mezi nukleotidy a vznik polymerního řetězce, je však velmi obtížné zajistit, aby reakce probíhaly specifickým způsobem. Vazby 3'-5' mezi molekulami cukrů jsou například nezbytné k utvoření šroubovicové struktury DNA (viz obr. 9-2). Při většině prebiotických modelových pokusů vznikaly však převážně 2'-5' vazby.⁴⁵ Sekvence bází v DNA má stejně důležitý význam jako sekvence aminokyselin v bílkovinách. Oba zmíněné požadavky představují problém konání konfigurační entropické práce. Jednou věcí je, uskutečnit chemickou reakci mezi molekulami; zcela odlišným problémem je však spojit molekuly tak, aby vzniklo požadované uspořádání. Vědci až do současnosti dokázali pouze připravit oligonukleotidy, čili relativně krátké řetězce nukleotidů, které nesplňovaly ani podmínku 3'-5' vazeb, ani požadavek specifické sekvence bází.

Miller a Orgel uzavřeli svou kapitolu týkající se prebiotických kondenzačních reakcí slovy:

Tato kapitola čtenáře pravděpodobně zmate. Věříme, že důvodem je malý pokrok ve studiu prebiotické kondenzace. Máme k dispozici množství zajímavých, leč útržkovitých informací, ale správné mechanismy nebyly dosud objeveny.⁴⁶

Tato situace je dodnes velmi podobná.

Závěrečné shrnutí experimentálních výsledků

Existuje zřejmý kontrast mezi významným úspěchem při syntéze aminokyselin a trvalým neúspěchem při syntéze proteinů a DNA. Věříme, že důvodem je velký rozdíl ve velikostech potřebné konfigurační entropické práce. Aminokyseliny jsou ve srovnání s bílkovinou velmi jednoduché, a lze tedy vcelku očekávat jejich vznik, i když příslušné chemické reakce probíhají dosti náhodně. Snaha o získání složitých molekul bílkovin a DNA tímto způsobem bude zpravidla mnohem méně úspěšná, protože příspěvek konfigurační entropické práce tvoří nezanedbatelnou část celkově potřebné práce. Převedení toku energie systémem na chemickou a tepelnou entropickou práci je mnohem snazší než převedení na konfigurační entropickou práci. Neúspěch doslova tisíce pokusů o syntézu bílkoviny nebo DNA provedených často za sporných prebiotických podmínek je důsledkem obtíží při dosažení vysokého stupně informačního obsahu neboli specifické složitosti prostřednictvím *neřízeného* toku energie systémem.

Nesmíme zapomenout, že celková práce potřebná k tvorbě živého systému značně převyšuje práci nezbytnou pro syntézu DNA a bílkoviny, kterou jsme diskutovali v této kapitole. Jak jsme

uvedli dříve, k tvorbě jednoduchého replikujícího se systému je třeba alespoň 20-40 bílkovin a rovněž DNA a RNA. Nedostatek známých prostředků spojení energie s konfigurační entropickou prací potřebnou pro tvorbu DNA a bílkoviny je ještě mnohanásobně závažnější v případě tvorby živého systému. V důsledku toho se v literatuře někteří stále dovolávají nahodilosti jako řešení tohoto nejobtížnějšího problému, ačkoliv výpočty ukázaly, že pravděpodobnost jejího úspěšného vlivu je i v průběhu 5 miliard let existence Země neuvěřitelně malá. Buďto byl tedy tok energie převeden na práci, zejména práci potřebnou pro vybudování specifické struktury, dosud neobjasněným způsobem nebo se jednalo o skutečný zázrak.

Shrnutí termodynamické diskuze

V kapitolách 7-9 jsme se zabývali termodynamickou analýzou problémů složitosti a vzniku života. Důvodem této analýzy je, že se v současné vědecké literatuře týkající se vzniku života *a priori* považuje běžně používaný pojem otevřeného systému (vyměňuje s okolím hmotu a energii) za dostatečné vysvětlení složitosti života. Přezkoumali jsme platnost tohoto tvrzení a zjistili jsme, že takový systém postačuje pro rozumné vysvětlení vykonané chemické a tepelné entropické práce, ale ne pro vysvětlení konfigurační entropické práce kódování (nemluvě o práci na třídění a selekci). Zjistili jsme, že je pro tento účel nezbytný nějaký spojující mechanismus. Bez něho není možné přeměnit zápornou entropii spojenou s tokem energie na zápornou entropii spojenou s konfigurační entropií a odpovídající informací. Nyní si klademe otázku, zda je rozumné věřit, že takový "skrytý" spojující mechanismus, který může hrát tak zásadní roli templátu, metabolického motoru a pod., a řídit tok energie způsobem umožňujícím tvorbu nové informace, bude v budoucnosti nalezen.

Literatura

1. Albert L. Lehninger, 1970. *Biochemistry*, New York: Worth Publishers, str. 782.
2. H.P. Yockey, 1977. *J. Theoret. Biol.* **67**, 377; R. W. Kaplan, 1974. *Rad. Environ. Biophys.* **10**, 31.
3. M. Eigen, 1971. *Die Naturwiss.* **58**, 465.
4. G. Steinman, 1967. *Arch. Biochem. Biophys.* **121**, 533.

5. A.G. Cairns-Smith, 1971. *The Life Puzzle*. Edinburgh: Oliver and Boyd.
6. F. Crick, 1966. *Of Molecules and Men*. Seattle: University of Washington Press, str. 6-7.
7. Eigen, *Die Naturwiss.*, str. 465; S.L.Miller a L.E.Orgel, 1974. *The Origin of Life on the Earth*. Englewood Cliffs, New Jersey: Prentice-Hall.
8. J.B.S. Haldane, 1965. V *The Origins of Prebiological Systems and of Their Molecular Matrices*, str. 310.
9. T. Dobzhansky, 1965. V *The Origins of Prebiological Systems and of Their Molecular Matrices*, str. 310.
10. Ludwig von Bertalanffy, 1967. *Robots, Men and Minds*. New York: George Braziller, str. 82.
11. G. Steinman a M. Cole, 1967. *Proc. Nat. Acad. Sci. U.S.* **58**, 735; Steinman, *Arch. Biochem. Biophys.*, str. 533.
12. A. Katchalsky, 1973. *Die Naturwiss.* **60**, 215; M. Calvin, 1975. *Amer. Sci.* **63**, 169; C.E. Folsome, 1979. *The Origin of Life*. San Francisco: W.H. Freeman, str. 104; K. Dose, 1983. *Naturwiss.* **70**, 378.
13. Steinman, *Arch. Biochem. Biophys.* **121**, 533; Steinman a Cole, *Proc. Nat. Acad. Sci. U.S.*, str. 735.
14. H.P.Yockey, 1981. *J.Theoret. Biol.* **91**, 13.
15. Katchalsky, *Die Naturwiss*, str. 216.
16. H.R. Hulett, 1969. *Die Naturwiss*, str. 215.
17. Katchalsky, *Die Naturwiss*, str. 215.
18. A. E. Wilder-Smith, 1970. *The Creation of Life*. Wheaton, Ill.: Harold Shaw, str. 67.
19. G. Nicolis a I. Prigogine, 1977. *Self Organization in Nonequilibrium Systems*. New York: Wiley.
20. I. Prigogine, G. Nicolis a A. Babloyantz, 1972. *Physics Today*, str. 23-31.
21. Eigen, *Die Naturwiss*, str. 465.

22. Prigogine, Nicolis a Babloyantz, *Physics Today*, str. 23-31.
23. Tamtéž; Nicolis a Prigogine, *Self Organization in Nonequilibrium Systems*.
24. J.C. Walton, 1977. *Origins* **4**, 16.
25. P.T. Mora, 1965. V *The Origins of Prebiological Systems and of Their Molecular Matrices*, str. 39.
26. E.R. Harrison, 1969. V *Hierarchical Structures*. Ed. L.L. Whyte, A.G. Wilson a D. Wilson, New York: Elsevier, str. 87.
27. Nicolis a Prigogine, *Self Organization in Nonequilibrium Systems*.
28. Eigen, *Die Naturwiss.*, str. 465; 1971. *Quart. Rev. Biophys.* **4**, 149.
29. Kaplan, *Rad. Environ. Biophysics*, str. 31.
30. J. Brooks a G. Shaw, 1973. *Origin and Development of Living Systems*. New York: Academic Press, str. 209.
31. S.W. Fox a K. Dose, 1977. *Molecular Evolution and the Origin of Life*. New York: Marcel Dekker.
32. P. A. Temussi, L. Paolillo, L. Ferrera, L. Benedetti a S. Andini, 1976. *Mol. Evol.* **7**, 105.
33. S.L. Miller a L.E. Orgel, 1974. *The Origins of Life on Earth*. Englewood Cliffs, New Jersey: Fn. str.144.
34. C.E. Folsome, 1979. *The Origin of Life*. San Francisco: W.H. Freeman, str. 87.
35. Temussi, Paolillo, Ferrera, Benedetti a Andini, *J.Mol. Evol.*, str. 105.
36. K. Bahadur a S. Raganayaki, 1958. *Proc.Nat.Acad.Sci. (India)* **27A**, 292.
37. S.W. Fox a K. Dose, 1972. *Molecular Evolution and the Origin of Life*. San Francisco: W.H. Freeman, str. 142.
38. J. Hulshof a C. Ponnampereuma, 1976. *Origins of Life* **7**, 197.

39. C.N. Matthews a R.E. Moser, 1966. *Proc. Nat. Acad. Sci. U.S.* **56**, 1087; C.N. Matthews, 1975. *Origins of Life* **6**, 155; C. Matthews, J. Nelson, P. Varma a R. Minard, 1977. *Science* **198**, 622; C.N. Matthews, 1982. *Origins of Life* **12**, 281.
40. C.N. Matthews a R.E. Moser, 1967. *Nature* **215**, 1230.
41. J.P. Ferris, D.B. Donner a A.P. Lobo, 1973. *J.Mol.Biol.* **74**, 499.
42. J.P. Ferris, 1979. *Science* **203**, 1135.
43. C.N. Matthews, 1979. *Science* **203**, 1136.
44. Katchalsky, *Die Naturwiss.*, str. 215.
45. R.E. Dickerson, září 1978. *Sci. Amer.*, str. 70.
46. Miller a Orgel, *The Origins of Life on the Earth*, str. 148.
-

KAPITOLA 10

Protobuňky

Teorie chemické evoluce je všeobecně shrnuta v kapitole 2. Stadium 4 biochemické evoluce (viz obr. 2-1) představuje vývoj protobuněk. Protobuňky jsou spojujícím článkem mezi syntézou makromolekul a prvními živými buňkami, a přemostují tedy propast mezi neživým a živým světem. Evoluční teorie se obvykle shodují v tom, že toto přemostění tvoří v procesech vedoucích ke vzniku života nejméně srozumitelné místo. William Day uvedl k tomuto problému následující:

Nějakým způsobem se makromolekuly, které vznikly kondenzací základních stavebních kamenů, spojily, a přešly tak přes práh života. Vytvořily uspořádanou strukturu, která vypadala a chovala se jako buňka. To byl zásadní skok v událostech směřujících ke zformování života, který si pro svůj značně neobvyklý charakter vysloužil zvláštní pozornost.¹

Typy protobuněk

Naše velmi mlhavé znalosti o přechodu od molekuly k buňce dovolují, aby se naše spekulace na toto téma svobodně ubíraly mnoha různými směry. Není udivující, že lze nalézt široké spektrum různých kandidátů na protobuňky. Uvedeme některé z nich:

1. mikrosféry (Fox a Dose²)
2. koacerváty (Oparin³)
3. "jeewanu" (Bahadur⁴)
4. mikrosferuly NH_4CN (Labadie a spol.⁵)
5. "sulfóby" (Herrere⁶) nebo "plasmogeny" (Herrera⁷)
6. mikrostruktury $\text{NH}_4\text{SCN-HCHO}$ (Smith a spol.⁸)
7. organické mikrostruktury (Folsome a spol.⁹)
8. melanoidinové a aldokyanoinové mikrosféry (Kenyon a Nissenbaum¹⁰)
9. lipidní váčky (Deamer a Oro,¹¹ Stillwell¹²).

V roce 1976 utvořili Kenyon a Nissenbaum¹³ přehled do té doby známých protobuněk (viz číslo 1-7) a uvádějí k němu:

Ačkoliv každý z navrhovaných modelových systémů vykazuje určité základní vlastnosti, které vyhovují zájmům chemické evoluce, je nezbytné zdůraznit, že i ten nejsložitější modelový systém je oddělen od nejjednodušších současných

živých buněk obrovskou propastí. Nadto je geochemická hodnověrnost mnoha z těchto "protobuněk" značně sporná.¹⁴

Geochemická hodnověrnost

Kenyonův a Nissenbaumův komentář je přiměřený zejména vzhledem k důkazům uvedeným v předchozích kapitolách. V kapitole 4 jsme poznali, že pravděpodobně docházelo k nesmírnému snížení koncentrací nezbytných chemických prekurzorů. Tento závěr je zvláště důležitý v případě protobuněk, jejichž tvorba ve všech devíti uvedených systémech vyžadovala dosti koncentrované roztoky organických látek. Navrhované systémy protobuněk představují v podstatě enkapsulační mechanismy, které vyžadují existenci podstatného množství makromolekul v těsné blízkosti tak, aby mohly být obklopeny primitivní membránou. Přítomnost dostatečných koncentrací látek je pochybná a nedostatek geologických důkazů existence chemické polévky nebo nádrží organických sloučenin ještě podporuje tento pesimistický obraz.

Rozpor mezi nízkými koncentracemi organických látek v předpokládané chemické polévce a používáním vysokých koncentrací vybraných organických látek při laboratorních pokusech při přípravě protobuněk přivedlo Kenyona a Nissenbauma k poznámce, že "... geochemická hodnověrnost mnoha těchto modelů 'protobuněk' je stále vážným problémem."¹⁵ Pro ilustraci této nehodnověrnosti pokud jde o koncentrace nezbytné pro tvorbu protobuněk uvedeme několik příkladů.

Folsome¹⁶ poukazuje na to, že Fox použil k přípravě proteinoidních mikrosfér celkem 15 gramů aminokyselin ve 375 ml uměle připravené mořské vody. Koncentrace aminokyselin by tedy byla zhruba 0,4 M. Výpočty uvažující rychlosti tvorby a koncentrace a rychlosti tepelného a fotochemického rozkladu ukazují, že koncentrace aminokyselin v oceánu nebyla větší než 10^{-7} M (viz kapitola 4). Fox při svých syntézách pracoval s takovým molárním poměrem aminokyselin a solí, "že v geologicky hodnověrném světě je takový poměr 10milionkrát menší."¹⁷

V pozdějších pokusech používal Fox koncentrace proteinoidu v reakční směsi 6,0 mg/ml.¹⁸ Výsledkem syntézy by byla koncentrace proteinoidu kolem 10^{-3} M, což odpovídá koncentraci aminokyselin kolem 0,05 M, což je stále 10tisíckrát větší než přijatelná hodnota.

Deamer a Oro tvrdí, že váčky z jednořetězcových amfifilů "... potřebují ke svému vzniku relativně vysoké koncentrace [řádově milimolární] substrátu."¹⁹ Podle Daye "může koacervace probíhat v extrémně zředěných roztocích - v koncentracích až 0,001 %..."²⁰ Koacerváty vznikají obvykle ze sloučenin o poměrně velké molekulové hmotnosti (např. arabská guma a histon),

jejich molární koncentrace je tedy také neobyčejně nízká. Odpovídající koncentrace jednotlivých aminokyselin by byly přibližně 10^{-4} M pro 0,001 % roztok. Podle Folsoma však "tvorba koacervátů v laboratoři vyžaduje poměrně vysoké koncentrace polymerů."²¹ Ve srovnání s dávnými nádržemi "zředěné polévky malých organických molekul", musí být podle Folsoma překonána "koncentrační propast" aby byly dosaženy koncentrace polymerů nezbytné pro tvorbu koacervátů.²²

Výše uvedené koncentrace aminokyselin jsou obvyklé v různých navrhovaných modelech protobuněk. Přestože používané koncentrace pokrývají značně široký interval (od 1 do 10^{-4} M), musí být všechny organické molekuly dosti koncentrované vzhledem ke geologicky hodnověrným hodnotám.

Vezmeme-li v úvahu závěry, které vyplynuly z předchozích kapitol, je obtížné si představit, že na dávné Zemi existovaly všechny potřebné chemické látky a předpoklady pro tvorbu protobuněk. I kdyby byly chemikálie k dispozici, bylo by potřeba dodat velké množství konfigurační entropické práce pro vznik biopolymerů a jejich seskupení do funkční buňky. V kapitolách 8 a 9 jsme ukázali, že pokud nepůsobil ještě nějaký dosud neznámý princip, byla tato práce v podstatě nedostupná.

Skupiny protobuněk

Dva nejznámější modely protobuněk byly původně Oparinovy koacerváty a Foxovy proteinoidní mikrosféry. Později si získaly značnou pozornost Folsomovy mikrostruktury a Stillwellovy lipidní váčky. O těchto modelech se tedy zmíníme podrobněji.

Stillwell²³ před nedávnem rozdělil modely protobuněk do tří skupin:

1. Anorganická tělíska (Herrera,²⁴ 1942; Smith a spol.,²⁵ 1968; Grossenbacher a Knight,²⁶ 1965).
2. Fázově oddělené polyanionty a kationty, například Jeewanu (Bahadur,²⁷ 1972; Bahadur,²⁸ 1973), koacerváty (Oparin,²⁹ 1968), proteinoidní mikrosféry (Fox a Dose,³⁰ 1972) a nejnovější melanoidin (Kenyon a Nissenbaum,³¹ 1976).
3. Lipidní váčky (Goldacre,³² 1958; Hargreaves a Deamer,³³ 1978).

Stillwellova klasifikace zdůrazňuje podobnost mnoha navrhovaných modelů protobuněk. I když se tedy nebudeme detailně zabývat všemi modely, platí komentáře týkající se určitého modelu pro celou skupinu. Stillwellovo třídění zahrnuje, jak také zdůrazňuje následující diskuze, mechanismy

tvorby koacervátů, mikrosfér, lipidních váčků a organických mikrostruktur. Pochopení těchto procesů tvorby umožňuje důkladnější kritickou analýzu modelů protobuněk a lepší chápání vztahů v rámci jedné skupiny a mezi více skupinami. Následující diskuze se zaměří na skupiny 2 a 3, protože zahrnují systémy protobuněk, které byly nejvíce zkoumány.

Koacerváty

Koacerváty, o kterých se poprvé zmínil H.G. Bungenberg de Jong v roce 1932,³⁴ vznikají za určitých podmínek ve vodném roztoku nukleových kyselin, bílkovin a dalších molekul jako kulovité kapénky o průměru 2 - 670 μm . Tyto kapénky obsahují ve srovnání s okolním vodným prostředím vyšší koncentraci bílkovin a nukleových kyselin. Oparin si uvědomil, že tvorba koacervátů představuje potenciální metodu, kterou lze získat společně bílkoviny a nukleové kyseliny v koncentrovaném stavu.

Bílkoviny a nukleové kyseliny obsahují hydrofilní i hydrofobní části. V roztoku mohou také v závislosti na pH nést jak kladný, tak i záporný náboj. Bílkoviny přitahují molekuly vody stejně jako nukleové kyseliny. Jsou-li k roztoku přidány ionty (Na^+ , Cl^- atd.), přitahují také ony molekuly vody. Interakce mezi molekulami vody a ionty je obvykle silnější než interakce mezi bílkovinou a vodou. Následkem toho je voda odstraněna z povrchu bílkovin a nukleových kyselin, čímž se sníží jejich rozpustnost. Opačné náboje na povrchu nukleových kyselin a bílkovin společně s dalšími slabšími kohezními silami k sobě přitahují nukleové kyseliny a bílkoviny za vzniku koacervátů. Proto řadí Stillwell koacerváty mezi "fázově oddělené" polyanionty a kationty.³⁵ Tento děj se někdy označuje jako "vysolování", protože probíhá po přidání solí (Na^+Cl^- atd.). Podstatou tohoto procesu jsou fyzikální přitažlivé a odpudivé síly.

K podobnostem mezi koacerváty a buňkami, které uvedli Oparin³⁶ a další, patří jejich tendence tvořit kulovité struktury s povrchovou hraniční vrstvou a schopnost selektivní absorpce. Koacerváty však nejsou samoorganizující se jednotky a neobsahují strukturní pravidelnosti nebo selektivní metabolické procesy živých buněk. Bez ohledu na to, jak obsáhlý je soubor vlastností, kterými se koacerváty podobají buňkám, vznikají jednoduše vlivem fyzikálních přitažlivých sil* a jejich podobnost se složitými živými buňkami je jen povrchní. Je také nezbytné uvést, že koacerváty vznikají za přísně definovaných podmínek pH, teploty a iontové síly. Dají se snadno rozpustit ředěním, změnou pH nebo tepla a snadno se rozpadají při míchání. Fox a spol.³⁷ a Fox a Dose³⁸ uvádějí tuto nestabilitu jako důkaz, že koacerváty nemohly sehrát hlavní roli protobuněk. Koacerváty pravděpodobně v prebiotickém prostředí vůbec neexistovaly.

Wilder Smith při hodnocení schopnosti koacervátů absorbovat molekuly, a zvyšovat tak svou hmotnost, uvádí:

Podstatným bodem celé této záležitosti je, zda jsme pomocí tvorby koacervátů našli jakoukoliv podobnost nebo dokonce pochopení tvorby biologické buňky nebo mechanismu, jakým buňka zvyšuje svou hmotnost. Tedy, zda nám tvorba koacervátů umožňuje nahlédnout do abiogeneze nebo do buněčného metabolismu, který umožňuje růst. Podle našeho názoru neexistuje podobnost mezi tvorbou koacervátů a protobuněk. Dovolujeme si toto kategorické tvrzení, protože neexistuje důkaz, že vysolováním by mohlo vzniknout cokoli podobného vnitřní struktury skutečné biologické buňky. Ta je podle našich zkušeností tak členitá a složitá, že ji lze téměř považovat za jednu velkou šifru vzhledem k jejím sekvencím a specifitám. Teoreticky vzato, nevidíme možnost vzniku takové struktury pouhým vysolováním.³⁹

A dále pokračuje k závěru, že:

Je zřejmé, že hmotnost koacervátů nevzrůstá vlivem metabolických dějů, ale pouhou fyzikální absorpcí... Ve skutečnosti neexistují žádné podstatné podobnosti mezi nejjednoduššími živými buňkami a koacerváty.⁴⁰

Jak bylo právě uvedeno, zaměřil se Wilder Smith na schopnost koacervátů absorbovat molekuly, a zvyšovat tak svou hmotnost (tedy růst). V následující části budou podrobně probrány mnohé buňkám podobné vlastnosti přisuzované proteinoidním mikrosférám. Přesvědčíme se o tom, že mnohé z právě uvedených Wilder Smithových kritických poznámek bychom mohli použít i v případě proteinoidních mikrosfér.

*Pojmem fyzikální přitažlivé síly rozumíme následující slabé vazebné interakce:

1. Vodíková vazba.
2. Interakce dipól - dipól, jejichž podstatou jsou slabé elektrostatické přitažlivé síly.
3. Laterární kohezní síly (slabé síly mezi podobnými molekulami, jejichž podstatou jsou pravděpodobně Van der Waalsovy síly).
4. Hydrofilicita a hydrofobicita (výsledek předchozích tří sil).

Tyto fyzikální přitažlivé síly se odlišují od sil, které odpovídají za chemické vazby:

1. Sdílení elektronů (kovalentní vazba).
2. Přenos elektronů (iontové vazby).
3. Kovová vazba.

Chemické síly jsou mnohem silnější než fyzikální a zpravidla vyžadují chemickou reakci, při níž jedna vazba zaniká a jiná se tvoří. Fyzikální síly však nepotřebují ke svému vzniku žádnou chemickou reakci.

Mikrosféry

Mikrosféry vznikají při ochlazení roztoku proteinoidů. Fox a Dose⁴¹ a Fox a spol.⁴² a později také Fox a Nakashima⁴³ vytvořili "významný" seznam vlastností, kterými se tyto mikrosféry podobají buňkám (viz tab. 10-1). Některé mikrosféry jsou ukázány na obrázku 10-1.

Protože mikrosféry mají mnoho vlastností společných se současnými buňkami, byly přesvědčivě označovány jako protobuňky, tedy spojovací článek evoluce mezi živým a neživým. Podobné struktury byly také nazývány plasmogeny⁴⁴ (plasma života) a Jeewanu⁴⁵ (v sanskrtu výraz pro "částice života").

Mikrosféry vznikají po přidání malých "proteinům podobných" látek (proteinoidů) do vody. Jak již bylo uvedeno, obsahují proteinoidy hydrofilní i hydrofobní části. Při zvyšování koncentrace proteinoidů dochází působením laterálních kohezních sil mezi jejich molekulami ke vzniku sférických částic (technicky označováno jako shlukování koloidu). Tyto částice mohou také tvořit micely, což jsou strukturální agregáty, v nichž je hydrofilní část proteinu orientována vně směrem do vody a hydrofobní část směrem dovnitř.

Kenyon a Steinman zdůrazňují také úlohu micel:

Velké molekuly s polárními a nepolárními oblastmi mají schopnost tvořit ve vodném roztoku micely. Tento jev je výsledkem těsného semknutí nepolárních oblastí několika takových molekul, které tak vypudí většinu vody ze svého bezprostředního okolí. Polární konce se současně orientují směrem do vodného prostředí.⁴⁶

Podobně mikrosféry vznikají v důsledku působení fyzikálních přitažlivých sil proteinoidů, které tak vytvářejí určitým způsobem uspořádané kulovité struktury. Tyto struktury vznikají rovněž vlivem přitažlivých sil mezi hydrofilními částmi proteinoиду a molekulami vody a vzájemným přitahováním hydrofobních částí.

Prozkoumejme nyní podrobně některé "buňkám podobné" vlastnosti mikrosfér. Fox a spol. tvrdí, že "mikročástice vykazují značné zvýšení aktivity polymeru, z něhož se skládají."⁴⁷ To představuje "katalytické aktivity" mikrosfér uvedené v tabulce 10-1. Jestliže má samotný protein katalytickou schopnost, zdá

se zcela logické, že si tuto schopnost zachová i v rámci micely. Katalytická aktivita mikrosféry nevzniká vlivem žádné její zvláštní struktury. Vzrůst reakční rychlosti pozorovaný u mikrosfér je velmi malý ve srovnání se vzrůstem rychlosti pozorovaným u skutečných enzymů, který je řádově v miliardách. Nadto je tento vzrůst rychlosti pozorovaný u proteinoidů způsoben často samotnými aminokyselinami a ne proteinoidy.

Další uvedenou "buňce podobnou" vlastností je selektivní průchod určitých molekul. Fox a spol. vysvětlují: "Polymery, které mají podobné složení jako polymery vnitřku mikrosfér, mohou selektivně difundovat povrchem mikrosféry."⁴⁸ Lze jistě očekávat, že se podobné hydrofobní molekuly začlení do micely působením přítomných fyzikálních přitažlivých sil.

Mikrosféry také "rostou, zvětšují se"⁴⁹ (viz obr. 10-1). Podstatou je však přitahování podobných molekul k micelle jednoduchými fyzikálními silami. "Růst" mikrosfér se jen vzdáleně podobá procesu růstu současných buněk. Skutečné buňky rostou vlivem metabolických procesů, které zahrnují množství chemických reakcí. V mikrosférách neprobíhají žádné chemické reakce, dochází pouze k akumulaci vlivem fyzikálních přitažlivých sil.

"Rozmnožování mikrosfér pučením"⁵⁰ (viz obr. 10-1) také nemá žádný vztah k současným procesům buněčné reprodukce, které vyžadují enzymy, DNA, energii a mnoho reakcí, to vše velmi přesně spojeno. "Pučení" mikrosfér je naproti tomu pouhým rozpadem vlivem změn tepla nebo pH.

Oparin dále kritizuje mikrosféry tvrzením:

Vzhledem k tomu, že Foxovy mikrosféry vznikají vlivem tepelné změny, nedávají v tomto směru [tj. vyvinutí metabolických procesů] slibné výsledky. Jejich struktura je statická. To přináší potíže při pochopení jejich změny na dynamický systém, který by mohl být použit pro modelování evoluce metabolismu.⁵¹

Miller a Orgel také kritizují Foxova tvrzení o vztahu mikrosfér k živým buňkám. Uvádějí, že membránové dvojné vrstvy mikrosfér "... nejsou podobné biologickým membránám, protože neobsahují lipidy a neplní žádné funkce biologických membrán."⁵² Uzavírají, že "se zdá nepravděpodobné... že se dělení mikrosfér vztahuje k počátku buněčného cyklu."⁵³

Jedním z nejdůležitějších rysů libovolné buňky je její chemické složení. Jak je uvedeno v kapitole 9, mají proteinoidy, z nichž jsou utvořené mikrosféry, mnoho nebiologických rysů. Temussi připisuje proteinoidům "přednostní tvorbu nepřírodných peptidových vazeb."⁵⁴

Folsome kritizuje mikrosféry v tom, že mají "viditelně tlustou" hraniční vrstvu, která připomíná mnohem spíše téměř nepropustnou buněčnou stěnu nebo plášť spóry než buněčnou membránu.⁵⁵

V dnešních buňkách probíhají tisíce různých reakcí. V mikrosférách neprobíhá ani jediná. Probíhají v nich pouze mechanické a fyzikální děje vlivem jednoduchých přitažlivých sil. Pokládáme za sporné připodobňovat tyto čistě fyzikální síly k dějům v opravdových buňkách. Mikrosféry mají skutečně jen vnější podobu a nikoliv vnitřní strukturu a funkci pravé buňky. Nemají žádný informační obsah, žádný systém využívající energii, žádné enzymy, žádnou nukleovou kyselinu, žádný genetický kód a žádný replikační systém. Obsahují pouze směs polymerů aminokyselin, tzv. proteinoidů. O mikrosférách nemůžeme hovořit jako o živých v žádném smyslu toho slova a je velmi sporné, zda by vůbec měly být označovány za "protobuňky". Jako pouhé agregáty polymerů nepomohou přemostit propast mezi živým a neživým.

Bylo též uvedeno, že vznik mikrosfér vyžaduje nepravděpodobné geologické podmínky. Nutnost nevěrohodných podmínek zdůraznili Miller a Urey⁵⁶ a Miller a Orgel⁵⁷. V odkazu na Foxovu metodu přípravy mikrosfér se Folsome ptá: "Hlavním problémem je, odkud se ve skutečném, abiologickém světě vzaly všechny tyto čisté, suché, koncentrované a opticky aktivní aminokyseliny?"⁵⁸

William Day má podobný názor na mikrosféry, koacerváty a Jeewanu když říká: "Vždy bylo vyvinuto podobné úsilí vytvořit modely primární buňky, ale větší pozornost byla vždy věnována hrubé morfologii než chemické funkčnosti."⁵⁹ "Ale", říká Day, "ať to vezmete, z jakéhokoli konce, je to vědecký omyl."⁶⁰ Závěrem Day uvádí:

Tyto pseudobuněčné modely nemají, podobně jako hlína, mýdlové bubliny nebo jiné neživé objekty, ani mechanismus, ani potenciál na to, aby se staly něčím jiným, než čím jsou... Ale nejvážnější chybou modelů, které představují částice držené pohromadě iontovými silami, je, že by byly neustále ohrožovány ředěním. Koacerváty jsou nenapravitelně nestabilní a mikrosféry existují pouze v nasycených roztocích. Jejich existence v pravěkých jezerech nebo mořích by měla krátké trvání.⁶¹

Folsome zdůrazňuje ve své kritice mikrosfér a koacervátů, že tyto modely "... trpí týmiž problémy koncentračního rozporu."⁶² To znamená, že tvorba mikrosfér a koacervátů vyžaduje příliš vysoké koncentrace polymerů, které v pravěkých nádržích nebyly dosahovány. Folsome pokračuje tvrzením, že "Hypoteticky existují způsoby, jak obejít koncentrační rozdíl, ale všechny

jsou spíše toužebnou myšlenkou než hodnověrnou stránkou skutečnosti."⁶³

Celkem vzato se zdá, že koacerváty, mikrosféry a všechny modely "fázově oddělených polyaniontů a kationtů" ze skupiny 2 mají závažné nedostatky, které jim zabraňují zařadit se mezi systémy protobuněk. Nemohou tedy být považovány za předchůdce současné buňky.

Lipidní váčky

Zájem o lipidy pramení z funkce, jakou plní v současných membránách. Mají v nich primární úlohu a nelze se tedy divit, že byly využity při vytváření systémů protobuněk. Bangham a Horne⁶⁴ jako první dokázali, že se molekuly fosfolipidů samy uspořádají do uzavřených váček. Fosfolipidy jsou deriváty fosfoglycerové kyseliny substituované mastnými kyselinami. Uhlovodíkový řetězec mastné kyseliny je hydrofobní, kdežto fosfátový konec molekuly je hydrofilní. Fosfolipidy vytvoří tedy samy ve vodném prostředí kulovité útvary. Útvar tvořený jednou vrstvou molekul fosfolipidů se nazývá micela. Jestliže se utvoří bimolekulární vrstva, vzniká liposom nebo váček.

Také jednoduché mastné kyseliny, jejichž uhlovodíkový řetězec má alespoň osm či více uhlíků, mohou v závislosti na pH roztoku tvořit váčky nebo micely.⁶⁵ Ve srovnání s liposomy jsou však tyto struktury poměrně nestabilní a dosti citlivé vůči teplotě a iontům okolního prostředí. Ke svému vzniku vyžadují také poměrně velké koncentrace (řádově milimolární).⁶⁶ Současné fosfolipidy mohou vytvářet váčky při nízkých koncentracích a nejsou tak citlivé vůči okolí. Tyto váčky byly kritizovány, protože jsou složeny ze značně složitých fosfolipidů.⁶⁷ Stillwell⁶⁸ tvrdí, že se v dávném oceánu fosfolipidy pravděpodobně nevyskytovaly, kdežto Deamer a Oro⁶⁹ prohlašují, že se fosfolipidy mohly tvořit za přijatelných prebiotických podmínek. Podle mínění dalších autorů bylo však při syntézách použito několik negeologických (tj. nevěrohodných) chemických sloučenin, zejména rozpustných sloučenin fosfátu. Vzhledem k precipitaci hořečnatých a vápenatých solí není příliš pravděpodobné, že by koncentrace rozpustného fosfátu v prebiotickém oceánu přesáhla 10^{-6} M. Také mastné kyseliny, potřebné pro tvorbu fosfolipidů, byly zřejmě nedostatečně zastoupeny v prebiotickém polévce vlivem precipitace se solemi vápníku a hořčíku (viz kapitola 4).

Syntéza složitých lipidů, jako jsou fosfolipidy, byla pravděpodobně podmíněna také již diskutovaným rozporem v koncentracích. Mezi prekurzory složitých lipidů patří mastné kyseliny, glycerol a glycerolfosfát.⁷⁰ Pokud tyto sloučeniny vůbec existovaly v prebiotické polévce, byly přítomny v nízkých koncentracích, protože by vstupovaly do mnoha

vedlejších reakcí. S ohledem na tyto skutečnosti je tvorba složitějších lipidů nezbytných pro stabilní váčky značně nejistá.

Stillwell⁷¹ ve svém přehledu lipidních membrán v protobuňkách kritizuje mikrosféry a koacerváty, protože jsou příliš propustné, než aby mohly plnit funkci protobuněk. To znamená, že molekuly uzavřené do těchto struktur mohou snadno prosakovat hraniční membránou. Je zajímavé, že lipidní váčky mohou být příliš nepropustné. Nemohou snadno transportovat molekuly přes membránu. Současné buňky obsahují ve své membráně lipidy i proteiny, a tím je umožněno působení složitých selektivních transportních mechanismů. Pro protobuňky utvořené z váček bylo navrženo několik transportních mechanismů.⁷² Jedním z nich je usnadněná difúze přes membránu váčku. Tyto mechanismy se však nedají v ničem srovnávat s transportními mechanismy současných buněk. Stručně řečeno se protobuňky v podobě váček podobají skutečným buňkám jen povrchně.

Organické mikrostruktury

Folsome⁷³ byl hlavním zastáncem organických mikrostruktur jako systému protobuněk. Mikrostruktury se tvoří během Millerových a Ureyho pokusů s elektrickým výbojem. Morfologicky se podobají mikrofosiliím nalezeným v prastarých horninách a jsou považovány za zesíťované kerogenní* polymerní struktury.

* Pozn. překl.: Kerogen je přírodní polymer prostupující břidličnaté vápence používaný k výrobě organických chemikálií.

Fox kritizoval Folsomovy pokusy jako negeologické - "bez pozemské analogie."⁷⁴ Fox dále tvrdí, že mikrostruktury jako modely protobuněk mají malou hodnotu, protože nevykazují žádnou buněčnou funkci. Mikrostruktury také v podstatě nejsou charakterizovány a zřejmě neobsahují polymery.

Foxova kritika se zdá být přesvědčivá. Je však třeba uznat přínos Folsomových struktur v tom, že jejich příprava neprobíhá v několika stupních, jak je obvyklé u ostatních modelů. Organické mikrostruktury se tvoří přímo při modelových pokusech s jiskrovým výbojem. Tím se odlišují od většiny modelů protobuněk, které vyžadují mezikroky. Například koacerváty se tvoří z polymerů o poměrně vysoké molekulové hmotnosti, jakými jsou histony a arabská guma, kdežto mikrosféry se tvoří z čistých aminokyselin. Se zřetelem na diskusi uvedenou v kapitole 5, která se týká složení prebiotické Země a její atmosféry, jsou Folsomovy pokusy provedené v uzavřené nádobě za vysoce redukcujících podmínek z hlediska geologické přijatelnosti zpochybnitelné. Přes omezené množství důkazů (kinetika prvního řádu a samovolný vznik),

keré Folsome uvádí na podporu biogenity organických mikrostruktur, trpí tyto struktury stejnými problémy jako jiné navrhované systémy protobuněk. To znamená, že pouhé fyzikální a morfologické vlastnosti jsou vydávány za podobnost s procesy v současných buňkách, i když neexistuje žádná skutečná funkční podobnost. Ve skutečnosti je morfologie organických mikrostruktur značně rozmanitá a někdy nepravidelná. Současné buňky jsou charakteristicky kulovité s hladkou a pravidelnou hraniční membránou. Vlastnosti organických mikrostruktur připomínají jen málo vlastnosti současných buněk, a existují tedy závažné pochybnosti o tom, zda mohly tvořit předchůdce skutečných buněk.

Závěr

Ze závěrů předchozích kapitol (zejména kapitol 4, 5, 8 a 9) vyplývá pochybnost o existenci makromolekul nezbytných pro živé buňky na dávné Zemi. I kdyby však tyto molekuly byly přítomny v dostatečném množství, z přehledu uvedeného v této kapitole se zdá, že enkapsulační systémy protobuněk se jen stěží vztahují ke skutečným protobuňkám. Jedinými podobnostmi mezi navrhovanými modely a současnými buňkami jsou ve většině případů jejich velikost a morfologie, tj. kulovitý tvar.

Buněčné funkce přisuzované uvedeným systémům protobuněk jsou výsledkem jednoduchých fyzikálních sil. Podobnosti s procesy v současných buňkách jsou jen povrchní. Ve všech případech jsou systémy protobuněk pouze konglomeráty organických molekul, které nepředstavují žádné skutečné kroky k přemostění propasti mezi živým a neživým. Nadto se většina protobuněk tvoří za negeologických podmínek a jsou velice nestabilní. Stručným shrnutím může být stále aktuální tvzení Greena a Goldbergera:

...přechod od makromolekul k buňkám představuje skok neskutečných rozměrů... Důkazy, které máme k dispozici, nepodporují dostatečně tvrzení, že buňky vznikly na této planetě.⁷⁵

Literatura

1. William Day, 1979. *Genesis on Planet Earth*. East Lansing, Mich.: The House of Talos Publications, str. 310.
2. Sidney W. Fox a Klaus Dose, 1972. *Molecular Evolution and the Origin of Life*. San Francisco: W.H. Freeman, str. 198.

3. A.I. Oparin, 1959. V *The Origin of Life on the Earth*, ed. A.I. Oparin, str. 301-321; 1965. V *The Origin of Prebiological Systems*, ed. S.W. Fox. New York: Academic Press, str. 331.
4. K. Bahadur, 1966. *Synthesis of Jeewanu, the Protocell*. Allahabad: Ram Narain Lal Beni Prasad.
5. M. Labadie, G. Cohere, C. Brechenmacher, 1967. *Compt. Rend. Soc. Biol.* **161**, 1689.
6. A.L. Herrera, 1940. *Bull. Lab. Plasmogenie, Mex.* **2**, 3.
7. A.L. Herrera, 1942. *Science* **96**, 14.
8. A.E. Smith, J.J. Silver a G. Steinman, 1968. *Experientia* **24**, 36.
9. C.E. Folsome, R.D. Allen, N. Ichinose, 1975. *Precambrian Res.* **2**, 263.
10. A. Nissenbaum, D.H. Kenyon a J. Oro, 1975. *J. Mol. Evol.* **6**, 253; D.H. Kenyon a A. Nissenbaum, 1976. *J.Mol. Evol.* **7**, 245.
11. D.W. Deamer a J. Oro, 1980. *BioSystems* **12**, 167.
12. W. Stillwell, 1980. *Origins of Life* **10**, 277.
13. Kenyon a Nissenbaum, *J. Mol. Evol.*, str. 246.
14. Tamtéž, str. 246.
15. Tamtéž, str. 246.
16. C.E. Folsome, 1977. *Die Naturwiss.* **64**, 381.
17. Tamtéž, str. 381.
18. S.W. Fox a T. Nakashima, 1980. *BioSystems* **12**, 155.
19. Deamer a Oro, *BioSystems*, str. 171.
20. Day, *Genesis on Planet Earth*, str. 313.
21. C.E. Folsome, 1979. *The Origin of Life, a Warme Little Pond*. San Francisco: W.H. Freeman, str. 83.
22. Tamtéž, str. 83.
23. Stillwell, *Origins of Life*, str. 277.

24. Herrera, *Science*, str. 14.
25. Smith, Silver a Steinman, *Experientia*, str. 36.
26. K.A. Grossenbacher a C.A. Knight, 1965. V *The Origin of Prebiological Systems*, str. 173.
27. K. Bahadur, 1972. *Zbl. Bakt.* **127**, 643.
28. K. Bhadur, 1973. *India Nat. Sci. Acad.* **39B**, 455.
29. A.I. Oparin, 1968. *Genesis and Evolutionary Development of Life*. New York: Academic Press.
30. Fox a Dose, *Molecular Evolution and the Origin of Life*, str. 198.
31. Kenyon a Nissenbaum, *J. Mol. Evol.*, str. 245.
32. R.J. goldacre, 1958. V *Surface Phenomena in Chemistry and Biology*, ed. J.F. Danielli. New York: Pergamon Press, str. 278.
33. W.R. Hargreaves a D.W. Deamer, 1978. V *Light Transducing Membranes, Structure, Function and Evolution*, ed. D.W. Deamer. New York: Academic Press.
34. H.C. Bungenberg de Jong, 1932. *Protoplasma* **15**, 110; A.I. Oparin, 1957. *The Origin of Life on the Earth*.
35. Stillwell, *Origins of Life*, str. 277.
36. Oparin, 1957. *The Origin of Life on the Earth*, str. 301.
37. S.W. Fox, K. Harada, G. Krampitz a G. Mueller, 22.června 1970. *Chem. Eng. News*, str. 80.
38. Fox a Dose, *Molecular Evolution and the Origin of Life*, str. 220.
39. A.E. Wilder Smith, 1970. *The Creation of Life*. Wheaton, Ill.: Harold Shaw Publishers, str. 84-85.
40. Tamtéž, str. 85.
41. Fox a Dose, *Molecular Evolution and the Origin of Life*, str. 233.
42. Fox a spol., *Chem. Eng. News*, str. 90.

43. Fox a Nakashima, *BioSystems*, str. 155.
44. Herrera, *Science*, str. 14.
45. Bahadur, *Synthesis of Jeewanu, the Protocell*.
46. Dean H. Kenyon a Gary Steinman, 1969. *Biochemical Predestination*. New York: McGraw-Hill, str. 251.
47. Fox a spol., *Chem.Eng.News*, str.92.
48. Tamtéž.
49. Tamtéž.
50. Tamtéž.
51. Oparin, *Genesis and Evolutionary Development of Life*, str. 105.
52. Stanley L. Miller a Leslie E. Orgel, 1974. *The Origins of Life on the Earth*. Englewood Cliffs, New Jersey: Prentice-Hall, str. 144.
53. Tamtéž.
54. P.O. Temussi, 1976. *J. Mol. Evol.* **8**, 305.
55. Folsome, *The Origin of Life*, str. 87.
56. S.L. Miller a h.C. Urey, 1959. *Science* **130**, 245.
57. Miller a Orgel, *The Origins of Life on the Earth*, str. 145.
58. Folsome, *The Origin of Life*, str. 87.
59. Day, *Genesis of the Planet Earth*, str. 319.
60. Tamtéž, str. 319.
61. Tamtéž, str. 320.
62. Folsome, *The Origin of Life*, str. 85.
63. Tamtéž, str. 84.
64. A.D. Bangham a R.W. Horne, 1964. *J. Mol. Evol.* **8**, 660.
65. Deamer a Oro, *BioSystems*, str. 171.

66. Tamtéž.
67. Stillwell, *Origins of Life*, str. 290.
68. W. Stillwell, 1976. *BioSystems* **8**, 111.
69. Deamer a Oro, *BioSystems*, str. 173.
70. Tamtéž, str. 171.
71. Stillwell, *BioSystems*, str. 111.
72. Tamtéž, str. 112.
73. Folsome, Allen a Ichinose, 1975. *Precambrian Res.*, 263;
Folsome, *The Origin of Life*, str. 87-90.
74. S.W. Fox, 1977. *Die Naturweiss.* **64**, 380.
75. D.E. Green a R.F. Goldberger, 1967. *Molecular Insights into Living Process*. New York: Academic Press, str. 407.
-

KAPITOLA 11

Shrnutí a závěr

Shrnutí

Chemická evoluce je všeobecně považována za vysoce přijatelný scénář pravděpodobného vzniku života na Zemi. Získala si podporu mnoha kvalifikovaných odborníků z teorie i praxe kteří ji významně modifikovali a dále propracovali. Mnohé výsledky získané těmito badateli však scénář chemické evoluce nepodpořily, spíše naopak. Jak jsme ukázali v předchozí kritické analýze, z prací a pokusů posledních třiceti let jakoby vyplýval zcela odlišný scénář, který se vyznačuje rozkladem a ne syntézou života.

Toto alternativní schéma přisuzuje prebiotické Zemi oxidující atmosféru. Objevuje se totiž stále narůstající množství důkazů existence podstatného množství molekulárního kyslíku již v ranné fázi existence země, tedy před objevením se života. Pokud byla dávná atmosféra silně oxidující, jako je na současném Marsu, chemická evoluce se nemohla uskutečnit. I kdyby však byla prebiotická atmosféra redukující nebo jen mírně oxidující, stále by převládaly procesy odbourávání nad syntézou. Polymerace makromolekul by byly ovlivněny bezpočtem vedlejších reakcí. Vodní nádrže na Zemi by obsahovaly jen nízké rovnovážné koncentrace nezbytných prekurzorů (např. pro aminokyseliny ne větší než 10^{-7} M). Tyto nízké koncentrace by způsobily, že by rychlosti reakcí chemické evoluce probíhající v oceánu byly vždy zanedbatelné, jak vyplývá ze zákona o působení aktivní hmoty. Podle tohoto zákona lze také předpovědět, že by libovolné koncentrační mechanismy, např. mrznutí nebo odpařování vodních nádrží, jen urychlily jak procesy odbourávání, tak procesy syntézy, které již probíhaly nižšími rychlostmi ve zředěném prostředí moří. Konečný výsledek dějů probíhajících v těchto malých nádržích by žádným výrazným způsobem nepodpořil chemickou evoluci. Názor na to, jak zředěné byly biomonomery v mořích, vychází ze skutečnosti, že prebiotická polévka, která se vyskytovala pravděpodobně po celém světě, nezanechala žádnou známou stopu v geologickém záznamu.

Protože byly koncentrace monomerů tak nízké, probíhala by spontánní polymerace jen s největšími obtížemi. Hlavním problémem nebyl nedostatek vhodných zdrojů energie, ale spíše nedostatek prostředků, pomocí nichž by byla energie dostatečně využita ke tvorbě polymerů a nepřítomnost prostředků tvorby

vhodné sekvence, tj. například vhodného uspořádání aminokyselin v polypeptidu, který by tak získal určitou biologickou funkci. Tento poslední problém se vztahuje ke konání konfigurační entropické práce a představuje zcela zásadní překážku. Dotýká se stejně překonaných, současných i možných budoucích modelů chemické evoluce. Domníváme se, že tento problém je analogický problému středověkých alchymistů, kteří měli vyrobit z mědi zlato. Energie procházející systémem může konat chemickou práci a vytvořit tak jinak nepravděpodobné rozložení energie v soustavě (např. ohřívač vody). Tepelná entropie se však zdá být fyzicky nezávislá na informačním obsahu živých systémů, který jsme analyzovali a nazvali konfigurační entropií. Citovali jsme Yockeyho, že záporná termodynamická entropie (tepelná) se nevztahuje k informaci a že žádné množství energie protékající soustavou a tvorba záporné tepelné entropie nemohou vytvořit ani malé množství informace. Není možné získat zlato z mědi, jablka z pomerančů nebo informaci ze záporné tepelné entropie. Obecně rozšířená domněnka, že otevřený systém je dostatečným vysvětlením složitosti života, postrádá fyzikální podstatu. Jak jsme uvedli již dříve, nestojí tato hypotéza ani na teoretických, ani na experimentálních základech. Z našich zkušeností nevyplývá náznak toho, že by jakýkoliv mechanismus poskytoval nezbytnou konfigurační entropickou práci. Enzymy a lidská inteligence to však běžně provádějí.

Konfigurační entropická práce má vlastně dvě podoby. Výběr nebo uspořádání vhodného chemického složení z náhodné směsi prebiotické polévky se vztahuje k "selekční" práci. Úkol uspořádat tyto vybrané monomery do vlastní sekvence polymeru s biologickou funkcí plní "kódovací" práce. Nezdá se, že by podmínky na dávné Zemi mohly poskytovat potenciálním složkám biologických systémů tyto složky konfigurační entropické práce nezbytné k tvorbě makromolekul živých buněk.

Právě tento nenaplněný požadavek konfigurační entropické práce je ústředním problémem tvorby nezbytných makromolekul, např. DNA a bílkovin, které přitom nejsou zdaleka nejsložitějšími buněčnými strukturami.

Ve snaze nalézt spojovací článek mezi neživým a živým byly v laboratoři připravovány tzv. protobuňky. Tyto struktury připomínají skutečné buňky jen v hrubých rysech, ale neexistuje u nich podobnost s vnitřním buněčným ústrojím, k němuž patří enzymy, DNA nebo buněčná membrána z fosfolipidů. Těch několik "buněčných" funkcí, které protobuňky vykazují, má původ v jednoduchých fyzikálních silách. Jakákoliv podobnost se skutečnými buněčnými procesy je tedy značně povrchní.

Zdánlivá přijatelnost obvyklé interpretace chemické evoluce se z velké části opírá o výsledky laboratorních prebiotických

modelových experimentů. Ve skutečnosti je většina z těchto pokusů pravděpodobně nepřijatelná. Na rozdíl od jiných existujících experimentálních disciplin nemá "prebiotická chemie" obecně přijímaná kritéria platnosti prebiotických modelových pokusů. Následkem toho bylo pod označením "prebiotický" publikováno množství neuvěřitelných pokusů.

Naší počáteční snahou o nápravu této situace je návrh definice platného prebiotického modelového pokusu. V návaznosti na obecně přijímaný názor, že život není výsledkem nějakého *rozhodujícího* zásahu nadpřirozených sil, prokazujeme, že platný prebiotický modelový experiment nesmí být v žádném *nelegitimním* smyslu poznamenán rozhodujícím vlivem badatele. Existuje samozřejmě množství možností, jak může badatel zasahovat legitimním způsobem. Jednoduše řečeno, badatel může přiměřeně upravit podmínky provedení pokusu tak, aby odpovídaly věrohodným podmínkám na prebiotické Zemi.

Aby bylo možné posoudit míru vlivu badatele, vytvořili jsme stupnici, na níž jsou umístěny různé běžné experimentální postupy. Čím více se pokus odchyluje od pravděpodobných podmínek na dávné Zemi, tím více se v něm projevuje vliv badatele. Předpokládá se, že v úvahu budou brány pouze *pravděpodobné* podmínky. Na základě této stupnice se domníváme, že podmínky většiny modelových pokusů byly nepřijatelné, a proto jsme je vyloučili z oblasti legitimních modelových experimentů. To se téměř rovná odsouzení; je však třeba si uvědomit, že část vážných pochybností, které od počátku provázely tzv. prebiotickou chemii, pramenila právě ze špatně definovaných pokusných podmínek. Na jednom vědeckém zasedání zazněla v tomto duchu následující kritická připomínka: "V prebiotické chemii je dovoleno všechno." Je na vědcích z této oblasti, aby se utkali s problémem, co je a co není platný modelový pokus.

Je třeba zdůraznit jeden charakteristický rys právě uvedené kritiky. Nevybíráme si jednoduše množství detailů z chemické evoluční teorie, které tvoří slabé místo, nebo jež není možno *prozatím* přiměřeně vysvětlit. Tato kritika je z větší části založena na podstatných nedostatcích samotných základů této teorie. Často se tvrdí, že se kritika zaměřuje na existující neznalost. "Dejte nám více času na vyřešení těchto problémů," bývá uváděno na obranu. Konec konců abiogenese jako vědecká disciplína je velmi mladá. Mnohé z těchto problémů budou vydávány za pouhé nedostatky současného stavu výzkumu, a některé z nich jimi jistě jsou. Všimněte si však, že hlavním bodem této kritiky není to, co *nevíme*, ale to, co *víme*. Během posledních třiceti let experimentálního výzkumu počátku života bylo objeveno mnoho poznatků. S každým uplynulým rokem však kritika sílí. Samotné pokroky vědy tak zpochybňují představu,

že život vznikl na Zemi spontánními (v termodynamickém smyslu) chemickými reakcemi.

V průběhu let se zvolna objevují hranice, které názorně ukazují, co lze očekávat od pouhé hmoty a energie a co může být dosaženo pouze pomocí "zásadního informačního zásahu", o kterém se zmiňuje Michael Polanyi¹. Až badatelé připustí, že většina tzv. prebiotických modelových pokusů byla úspěšná jen díky důležité, ale nelegitimní úloze badatele, může započít nová fáze experimentálního výzkumu počátku života. Až do té doby však budou v literatuře o chemické evoluci i nadále pravděpodobně převládat zprávy o pokusech, v nichž badatel, podobně jako metabolizující Maxwellův démon, bude ovlivňovat pokusný systém vnějším zásahem prostřednictvím své inteligence. Takový vliv stanovuje experimentální hraniční podmínky a předpokládanou "prebiotickou" Zemi ovlivňuje či kontroluje prostřednictvím inteligence. Dokud bude tento vliv badatele přehlížen, bude se vytvářet zdání, že modelový pokus lze označit za prebiotický. Domníváme se však, že právě tento přístup vytváří překážky řešení tajemství vzniku života.

Závěr

Hlavním závěrem, který vyplývá z této práce, je, že neřízený tok energie prebiotickou atmosférou a oceánem v současnosti představuje nezdařilé a neodpovídající vysvětlení neuvěřitelné složitosti spojené i s těmi nejjednoduššími živými systémy. Toto vysvětlení je tedy pravděpodobně chybné.

Mnozí budou považovat tuto kritiku za "zajímavou", ale nedojdou ke stejnému závěru jako my. Proč budou mnozí pravděpodobně trvat na přijetí určité verze chemické evoluce? Zcela jednoduše proto, že chemická evoluce nebyla vyvrácena. Přiklonit se k vyvrácené hypotéze by bylo jistě nerozumné. Uvedli jsme pouze, že chemická evoluce je značně nepravděpodobná. Jak vyplývá z podstaty věci, to je vše, co můžeme říci. Přísně technicky vzato *nemůže* být chemická evoluce vyvrácena, protože není vyvratitelná. Chemická evoluce představuje spekulativní rekonstrukci jedinečné již uskutečněné události, a nelze ji tedy ověřit při opakování tohoto přírodního děje. Jak poznamenal Pirie, "Máme jen malou naději, že budeme moci někdy uzavřít tuto diskusi tvrzením 'Takto vznikl život'; nejlepší, v co můžeme doufat, je, že budeme moci říci 'Toto je jedna z cest, kterou snad mohl život vzniknout.'"

Někdo může okamžitě usoudit, že měl-li Pirie pravdu, pak není chemická evoluce součástí vědy a měla by být odložena na smetiště. Tak zřejmě uvažoval Mora, když řekl: "...lituji, ale otázka vzniku života není od Pasteurových dob záležitostí vědy."³

Takový závěr je však příliš ukvapený. Je třeba si uvědomit, že, jak jsme ukázali v kapitole 1, spekulativní podstata chemické evoluce neznámá, že by tato teorie neměla žádnou hodnotu. V soudním lékařství může spekulativní scénář v rukách dovedného právníka přesvědčit porotu o vině nebo nevině obžalovaného. Podobně je to i se scénáři chemické evoluce.

Soudní proces s sebou vždy nese riziko, že částečná pravda prezentovaná jako pravda úplná zmýlí porotu. Aby bylo nebezpečí odsouzení nevinného a osvobození viníka sníženo na minimum, je běžnou praxí soudu USA, že porota vyslechne pravděpodobné scénáře obou stran, tedy prokurátora i obhájce. Kromě toho mohou právní zástupci obou stran klást otázky i svědkům protivníka. Porota pak zvažuje nashromážděné důkazy předložené oběma stranami, a je tedy naděje, že dospěje ke spravedlivému závěru. Porota navíc vynáší rozsudek viny z hrdelního zločinu jen v případě, že o vině neexistují žádné rozumné pochybnosti.

Je jisté, že vznik života cestou chemické evoluce tak, jak je obvykle uváděn, zní přijatelně a je vědeckou veřejností široce, i když ne obecně, přijímán. Popularizace navíc zpřístupnila tuto problematiku milionům laiků způsobem až vemlouvavým. Protože chemická evoluce nemůže být vyvrácena, může být její zdánlivá přijatelnost snadno nadhodnocena a považována za skutečnost, nikoli za pouhou spekulaci.

Snad každý spekulativní přístup skýtá toto nebezpečí, které je v tomto případě obzvláště pravděpodobné, protože důležitá otázka přijatelnosti chemické evoluce byla téměř umlčena. Věříme, že kapitoly této knihy poukazují na existenci rozumných pochyb o tom, zda se jednoduché chemické sloučeniny na prebiotické Zemi skutečně vyvinuly (či samy zorganizovaly) za vzniku prvního života. Rozhodnutí přenecháváme soudcovskému sboru.

"Toto je největší problém s nepřímými důkazy. Prokurátor má k dispozici všechny možnosti organizovaného pátrání. Odkryje fakta. Vybere jen ta, která jsou podle něho důležitá. Jakmile dospěje k závěru, že obžalovaný je vinen, jsou jediná fakta, která považuje za důležitá, ta, která ukazují na vinu obžalovaného. Proto mohou nepřímé důkazy zkreslit skutečnost. Fakta sama o sobě nemají význam. Smysl má interpretace, kterou těmto faktům přiřadíme."

"Perry Mason" - Erle Stanley Gardner*

* *The Case of the Perjured Parrot (Případ křivopřísežného papouška.)*, Copyright 1939, by Erle Stanley Gardner.

Literatura

1. Michael Polanyi, 1967. *Chem. Eng. News*, 21. srpna, str.54.
 2. N.W. Pirie, 1957. *Annals of the New York Academy of Science* **66**, 369.
 3. P.T. Mora, 1963. *Nature* **199**, 212.
-

Doslov

V úvodní kapitole jsme vyjádřili naději, že kritika současných teorií vzniku života bude prvním krokem směřujícím k nové, přijatelnější teorii. Dosud jsme se však nevěnovali jiným možnostem. V našem doslovu se tedy zmíníme o pěti alternativních názorech, které se objevily v literatuře týkající se vzniku života. Jsou to:

1. Nové přírodní zákony
2. panspermie
3. řízená panspermie
4. Jedinečné stvoření stvořitelem z vesmíru
5. Jedinečné stvoření stvořitelem, který je mimo vesmír

Troufáme si tvrdit, že tyto teorie budou i v budoucnosti uvedeny hlavními teoriemi vzniku života. Než však se jimi budeme zabývat dovoluňte nám uvést některé důležité výsledky naší analýzy výzkumu vzniku života. Jakákoliv uspokojivá alternativa by měla vysvětlovat tyto faktory:

1. Hromadí se důkazy, že na dávné Zemi a v její atmosféře byly oxidující podmínky.
2. V atmosféře a v oceánu prebiotického světa převládal rozklad nad syntézou.
3. Doba mezi zchladnutím Země a prvními známkami života se neustále zkracuje (nyní je < 170 milionů let).
4. Geochemická analýza dokazuje, že prekambrikové sedimenty obsahují velmi málo dusíku.
5. Existuje pozorovatelná hranice mezi tím, co vzniklo v laboratoři jako výsledek samotného přírodního procesu a tím, co vzniklo jako důsledek zásahu badatele.
6. Podle naší zkušenosti pouze biotické procesy (enzymy, DNA atd.) a vliv badatele umožňují využití toku energie k tvorbě biospecifických makromolekul.
7. Skutečné živé buňky jsou pozoruhodné komplexy dobře sehraných dynamických struktur obsahujících enzymy, DNA, fosfolipidy, sacharidy atd., jimž se tzv. protobuňky podobají jen povrchně.

Nové přírodní zákony*

* Tato část intenzivně čerpá z teoretické analýzy Johna C. Waltona uvedené v článku "Organization and the origin of life," v *Origins*, díl 4, č. 1, 1977, 16 - 35.

Setkali jsme se s neúspěchem a snad neschopností v současné době známých základních fyzikálních a chemických zákonů vysvětlit vznik biologických struktur. Tato skutečnost inspirovala myšlenku, že musí být objeveny nové fyzikální principy, které by tento jev přiměřeně vysvětlily. Elsasser¹ argumentoval tím, že skupiny živých struktur jsou příliš malé, než aby bylo možné na ně aplikovat fyzikální statistické metody, a je tedy nutné nalézt místo nich nové přírodní zákony. Vzpomeňte, že podobný návrh předložil i Murray Eden na sympoziu ve Wistarově ústavu, jak bylo uvedeno v kapitole 1. Ve stejném duchu předpokládal Garstens², že aplikace statistické mechaniky na biologické systémy vyžaduje novou skupinu pomocných předpokladů odlišných od těch, které jsou ve fyzice tradičně používány. Mora³ souhlasí s tím, že nové zákony jsou nezbytné, a poukazuje přitom na nemožnost souladu mezi statistickými a termodynamickými prostředky a tvorbou živých systémů.

Použitím kvantové mechaniky vypočítal Wigner⁴ pravděpodobnost, že z interakcí živého organismu a výživných látek vznikne jiný, identický organismus, za předpokladu, že je tato interakce řízena náhodnou symetrickou Hamiltonovou maticí. Stejný předpoklad využil von Neumann⁵, aby dokázal, že druhá věta termodynamiky je důsledkem kvantové mechaniky. Při sčítání počtu rovnic popisujících tyto interakce zjistil Wigner, že značně převyšují počet neznámých, které popisovaly konečný stav živin a dvou organismů. Wignerova analýza ukázala nulovou pravděpodobnost existence jakéhokoliv stavu živiny, který by umožnil zmnožení organismu. Řekl: "Byl by to zázrak" a naznačil, že interakce organismu s živinou byla úmyslně "ušita na míru" tak, aby menší počet neznámých vyhovoval většímu počtu rovnic.⁶ Interakce živých systémů se živinami není samozřejmě náhodná, ale je řízena prostřednictvím molekuly DNA. Prebiotické systémy však nejsou takto vybaveny a stojí před problémem náhody, na který poukázal Wigner.

Landsberg⁷ také použil kvantovou mechaniku pro ověření otázky spontánní tvorby a reprodukce organismů. Zjistil, že rozšířili se Wignerova analýza i na nerovnovážné systémy, jsou pravděpodobnosti větší než nula, ale stále velmi malé. Na základě prací Wignera a Landsberga můžeme uzavřít, že kvantová mechanika nepopírá vznik života, ale naznačuje, že život nemohl vzniknout jako výsledek náhodných interakcí probíhajících v neživé hmotě. Z toho vyplývá, že nějaké až dosud téměř nepoznané "principy organizace" musí být zodpovědné za "řízenou" interakci chemických látek vedoucí k tvorbě živých systémů. Tento závěr, plynoucí z kvantové

mechaniky, je v souladu s dřívějším termodynamickým pozorováním (kapitola 8), že pro vznik života je nezbytné převedení toku energie systémem na požadovanou práci, zejména pak konfigurační entropickou práci.

Polanyi⁸ zdůraznil, že mechanismus a uspořádání živých organismů se nedají zjednodušit na zákony neživé hmoty. Uvádí, že zákony chemie a fyziky mají své matematické vyjádření ve formě diferenciálních rovnic. Existenci živých systémů lze porozumět jedině vymezením mezních stavů, které budou vyhovovat jak rovnicím, tak přírodě. Opouští nezodpovězenou otázku, jak se toto vymezení mezních stavů uskutečnilo, a naznačuje tak znovu potřebu nových zákonů.

Podobným způsobem potvrzuje Longuet-Higgins⁹, že fyzika a chemie jsou jako teoretická kostra biologie pojmově nedostatečné, a doporučuje věnovat mnohem vážnější pozornost biologickým problémům z hlediska tvaru, konstrukce a funkce.

Potřebu nových přírodních zákonů dále zdůraznil Schrödinger¹⁰ prostřednictvím paradoxu, jehož existenci si uvědomil v roce 1944. V neživé hmotě je pravidelnost a uspořádanost vždy průměrným výsledkem společného chování velkého množství molekul, na něž působí určité tlaky. V živých systémech se však uspořádané chování zdá být výsledkem aktivity jednotlivých molekul nebo velmi malých skupin molekul, přestože ze základních fyzikálních zákonů vyplývá, že by se jednotlivé molekuly měly chovat nahodilým způsobem. Pattee¹¹ a Bohm¹² diskutovali o tomto problému, ale nenalezli žádné uspokojujivé řešení. Podle Bohma je ve skutečnosti jisté, že základní teorie nevysvětlí ani přesný přenos genetické informace, tím méně její vznik. Zároveň si všimá ironického obratu, že právě ve chvíli, kdy fyzika i chemie opouští mechanistické interpretace a nahrazuje je pravděpodobnostními, biologie je začíná přijímat.

Závěrem lze říci, že se příznivci nových přírodních zákonů nedomnívají, že by tok energie systémem byl převeden na uskutečnění práce potřebné k vytvoření první bílkoviny, DNA a konečně první živé buňky. Jednoduše poukazují na to, že je potřeba najít nové organizující principy, protože ty současné zjevně nepostačují. Potřeba nových zákonů je rozumným důvodem pro jejich hledání, ale k jejich formulaci a zachování je třeba důkazů. Inteligentní zařízení využívají část toku energie pro práci v lidském světě. Jak ale mohly takové energii měnící či převádějící prostředky vzniknout bez inteligence v anorganickém světě ještě před existencí života, je těžké vysvětlit.

panspermie

panspermie představuje klasický názor, že život vznikl mimo Zemi. Byl zformulován v 19. století poté, co Pasteur vyvrátil hypotézu samoplození a byl popularizován S. Arrheniem¹³ počátkem tohoto století. Podle tohoto názoru byla živá spóra přinesena tlakem elektromagnetického záření na Zemi odkudsi z vesmíru. Tato představa se někdy označuje jako radiopanspermie.

Arrhenius uvažoval, že zárodek o velikosti 0,1 - 3 μm mohl uniknout gravitačnímu poli Slunce a mohl být nesen vesmírem tlakem světelných vln. Ačkoliv je panspermie důmyslnou myšlenkou, selhává v důsledku tří důležitých faktorů:

1. panspermie ve skutečnosti neodpovídá na otázku vzniku života; pouze přemísťuje tento problém na jinou planetu nebo jiné místo ve vesmíru.
2. panspermie nevysvětluje ochranu zárodků života před smrtícími účinky intenzivního kosmického záření.
3. panspermie nenavrhuje žádný mechanismus bezpečného průchodu zárodků zemskou atmosférou. Arrhenius uvažoval, že každý zárodek života o průměru větším než 1 μm by při vstupu do atmosféry shořel. Většina rostlinných a živočišných buněk má však průměr 10 - 40 μm .

Tyto problémy se ukázaly jako velmi závažné, a tak většina lidí opustila teorii panspermie jako neschopnou života. Poslední záblesky zájmu o panspermii zvolna zmizely v polovině padesátých let se vznikem moderních teorií pozemské abiogeneze.

Oživení zájmu o panspermii

V poslední době, v důsledku značných námitek proti scénářům chemické evoluce na Zemi, jejichž analýza tvoří hlavní náplň této knihy, došlo k oživení zájmu o panspermii, i když ta ve své podstatě nevysvětluje vznik života. Proč stále hledat odpověď na otázku vzniku života na Zemi, když přibývá závažných důkazů zpochybňujících pozemskou chemickou evoluci? Brooks a Shaw poznamenali: "Jestliže analyzujeme fakta, musí nás zajímat pravda a tuto pravdu nesmíme jakkoliv uzpůsobovat tak, aby nám to pomohlo pohodlně vysvětlit náš prapůvod způsobem, který nás z toho či onoho důvodu maximálně uspokojuje."¹⁴

Fred Hoyle a N. C. Wickramasinghe¹⁵ oživilí zájem o panspermii. Jejich výpočty ukazují, že částice až do velikosti 60 μm (což zahrnuje většinu existujících buněk) by se mohly dostat na Zemi, "měkce" přistát a přitom by ani neshořely při vstupu do atmosféry, ani by se nerozpadly při dopadu.

Problém zachování života ve vesmíru zřejmě není tak nepřekonatelný, jak si představoval Arrhenius. Prostřednictvím radioastronomie byly ve vesmíru objeveny organické molekuly, mezi nimi i takové, které jsou obvykle považovány za prekurzory života (např. formaldehyd, metanol), což naznačuje, že jakási metoda jejich zachování zřejmě funguje. Tyto molekuly jsou zřejmě chráněny tenkými vrstvami grafitového prachu o tloušťce několika desetin mikronu, které tvoří štít před ničivými paprsky ultrafialového záření.

Nadto byly v meteoritech nalezeny aminokyseliny, z nichž některé tvoří důležitou součást proteinů. Murchisonův meteorit, který dopadl v roce 1969 v Austrálii, obsahoval D,L-aminokyseliny*, z nichž některé byly proteinogenní. Přítomnost D,L-aminokyselin byla považována za důkaz jejich mimozemského původu a doklad toho, že meteorit nebyl kontaminován stopami pozemského života. Tato skutečnost je důležitá, neboť meteorit dopadl do ovčí farmy, takže nebylo možné brát případnou kontaminaci na lehkou váhu.

Snad ještě významnější je nález aminokyselin v jiném meteoritu, kterému se připisuje stáří 3,83 miliardy let a který byl nalezen v hlubokém mrazu Antarktidy. Byl považován za důkaz mimozemského původu aminokyselin. Cyril Ponnampereuma, který vedl četné výzkumy na tomto poli, uvedl:

Zdá se, že procesy chemické evoluce jsou ve sluneční soustavě běžné... Nikdo nenalezl život mimo Zemi, ale všechny důkazy, které získáváme, ukazují tímto směrem. Jsem si jistý, že tam existuje.¹⁶

* Nedávno zveřejněné zprávy však tento výklad zpochybňují. Viz Michael H. Engel a Bartholomew Nagy, 1982. *Nature* **296**, 837.

Navzdory Ponnampereumovu optimismu, který sdílí i jiní vědci, je význam těchto molekul z (a ve) vesmíru značně nejasný. Pokusíme se objasnit toto tvrzení následujícím příběhem. Vypráví se, že se jeden malý chlapec zeptal své matky, zda je pravda, že jsme vznikli z prachu a že se po smrti zase v prach proměníme. Po matčině přitakání chlapec vykřikl: "Někdo je tedy pod mou postelí, ale já nemohu říci, zda přichází nebo odchází." Hoch odvodil existenci "někoho" z přítomnosti prachu pod svou postelí na základě chybného předpokladu. Záležitost s molekulami ve vesmíru nápadně připomíná tento příběh. Tím, co zjevně vede některé vědce k jistotě o přítomnosti života ve vesmíru plynoucí z pouhé přítomnosti organických molekul, je jejich hypotéza, že život je ve vesmíru dosti běžný, neboť představuje pouze stupeň vývoje hmoty. Co jiného mohlo vést Ponnampereumu, když k přítomnosti života ve vesmíru řekl: "Jsem jistý, že tam existuje." Otázkou jistě zůstává, zda je tato

hypotéza správná; nejedná se o axiom, z něhož lze vyvozovat závěry.

Nemůžeme nesouhlasit s potřebou alternativy k chemické evoluci. Vzhledem k tomu, že panspermie nenabízí žádnou teorii vzniku života, předpokládá implicitně přítomnost chemické evoluce na nějakém jiném místě ve vesmíru, které má pro její průběh mnohem příznivější podmínky než Země. Jak však vyplývá z principu jednotnosti, námitky, které byly vzneseny proti pozemské chemické evoluci, se musí týkat tohoto procesu i na jiných planetách. V jakémkoliv prostředí dospějeme ke skutečnosti, že přírodní síly, které působí samostatně, musejí být schopné dodat nezbytnou konfigurační entropickou práci pro vytvoření bílkovin, DNA a dalších molekul a také pro zformování vlastní buňky. Ze zkušenosti víme, že inteligentní badatelé mohou syntetizovat bílkoviny a vytvořit geny. Stále však nemáme žádný důkaz, že by toto bylo možné bez další pomoci pouze abiotickou cestou.

Vezmeme-li v úvahu, že z vesmíru byly získány pouze organické materiály, z nichž se život skládá, a ne život samotný, pak nám stále chybí ten rozhodující krok. Vytvoření života za těchto okolností by muselo proběhnout navzdory destruktivním silám diskutovaným v kapitole 4. Příklad molekul nalezených ve vesmíru přispívá jen málo k vyřešení tajemství vzniku života. Jak bylo zdůrazněno v kapitole 4, dvě důležité okolnosti podmiňují vznik příhodných podmínek pro utvoření života : (1) zdroj molekul prekurzorů a (2) jejich ochrana až do jejich zabudování do živé struktury.

Navzdory problémům s panspermií však stále přibývá vědců, kteří ji obhajují.

řízená panspermie

Je třeba se zmínit i o další variantě panspermie nazývané řízená panspermie.¹⁷ Podstatou této hypotézy navržené Francis Crickem a Leslie Orgelem je myšlenka, že zárodky života byly na Zem poslány pomocí rakety mimozemskou inteligencí (ETI) nejpravděpodobněji z nějaké jiné galaxie. Existuje zde množství spekulací. ETI snad cílevědomě poslala zárodky života na Zem, aby na ní vytvořila jakousi "divočinu nebo ZOO"¹⁸ nebo snad kosmickou skládku.¹⁹ Je také možné, že zárodky života sem byly zaneseny nechtěně "někdy v dávných dobách na botách kosmonautů."²⁰

Podobně jako o panspermii, i o řízenou panspermii se zajímalo jen málo vědců. A. Dauvillier se výstižně vyjádřil (již před vznikem teorie řízené panspermie, ale jeho slova jsou stále platná) :

Teorii kosmické panspermie si lze představit pouze tehdy, jestliže bude přijata myšlenka dopravy zárodků života cizími kosmonauty. To je ve skutečnosti povrchní hypotéza, výmluva, která se snaží vyhnout základnímu problému vzniku života.²¹

Většina vědců pravděpodobně souhlasí s Dauvillierem, který považuje panspermii řízenou mimozemskou inteligencí za produkt fantazie. Existují však určité nepřímé důkazy, které zvyšují její přitažlivost ve srovnání s myšlenkou panspermie. Podobně jako panspermie, všímá si i řízená panspermie existence významných problémů, které se týkají pozemské chemické evoluce, například rozporu mezi předpokládanou redukcující dávnou atmosférou a mezi přibývajícím důkazy o jejím oxidujícím charakteru. Jak se zmínil Crick, jestliže by skutečně bylo pravda, že prebiotická atmosféra obsahovala podstatné množství kyslíku, bylo by obtížné si představit chemickou evoluci. V takovém případě, jak vysvětluje Crick, "by byla podpořena myšlenka řízené panspermie."²²

Skutečností, která uchvátila Cricka, je, že se dávné organismy objevují ve zkamenělinách náhle, bez jakýchkoli stop existence prebiotické polévky nebo jednoduchých prekurzorů.²³ Podle Cricka svědčí tato skutečnost pro teorii řízené panspermie. Crick a další však nemohou uvést žádný přesvědčivý důkaz podporující řízenou panspermii. Výše uvedená citace, týkající se řízené panspermie, by mohla být použita i pro panspermii. Nelze se pak podívat Crickovu lamentování: "Pokaždé, když píšu článek o vzniku života, zapřísahám se, že už nikdy žádný nenapišu, protože existuje příliš mnoho spekulací, které vycházejí z příliš malého množství faktů..."²⁴

Další formou "důkazu", který je často používán na podporu existence ETI ve vesmíru, je Green Bank - Drakeova rovnice.²⁵ Tato rovnice udává hodnotu N , což je počet rozvinutých civilizací, které nyní (pravděpodobně) udržují kontakt v oblasti mléčné dráhy,

$$N = R f_p n_e f_1 f_i f_c f_d L$$

kde R je rychlost vzniku hvězdy; f_p , pravděpodobnost, že hvězda bude mít planety; n_e , počet planet připadajících na hvězdu, které mají prostředí příznivé pro život; f_1 , pravděpodobnost vzniku života; f_i , pravděpodobnost vzniku inteligentního života; f_c , pravděpodobnost, že se inteligentní bytosti pokusí navázat mezihvězdný kontakt; f_d , pravděpodobnost, že tyto bytosti chtějí navázat spojení; a L , doba života civilizace poté, co se dostane do stadia mezihvězdné komunikace.

Pomocí Green Bank-Drakeovy rovnice byly vytvořeny rozmanité odhady. Pohybují se v rozmezí od $N = 1$ (i tato hodnota odpovídá téměř obecnému předpokladu, že spontánní chemická

evoluce jednou proběhla) do 10^8 nebo více. Široké spektrum hodnot přiřazovaných veličině N , které lze nalézt v literatuře, je odrazem vlivu subjektivních názorů těch, kteří vytvářejí příslušné odhady. Mnoho nadšenců považuje za rozumný závěr, že vesmír obývá snad milion rozvinutých společností. V USA bylo přijato několik projektů na federální úrovni (např. projekt OZMA), s cílem pátrat po mimozemské inteligenci (SETI). V literatuře se však objevuje stále více kritiky pojetí ETI. Například Frank Tipler pečlivě přezkoumal důvody hovořící pro ETI a poznamenal: "Problémem Drakeovy rovnice je, že experimentálně lze stanovit pouze hodnoty f_p a menší měrou n_e ."²⁶ I když přisoudíme každému výrazu hodnota obvykle udávanou při diskusích o mezihvězdných společenstvích, dospějeme k závěru, že "jsme sami."²⁷

řízená panspermie, stejně jako samotná panspermie, postrádá vysvětlení vzniku života. Pouze předpokládá, že kdesi ve vesmíru v nějakém příznivém prostředí muselo dojít k jeho spontánnímu vzniku. řízená panspermie představuje v první řadě návrh mechanismu bezpečné dopravy života na Zem. Ano, inteligentní bytosti by jistě mohly vymyslet vhodnou kosmickou loď.

I přes nedostatek jakýchkoliv skutečných důkazů však mezi určitými vědci zájem o ETI vzrůstá.

Jedinečné stvoření stvořitelem z vesmíru

Hoyle a Wickermashinge²⁸ předložili neobvyklou, podnětnou myšlenku, kterou zde dosti podrobně uvedeme. Jak uvidíme, objevují se dvě varianty inteligence, která vytváří biologickou specifitu: (1) tvořící inteligence ve vesmíru a (2) tvořící inteligence mimo vesmír. Při diskusi o vesmírné inteligenci Hoyle a Wickramasinghe tvrdí, že darwinismus jako vysvětlení vzniku života a vývoje pozemské biologie selhal.

Bez ohledu na to, jak rozsáhlé prostředí uvažujeme, nemohl být začátek života náhodný... existují asi dva tisíce enzymů a pravděpodobnost, že je všechny získáme při náhodném procesu je $1 / (10^{20})^{2000} = 1 / 10^{40\ 000}$, tedy tak neuvěřitelně malá, že by se nemohla projevit, i kdyby byl celý vesmír tvořen organickou polévkou.

Nejsme-li předem ovlivněni společenským povědomím nebo vědeckým přesvědčením, že život vznikl na Zemi, vyřazuje tento jednoduchý výpočet myšlenku pozemského vzniku života zcela z dalších úvah... obrovský informační obsah dokonce i nejjednodušších živých systémů... nemůže být podle našeho názoru vytvořen tím, co je často označováno jako "přirozené" procesy, tedy například pomocí meteorologických a chemických dějů probíhajících na povrchu planety bez života... Aby život

na Zemi vznikl, bylo by nezbytné dodat zcela jednoznačné instrukce pro jeho zformování... Neexistuje způsob, jak obejít potřebu informace. Jednoduše nevystačíme s větší a lepší organickou polévkou, v což jsme ještě před rokem nebo dvěma sami doufali.²⁹

Dosavadní logika říká, že obvyklý názor na vznik života chemickou evolucí v organické chemické polévce je příliš nepravděpodobný. Informační obsah živých buněk je příliš velký, než aby bylo možné očekávat, že se vytvořil "přirozenými" prostředky.

Přiměřená teorie vzniku života vyžaduje zdroj informací schopný dát vzniknout chemické složitosti. Hoyle a Wickramasinghe tvrdí, že toto představuje zdrcující důkaz, že inteligence zajistila informace a vytvořila život.

Domníváme se, že... inteligence vymyslela biochemické látky a způsobila vznik života obsahujícího uhlík... Za použití atlasu, který uvádí sekvence aminokyselin všech enzymů, by mohli biochemici tyto enzymy vytvořit s naprostou přesností, což dokládá ohromnou nadřazenost inteligence spojené se znalostmi nad slepými náhodnými procesy... Jakákoliv teorie s pravděpodobností správnosti větší než $1/10^{40000}$ musí být posuzována jako nadřazená náhodnému ději. Podle našeho názoru je pravděpodobnost toho, že teorie o vytvoření života inteligencí představuje správné vysvětlení mnoha nepochopitelných skutečností diskutovaných v předchozích kapitolách, podstatně větší než $1/10^{40000}$... Paley přirovnává přesnost živého světa k výborně udělaným hodinkám. Dále uvádí, že právě tak jako hodinky vděčí za svůj vznik hodináři, musí svět Přírody vděčit za svůj vznik Stvořiteli, Bohu... Ukazuje se, že úvahy z knihy *The Origin of Species (O původu druhů)* jsou chybné... Je ironií, že zatímco vědecká fakta odsunují Darwina stranou, vrací se William Paley, který byl více než sto let terčem posměchu vědeckého světa, zpět jako možný konečný vítěz... tato teorie je skutečně tak jasná, že je div, proč není obecně přijímána. Důvody jsou spíše psychologické než vědecké.³⁰

Jak ukázali Hoyle a Wickramasinghe, zastávání tohoto názoru na stvoření života v sobě zahrnuje prvek úmyslnosti.

Odpor, který pociťují biologové k myšlence, že by účel mohl mít místo ve struktuře biologie, je tedy odporem vůči představě, že by biologie mohla být spojena s inteligencí, která je větší než naše vlastní.

Každý školák už jistě předpokládá, že Hoyle a Wickramasinghe nabízejí světu tradiční chápání Jedinečného Stvořitele. Ale omyl! Hoyle a Wickramasinghe popírají, že by stvořitelem byl

tradiční nadpřirozený Bůh. Vidí stvořitele v celém vesmíru. Tvrdí, že existuje mezera v logice, která generacím vědců brání v poznání skutečnosti, že inteligence je původním zdrojem informace v biologickém světě.

Celek jedinečné teorie stvoření byl považován za chybný a mezi vědci vůči ní existoval obecný odpor. V podstatě, protože byly detaily považovány za nesprávné, byla odmítnuta i základní myšlenka života stvořeného inteligencí... Jestliže definujeme "stvoření" jako příchod na Zem z vnějšku, jednotkou stvoření je v našem pojetí gen, nikoliv fungující soubor genů, který označujeme jako druh.³²

Přínosem tohoto názoru je, že pravděpodobně řeší hlavní problém, tedy vznik života, který obě teorie panspermie pouze obešly. Je navrhován skutečný vznik nejprve genů, ale i bakteriálních buněk. Důsledkem je, že k bezpečné dopravě genů na Zem může být využit mechanismus popsáný v teorii panspermie bez potřeby čehokoliv tak složitého, jako je kosmická loď. Geny nebo jejich fragmenty mají velikost 0,1 - 3 μm , mohly by tedy být snadno přenášeny sluneční soustavou pomocí světelných vln a chráněny přitom před intenzivní radiací ve vesmíru tenkou vrstvou grafitu. Konečně by také dobře splňovaly limit 60 μm pro bezpečný vstup do naší atmosféry, aniž by došlo k jejich shoření.

Tento proces by se neodehrával pouze na počátku, ale jak naznačují Hoyle a Wickramasinghe, pokračoval by během celé historie až do současnosti.

Podle našeho názoru je přísun živých buněk a fragmentů [stvořených] genetického materiálu na Zem pokračujícím vývojovým procesem, který řídí hlavní rysy biologické evoluce. Právě tento proces vykonává práci obvykle připisovanou darwinismu.³³

Hoyle a Wickramasinghe vysvětlují dopadajícími geny nejen vznik života, ale celou biologii. Vysvětlují tak i mezery ve fosilních stopách; přechodné formy nikdy neexistovaly, protože genetická informace nezbytná pro přechod mezi druhy přicházela na Zem plynule z vesmíru.

Jestliže vesmírnou inteligenci zodpovědnou za tvorbu genů a bakterií nepředstavuje Bůh, kdo nebo co to tedy je?

Je výhodné hledat ji v celém vesmíru, který nabízí ohromující spektrum možností, spíše než na Zemi, kde tyto možnosti nejsou k dispozici. Jednak se ve vesmíru nabízí možnost vysoké inteligence, kterou není Bůh. Nabízí se inteligence na mnoha úrovních, vyšší než naše... Důsledně logicky vzato je třeba říci, že inteligence, která vytvořila enzymy, je sama

neobsahuje. To je totéž jako tvrzení, že život, jehož podstatu tvoří sloučeniny uhlíku, byl vynalezen inteligencí, která tyto sloučeniny neobsahuje, která však v žádném případě nemusí být Bohem.³⁴

Jaký jiný druh vysoké inteligence neobsahuje enzymy? Nabízí se odpověď: *filozofická entita*. Aby Hoyle a Wickramasinghe vyřešili tento problém vzniku života, inspirovali se hinduistickou filozofií. Podobné stanovisko vyjádřil Plotinus,* otec neoplatonismu. V obou názorech je stvořitel součástí vesmíru a je podřízen nejvyšší podstatě (Bráhman nebo Kdosí, jenž je mimo vesmír a je nepoznatelný).

* Viz Plotinus, *Enneads*, do angl. přeložil Stephen MacKenna, 1966. Londýn: Faber and Faber.

Hoyle a Wickramasinghe dále uvažují, že inteligence možná nezůstala jen ve vnějších oblastech vesmíru, ale ztělesnila se na Zemi v podobě "vpádu z vesmíru."

Nyní se dostáváme k tomu, co pro nás představuje silný argument pro existenci "pozemské invaze"... dosud jsme nedokázali vyhubit jediný druh hmyzu.

Ani jediný druh mezi miliony!³⁵

A co nám říká tato zvláštní skutečnost?

Okolnosti ukazují jasně na jednu ze dvou možností. Buď se jedná o zjevný plán vymyšlený inteligencí značně vyšší, než je naše vlastní,... nebo má hmyz již zkušenost vytvořenou selekčním tlakem inteligence minimálně naší úrovně z mnoha jiných prostředí někde ve vesmíru.³⁶

Okamžik pravdy konečně nastane, když dojdeme k totožnosti superinteligence. Hoyle a Wickramasinghe se ptají: "Mohli by hmyz mít vyšší inteligenci než my?"³⁷ Podivuje-li se někdo proč tak dlouho objevujeme jejich skutečnou identitu, Hoyle a Wickramasinghe navrhuji, že je to proto, že si nepřejí být poznáni.

Jejich základní taktikou je možná utajení. Tato inteligence je možná nehybná, protože pochopila výrok bystrých právníků: "Když se tvůj případ vyvíjí dobře, tak nic neříkej."³⁸

Předpokládáme, že jen nemnozí budou považovat Hoyleho a Wickramasingheovy hypotézy dopadajících genů za skutečný příspěvek vědy. Přestože je jejich kritika chemické evoluce přesvědčivá, nová představa genů vytvořených ve vesmíru a dopadajících na Zem nebere v úvahu osud genů, které již dosáhly Země (kapitola 4), ani nedbá na skutečnost, že geny

potřebují ke své realizaci vhodné buněčné prostředí, ani nebere v úvahu, že tvorba buňky vyžaduje také dodání konfigurační entropické práce.

Geny jsou složité úseky DNA. Jak jsme poznali v kapitole 4, jsou extrémně přístupné interakci s množstvím chemických látek, které by jistě byly přítomny za redukcujících podmínek. Oxidující podmínky by však byly pro přežití genů ještě horší. Geny jsou obdivuhodné chemické formy pro tvorbu enzymů, ale bez hostitelské buňky vybavené patřičnými enzymy nemůže proteosyntéza probíhat. Člověk by patrně mohl vytvořit v laboratoři podmínky napodobující buněčné prostředí a uskutečnit replikaci a tvorbu enzymů. Tato možnost v prebiotickém světě je však značně problematická - i když by šlo o Zemi zkrápěnou kosmickými geny.

Jedinečné stvoření stvořitelem mimo vesmír

V souhlasu s myšlenkami abiogeneze a s předcházejícím názorem Hoyleho a Wickramasingha, vychází i teorie Jedinečného stvoření stvořitelem mimo vesmír z představy, že kdysi v minulosti byla hmota uspořádána jednoduchým způsobem, byla inertní a neobsahovala život. Později byla hmota ve stavu biologické specifiky postačující pro existenci a udržení života. Jedinečné stvoření (ať inteligencí ve vesmíru nebo mimo něj) se liší od abiogeneze předpokladem, že *zdroj, který vytvořil život, byl inteligentní.*

Během historie se mnoho autorů pokusilo popsat Stvořitelovu práci. Všichni vycházeli ze společné myšlenky, že inteligentní Stvořitel *dává charakter* inertní* hmotě jejím tvarováním, jako když hrnčíř dává tvar hlíně. Některé představy jsou zcela antropomorfní, jiné méně. Všechny se ale shodují v tom, že život vytvořil nějaký aktivní intelekt.

* Je třeba přiznat, že se myšlenka inertní hmoty ve své moderní podobě objevila až po vědecké revoluci 16. a 17. století. Pokud jde o první život, záleží na tom jen málo. Proto, jak je uvedeno v kapitole 2, považovala církev spontánní vznik života pouze za druhořadý.

V roce 1967 adresoval J.D. Bernal, hlavní představitel scénáře chemické evoluce, stoupencům božského stvoření následující výzvu:

Nyní, když se pouštíme do závažných vědeckých diskusí o vzniku života, je čas... aby nám bylo poskytnuto přesnější, kompletnější a celistvější vysvětlení duchovního nebo božského původu života než jakékoliv, které bylo vytvořeno jako alternativa k mechanistické představě. Takový argument... by

nám poskytl *jasnější cestu dalšího vědeckého postupu*, i když třeba nepovede k cíli.³⁹ (Důraz dodán autory knihy.)

Nedomníváme se, že se objevila jakákoliv významná odpověď na Bernalovu výzvu, která by nám poskytla "jasnější cestu dalšího vědeckého postupu." Ve skutečnosti by to, co následuje, mělo být považováno za pouhou přípravu k takovému účelu.

Co znepokojuje vědce na stvoření?

(1) Stvoření se týká nadpřirozena. Je obecně známo, že požadavek aktivního zásahu intelektu do tvorby přírody byl vždy poněkud na štíru s hlavním myšlenkovým proudem vědy. Každému, kdo je obeznámen s vědeckým myšlením, je také jasný důvod - jedná se o nadpřirozené síly. Tyto obavy správně vyjádřil uznávaný vědec J.W.N. Sullivan, jehož po jeho smrti charakterizoval časopis Time jako "jednoho ze čtyř nebo pěti nejlepších popularizátorů fyziky na světě."⁴⁰ Sullivan ukázal vztah většiny vědců k teistickému vysvětlení vzniku života. Jeho výrok z roku 1933 je stále výstižný:

Začátek evolučních procesů vyvolává otázku, na kterou zatím nelze odpovědět. Jaký byl počátek života na této planetě? Ještě donedávna byla poměrně obecně přijímána myšlenka "samoplození"... Ale pečlivé experimenty, zejména Pasteurovy, ukázaly, že tento závěr vznikl díky nedokonalému pozorování, a byla přijata teorie, že živé vzniká pouze ze živého. To je i podle současných důkazů stále jediný možný závěr. *Protože však tento závěr zřejmě směřuje zpět k určitému nadpřirozenému aktu stvoření, zdráhají se ho vědci přijmout.*⁴¹ (Důraz doplněn autory knihy.)

Tím, co znepokojuje mnoho vědců, je tedy nadpřirozeno. Ale co to je, co způsobuje potíže ohledně nadpřirozena? Proč je obtížné akceptovat myšlenku stvoření?

(2) Stvoření znamená nespojitost. Hlavní starostí mnoha vědců je, že pokud připustí působení nadpřirozena, připustí i zavedení *nespojivosti* do vědy. Citujeme dále Sullivana:

Přináší to s sebou něco, co je v současném duchovním klimatu pocítováno jako nežádoucí filosofický důsledek a co je v protikladu k vědecké touze po kontinuitě. *Je to nevysvětlitelný zlom v řetězci příčin a následků*, který nemůže být jako část vědy přijat, pokud existuje sebemenší možnost ho odmítnout. Z tohoto důvodu dává většina vědců přednost názoru, že život vznikl ve shodě se zákony fyziky a chemie.⁴² (Důraz doplněn autory knihy.)

Představa o přírodních dějích jako nepřetržitém předivu příčin a následků je myšlenka dominující ve vědě více než 250 let.

Jak napsal Einstein: "Vědec je posedlý principem všeobecné kauzality."⁴³ Stvoření by ovšem bylo nespojité. Hans Gaffron se vyslovil k tomuto problému ve svém projevu v roce 1959 u příležitosti oslav stého výročí vydání Darwinovy knihy *O vzniku druhů přírodním výběrem*. Na téma chemické evoluce Gaffron řekl:

Je to pěkná teorie, ale neexistuje ani zlomek důkazu, ani jediný fakt, který by nás přiměl k tomu jí věřit. Existuje pouze přání vědců *neuznat diskontinuitu v přírodě* a nepřijmout akt stvoření, který je stále mimo naše chápání.⁴⁴ (Důraz doplněn autory knihy.)

Všimněme si, že v uvedených citátech Sullivana, Einsteina a Gaffrona je spojitost přírodních dějů předmětem *touhy, dojmu, preferencí volby* nebo *přání*. To je důležité pochopit, protože toto přání se nesplnilo; velká kvantová revoluce rozptýlila představu, že kontinuita je ve vědě nezbytná. De Broglie, jeden z průkopníků nové fyziky, uvedl: "Toho dne, kdy byla do vědy pokradmu uvedena kvanta, otrásla se obrovská a velkolepá konstrukce klasické fyziky v samých základech."⁴⁵ Také pokroky v astronomii, zaznamenané Robertem Jastrowem,⁴⁶ ozřejmily existenci diskontinuity na počátku světa. Ve skutečnosti zřejmě neexistuje dobrý důvod pro předpoklad, že by počáteční nespojitost podkopala vědecké chápání chodu světa. Pro vědu není v tomto smyslu zajímavý vznik světa, ale procesy v něm probíhající. Z tohoto vývoje vědy je tedy zřejmé, že nespojitost není jediným důvodem, proč je pro mnoho vědců obtížné přijmout myšlenku stvoření.

(3) Stvoření by mohlo zničit vědecké pátrání po vědění. I když vnitřní uspořádání vědy a samotní vědci přežili poznání, že jádrem reality je nespojitost, nezmenšuje se tím podezření, že by přijetí stvoření vedlo k útlumu pátrání po poznání. Zničila by ale myšlenka stvoření vědecké hledání a přivedla tak vědu k jejímu konci?

Než odpovíme na tuto otázku, bude nezbytné se zamyslet nad podstatou vědy.

Operační věda a hypotéza o Bohu

Je obecně známo, že moderní věda se již od svého počátku zabývá hledáním a popisováním uspořádané struktury opakujících se událostí v přírodě. Za tím účelem se používá dobře definovaná metoda. Pomocí pozorování a pokusů jsou nashromážděny údaje, na jejichž základě jsou navrženy teorie, které vysvětlují mechanismus nebo působení zkoumaných jevů. Podle obecně přijímaných zásad musí platná vědecká teorie splňovat tři kritéria:⁴⁷

- 1) Schopnost vysvětlit to, co bylo pozorováno.
- 2) Schopnost vysvětlit to, co ještě nebylo pozorováno.
- 3) Možnost ověření dalšími pokusy a případné modifikace po nashromáždění nových údajů.

Avšak pozor! Tento přístup ověřování teorií je funkční jen v případě opakujících se událostí, na němž lze teorie ověřit nebo vyvrátit. Prostřednictvím opakovaných pozorování se zaměřujeme na skupinu událostí, které se sobě podobají. Rovnice, které popisují chování této skupiny, by měly být použitelné na všechny její členy. Představme si, že máme teorii o obíhání Země kolem Slunce a chystáme se ji ověřit tak, že předpovíme zatmění Slunce. Ačkoliv je předmětem pokusu konkrétní zatmění, výsledek lze použít pro zatmění Slunce jako obecnou skupinu jevů. Protože se pohyby nebeských těles opakují, můžeme tuto teorii ověřit. Takové teorie jsou označovány jako operační teorie, což znamená, že se vztahují ke stále probíhajícím pochodům ve vesmíru. Oblast operačních teorií budeme nazývat *operační vědou*, protože se tyto teorie zabývají opakujícími se jevy v přírodě. Mezi příklady operační vědy patří opakující se pohyb planet kolem Slunce, pohyb kyvadla, parabolická dráha dělové koule, postupný vývoj jediné buňky v plně rozvinutý organismus, opakující se krychlová struktura kuchyňské soli krystalizující z vodného roztoku nebo stěhování motýlů *Danaus plexippus*. Tyto a mnoho dalších jevů byly vysvětleny jazykem operační vědy. Vzhledem k tomu, jak je tento přístup známý a jak dlouhou a úspěšnou historii má, je jistě tím, co mají lidé na mysli, když uvažují o vědě.

V operační vědě je působení Boha zcela nelegitimní, protože podle definice by nadpřirozené působení Boha bylo uskutečněno Boží vůlí, a to nikoliv opakovaně. Nicméně je pravda, že při četných příležitostech se v historii vědy objevili mnozí, kteří se dovolávali hypotézy o Bohu, aby "vyřešili" komplikovaný problém nějakého probíhajícího procesu ve vesmíru, místo aby vyvinuli větší úsilí a hledali přirozené příčiny vysvětlení.

Podstatou použití hypotézy o Bohu je, že kdykoliv se objeví mezera v našich znalostech, využijeme Boha jako "herce malých rolí," který v naší hře "zaskočí" a tuto mezeru vyplní. Tento názor je známý pod výstižným označením God-of-the-gaps (Bůh mezer). Takové prostředky řešení problémů vyvolávají v operační vědě zasloužené znepokojení.

S klasickým příkladem tohoto přístupu k řešení vědeckého problému se lze setkat v životě velkého Isaaca Newtona, který se dovolával hypotézy o Bohu, aby vysvětlil určité anomálie na obloze. (Povšimněte si, že anomálie byla definována odkazem na Newtonův názor.) Později Laplace tyto rozpory dokonale vysvětlil pomocí přírodních zákonů. To bylo důležité, i když

bolestné ponaučení pro vědce. Tento názorný příklad podtrhuje příběh o francouzském císaři Napoleonovi, který se tázal Laplacea, kde v jeho rovnicích nachází své místo Bůh. Laplace odpověděl: "Pane, nepotřebuji tuto hypotézu."⁴⁸ Někteří tehdy nesprávně pochopili Laplaceovu odpověď, která jakoby vystupovala proti Bohu; byla však zcela na místě.

Věda o počátku

Porozumění vesmíru zahrnuje na druhé straně určité ojedinělé události, jakými jsou počátky. Na rozdíl od opakujících se procesů ve vesmíru, nemohou být tyto počátky opakovány pro účel pokusu. Například počátek života se nebude opakovat, abychom mohli ověřit naše teorie. Podle obvyklého jazyka vědy nemohou být teorie o počátcích (*věda o počátku*) vyvráceny empirickou zkouškou, i kdyby byly chybné, což je možné u teorií v operační vědě.

Jak jsou tedy počátky zkoumány? Metodický přístup je vhodně uzpůsoben, aby se zabýval neopakovatelnými jedinečnými událostmi. Jak je diskutováno v kapitole 11, výzkum počátků lze přirovnat k vyšetřování vraždy, jež se udála beze svědků. Scénáře rekonstrukce zde mohou být považovány za přijatelné nebo nepřijatelné. Hypotézy vědy o počátku však nejsou ověřitelné nebo vyvratitelné empiricky, protože den, kdy mohlo být pozorování provedeno, je dávno za námi. Na rozdíl od operační vědy, kde se pozornost zaměřuje na skupinu mnoha událostí, zabývá se věda počátku jedinečnou událostí, tedy třídou o jediném prvku.

Když Galileo předložil své názory na zrychlení (operační věda), nebyly pozorovatelé omezeni pouhou přijatelností. Mohli Galileovy výroky empiricky vyvrátit, kdyby byly chybné. Vždyť Pasteur mohl vyvrátit myšlenku samoplození jen proto, že spadala do oblasti operační vědy. Vhodné ověření v rámci přírody vyvrátilo teorii samoplození. Chybné představy o počátcích však lze při nejlepším označit za *nepřijatelné*. Z podstaty problému vyplývá, že jejich skutečné vyvrácení nepřichází v úvahu.

Navzdory tomu, že existuje takový rozdíl mezi vědou o počátku a operační vědou, je mu v současnosti věnována jen velmi malá pozornost a existuje téměř univerzální shoda vylučující boha z vědy o počátku stejně jako z operační vědy. To se děje bez jakékoliv předchozí analýzy problému, zda je toto vyloučení právoplatné i v případě vědy o počátku. To se zřejmě pouze předpokládá.

Příkladem takového vyloučení na základě předpokladu místo platných důkazů je Orgelovo tvrzení:

Jakýkoliv "živý" systém musí vzniknout buď jako následek dlouhých evolučních procesů nebo zázrakem... Protože, jakožto vědci, nesmíme postulovat zázrak, musíme předpokládat, že objevení "života" nezbytně předcházelo údobí evoluce.⁴⁹

Souhlasíme s Orgelem, že zázrak nesmí být předpokládán v případě operační vědy.* Nesouhlasíme však s Orgelem a dalšími v jejich předpokladu, že vyloučení boha z vědy o počátku je stejně právoplatné. To nebylo prokázáno.

* Kritická analýza dlouhotrvajících tendencí k vyloučení zázraku z moderního myšlení, viz Norman L. Geisler, 1982, *Miracles and Modern Thought*. Grand Rapids, Michigan: Zondervan Publishing House, kap. 1-8.

Není-li logicky rozlišováno mezi vědou o počátku a operační vědou, vznikají závažné a rozsáhlé následky. Bez tohoto rozlišení nevyhnutelně shrneme dohromady otázky teorií o počátku a operačních teorií, jako kdyby odpovědi na obě otázky byly hledány stejným způsobem a mohly být stejnou měrou známy. Pak, věrni ustálenému zvyku odmítat možnost nadpřirozeného vlivu na opakující se procesy v přírodě, odmítneme jeho možné působení i v otázkách vzniku. Setřetí rozdíl mezi těmito dvěma skupinami částečně vysvětluje obecně rozšířený názor, že vznik života ovlivněný bohem nesmí být vpuštěn do vědecké diskuze, aby nebyl podkopán důvod bádání, a ohroženo tak vědecké konání. Toto měl na mysli Preston Cloud, když poznamenal: "Nejvážnější hrozbou teorie stvoření je, že by v případě úspěšnosti ohrozila bádání."⁵⁰ Téhož problému se dotkl i Stansfield:

...stoupenec stvoření může snadno vysvětlit jakýkoliv jev jednoduchým tvrzením "Bůh to učinil." I když může být tento přístup v absolutním smyslu dokonale správný, nepodporuje další bádání, a je tedy intelektuálně oslabující.⁵¹

Pocit ohrožení vědeckého bádání a možného konce vědy je pochopitelný. My však pokládáme za sporné, zda by hypotéza o Bohu ve vědě o počátku měla nezbytně takový katastrofální účinek. Malá úvaha o historii vědy objasní ironii v současném stavu věci. Existuje totiž závažný důvod, proč lze pochybovat o tom, že věda (tj. operační věda) byla nějak poškozena postulováním Jedinečného stvoření stvořitelem mimo vesmír. Naopak se ukazuje, že právě tato myšlenka stvoření sehrála důležitou úlohu při vzniku moderní vědy. V tomto bodě se shodují i tak rozmanití autoři jako Alfred N. Whitehead,⁵² Melvin Calvin,⁵³ Michael B. Foster,⁵⁴ R. Hooykaas,⁵⁵ Loren Easley,⁵⁶ C.F. von Weizsacker,⁵⁷ Stanlay Jaki,⁵⁸ J. Robert Oppenheimer⁵⁹ a Langdon Gilkey.⁶⁰ Například Easley prohlásil:

Pouhý akt víry, že vesmír byl uspořádán a může tak být vysvětlen racionálním myšlením... Filozofie experimentální vědy... začala se svými objevy a používala své metody s vírou, nikoliv znalostí, že se zabývá racionálním vesmírem řízeným *Stvořitelem, který se ani neřídil rozmarem, ani nezasahuje do sil, které sám uvedl do chodu.* Experimentální metoda uspěla nad nejdivočejší lidské sny, ale víra, která to uskutečnila, dluží cosi křesťanské představě o přírodě stvořené Bohem. To je jistě jeden z nejkurióznějších paradoxů v historii, že věda, která má odborně málo co do činění s vírou, vděčí za svůj vznik víře, že vesmír může být vysvětlován rozumově, a že dnešní věda je tímto předpokladem stále udržována.⁶¹ (Důraz dodán autory knihy.)

Všimněme si, že zatímco Eisley neidentifikoval rozdíl mezi operační vědou a vědou o počátku, vyplývá tento rozdíl z jeho vysvětlení, že velmi mnoho dobré vědy bylo uděláno prvními moderními vědci, kteří připustili alespoň nějakou diskontinuitu, tj. vznik hmoty, vesmíru a života.

Bylo by ironické, kdyby právě myšlenka stvoření, která dodala mnoho energie a motivace pro vznik moderní vědy (a učinila tak dosti energicky) měla vést k zániku téže vědy. Pokud člověk uzná a dodrží uvedený rozdíl mezi vědou o počátku a operační vědou, neexistuje podle našeho názoru žádný důvod k obavám, že by Jedinečné stvoření mělo onen předpovězený katastrofální účinek. Je však třeba dávat pozor, aby byla dodržována tradice prvních moderních vědců a *neuznáván* jakýkoliv boží zásah do operační vědy.

Proč je tedy Jedinečné stvoření tak globálně odmítáno téměř všemi autory, i když se připouští jako teoretická alternativa vzniku života? Naše analýza naznačuje, že právě nedostatek rozlišení mezi vědou o počátku a operační vědou přivedlo mnohé k odmítnutí stvoření. Domníváme se také, že věc komplikuje ještě jiný faktor, který si zasluhuje podrobnější diskusi. Je jisté, že záležitost diskontinuity a možného zániku vědy, o níž jsme diskutovali dříve, tvoří část tohoto důvodu. Ale neměli bychom přehlížet naši vlastní lidskou podstatu a úlohu metafyzického myšlení v otázce vzniku života.

Metafyzika a vznik života

Hilde Hein říká ve své knize *On the Nature and Origin of Life (O podstatě a vzniku života)*, že "metafyzický názor... vytváří tvrzení o realitě, které má určitým způsobem prioritu nebo je podstatnější než naše vědecké nebo obecně uvědomované pozorování."⁶² Jakým způsobem dojdeme k těmto metafyzickým názorům nás v tuto chvíli nezajímá. Hein však pokračuje:

jakmile se tento názor stane součástí našeho myšlení, bude utvářet naše vědecké nebo obecně rozumové postřehy spíše, než by jimi byl formován... Lze tedy vcelku říci, že naše metafyzické názory mají prioritu nad naším vědeckým a obecně rozumovým přesvědčením. Dojde-li ke střetu, vítězí tedy spíše metafyzický názor.⁶³

Mohlo by se zdát, že ovládají-li nás metafyzické názory takovýmto způsobem, bylo by nejjednodušší podívat se na realitu přímo, ne skrze brýle metafyziky. Tuto možnost výběru však nemáme. Nádherné staré časy pozitivismu, kdy to lidé skutečně považovali za možné, jsou pryč.

Vědecký pokrok na počátku tohoto století, zejména v oblasti relativity a kvantové fyziky, ukázal, že věda bez předpokladů je smyšlenka. Vlivné práce autorů jako je Polanyi,⁶⁴ Popper,⁶⁵ Kuhn,⁶⁶ Toulmin⁶⁷ a další naprosto jasně prokázaly, že kvůli úloze pozorovatele, který ve skutečnosti objekt během pozorování ovlivňuje, je obtížné, aby byla objektivní realita objektivně poznána.

Staré mýty však umírají těžce. Ačkoliv nové poznatky vědy a filozofie z počátku tohoto století prosakují do společnosti, je jejich vliv v určitých směrech minimální a to s sebou přináší nebezpečné důsledky. David Bohm napsal:

Je zřejmé, že v každém z nás je trochu metafyziky, i když si to nepřipouštíme. Rozhodně praktický "realista", který "se řídí jen tím, co vidí," má v sobě všeobecně velmi nebezpečný druh metafyziky, takový, kterého si není vědom... Taková metafyzika je nebezpečná, protože omylem pokládá předpoklady a závěry za přímo pozorovaná fakta a účinně je zabudovává v téměř nezměněné podobě do struktury myšlení.⁶⁸

Bohm pak přidává praktickou radu:

Jeden z nejlepších způsobů, jak si člověk uvědomí své vlastní nevyslovené metafyzické domněnky, je konfrontace s několika jinými přístupy. Jeho první reakcí je často prudké vzrušení, když názory, které považuje za cenné, jsou pokládány za sporné nebo jsou zavrženy. Jestliže však "vytrvá" spíše, než aby se rozhněval a neoprávněně odmítl protikladné myšlenky, zjistí, že byl tento nepříjemný zásah velmi užitečný. V tomto okamžiku si totiž uvědomí, že velmi mnoho zdánlivě nesporných rysů jeho vlastního myšlení stojí na pouhém předpokladu.⁶⁹

Domníváme se, že Bohm má naprostou pravdu. Je v zájmu vědy nezakrývat své metafyzické předpoklady. Jaké jsou však základní metafyzické alternativy v otázce vzniku života? Historicky byly označovány jako teismus a naturalismus. Pro jednoduchost uvádíme, že teismus potvrzuje základní rozdíl

mezi Stvořitelem a stvořením, kdežto naturalismus tento absolutní rozdíl popírá a popisuje veškerou realitu z hlediska toho, co teisté považují za aspekty stvořeného světa.*

* Západní naturalismus obvykle popisuje svět materiálními termíny, zatímco východní naturalismus klade důraz na termíny duchovní. Obě tyto velké tradice naturalismu se vyznačují tím, že popírají *absolutního* Stvořitele, který by byl odlišný od stvoření, i když, jak jsme viděli na názoru Hoyleho a Wickramasingheho, je stvořitel někdy připouštěn jako existence v rámci vesmíru.

Metafyzický naturalismus vidí původ života v samoplození (abiogeneze), teismus* pak v Jedinečném stvoření. Z toho, co Bohm řekl, vyplývá, že bychom si pravděpodobně do značné míry uvědomili sami sebe a své individuální názory, kdybychom je v otázce počátků konfrontovali s teismem a naturalismem. Diskuze mezi teismem a naturalismem je velmi často označována jako konflikt mezi náboženstvím (tj. nadpřirozenem) a vědou. Ian Barbour však ukázal, že to je chybné označení. "Jedná se o konflikt mezi dvěma metafyzickými výklady podstaty reality a smyslu lidského života."⁷⁰

* Rozdíly v rámci teismu jsou mimo rámec této práce.

Metafyzický postoj vs. nerozumnost

Ovládají-li metafyzická stanoviska naše myšlení takovým způsobem, jak naznačovala Hein, vyvolává to praktickou otázku. Kdy je možné pochválit za metafyzický postoj a kdy pohanět za nerozumnou víru, jedná-li se o rozporuplné důkazy? Odpověď závisí velkou měrou na již přijatém metafyzickém postoji. K dokreslení uvedme poznámku George Walda k tomu, jaká byla odezva biologů na Pasteurovo vyvrácení samoplození. Wald řekl:

Vyprávíme tento příběh [o Pasteurových pokusech] začínajícím studentům biologie, jako kdyby představoval velké vítězství rozumu nad mystikou. Ve skutečnosti je tomu téměř naopak. Rozumným názorem bylo věřit v samoplození; jedinou alternativou je věřit v jedinečný prvotní akt nadpřirozeného stvoření. Neexistuje žádné třetí stanovisko.⁷¹

Wald říká, že je někdy zřejmě *nerozumné* držet se směru, který naznačují důkazy. Kdy však? Tehdy, ukazují-li k nadpřirozeným jevům. To je jeden z příkladů metafyzického příklonu k naturalismu tváří v tvář důkazům, které mu protiřečí. Clair E. Folsome⁷² představuje jiný příklad metafyzické oddanosti naturalismu navzdory odporujícím důkazům. Folsome kritizoval abiogenezi, kterou Wald podporoval. Folsome upozornil na extrémní zředění prebiotické polévky, nedostatek organického dusíku v dávných sedimentech a vážné nedostatky v

koncentračním mechanismu navrhovaném pro prebiotické vodní nádrže. Dále uvedl: "Pokaždé, když prověřujeme jednotlivé aspekty teorií, které předložili Oparin a Bernal, zdá se, že jim současné informace odporují."⁷³ Pochybuje snad Folsome o věrohodnosti Oparinovy-Bernalovy hypotézy? Ne.

V tomto případě by totiž také bylo zjevně *nerozumné* sledovat směr naznačený důkazy. Místo toho vyjadřuje Folsome svůj postoj, "nicméně, v tom hlavním *měli pravdu* [v tvrzení, že se určitý druh chemické evoluce uskutečnil]... jejich modely byly chybné, ale ústřední myšlenka, kterou sledovali, je nyní snad ještě *správnější* než dříve."⁷⁴ (Důraz doplněn autory knihy.)

Stoupenci stvoření samozřejmě projevují podobnou náklonnost teismu, i když podobně jako Wald a Folsome se nevyjadřují ke svému metafyzickému postoji. Nebudeme se zabývat prokazováním tohoto postoje u teismu, protože je obecně uznáván.

Jedinečné stvoření a důkazy

Jedinečné stvoření stvořitelem mimo vesmír předpokládá připravenou Zemi s oxidujícími podmínkami, Zemi přichystanou na přijetí života. Je pak výmluvné, že se hromadí důkazy pro oxidující prostředí dávné Země a její atmosféry. Jestliže byla dávná Země skutečně oxidující, nejen že by to podporovalo myšlenku stvoření, bylo by zároveň obtížné si představit chemickou evoluci. Podobně krátký časový interval (méně než 170 milionů let) mezi ochladnutím zemského povrchu a nejstarším důkazem života podporuje myšlenku stvoření. A samozřejmě, jestliže byl život skutečně stvořen, vysvětlovalo by to přítomnost tak malého množství dusíku v sedimentech prekambria (nikdy tam nebyla prebiotická polévka). Nadto je Jedinečné stvoření v souladu s pozorovanou hranicí mezi tím, co bylo dosaženo v laboratoři abiotickou cestou a tím, co bylo vytvořeno pouze vlivem zásahu badatele. Pokud první život vytvořil inteligentní Stvořitel, pak může být docela dobře pravda, že tato v laboratoři pozorovaná hranice je skutečná a bude existovat nezávisle na experimentálním vývoji nebo nových objevech o přírodních dějích. Lze si také představit, že by inteligentní Stvořitel mohl vykonat celou značnou konfigurační entropickou práci nezbytnou k vybudování informačních makromolekul a vytvoření skutečných buněk. Jak řekl Fong:

Otázka prapůvodního zdroje informací není nepodstatná. Ve skutečnosti je to základní a centrální filosofický a teoretický problém. Podstatou teorie Božího stvoření je, že prapůvodní zdroj informací existoval vždy samostatně a nezávisle mimo hmotný vesmír a před ním, což je hlavní myšlenkou prologu Janova evangelia.⁷⁵

Sotva bude někdo popírat, že inteligentní Stvořitel *mohl* připravit Zemi s oxidujícími podmínkami a stvořit život. Dříve diskutované informace se samozřejmě shodují (a slučují) s touto myšlenkou Jedinečného stvoření. Co bychom pochopitelně rádi věděli, je, zda inteligentní Stvořitel skutečně *stvořil* život. Odpověď na tuto otázku leží bohužel mimo rámec schopností vědy. Otázkou, která však může být zodpovězena, je, zda je myšlenka Jedinečného stvoření přijatelná.

Věrohodnost a stvoření

Při několika příležitostech jsme uvedli, že hypotézy vědy o počátku mohou být kriticky analyzovány z hlediska své věrohodnosti, ale vyvrácení, které patří do jazyka operační vědy, zde nenalezne své místo. Jak lze tedy určit, zda je scénář vědy o počátku věrohodný? Jsou při tom používány principy příčinnosti a jednotnosti. *Příčiny*, to jsou nezbytné a postačující podmínky, které jsou samy dostatečným vysvětlením výskytu dané události. Princip *jednotnosti* znamená, že jestliže dnes určité příčiny vyvolávají určité následky, můžeme spoléhat na to, že tytéž následky vyvolávaly i v minulosti. Můžeme se vrátit zpět do minulosti s určitou mírou věrohodnosti pouze za předpokladu, že má-li určitá příčina v současnosti určitý následek, musela ho mít i v minulosti. Jinak řečeno, "současnost je klíčem k minulosti."

Jak jsme již viděli, získali tímto způsobem vědci rekonstruovaný scénář prebiotické Země. To, co v rámci vědy o počátku dělá názory abiogeneze legitimními, je předpokládaná legitimita tohoto principu příčin a následků a principu jednotnosti.

Dilema chemické evoluce spočívá v neschopnosti předložit jediný soudobý příklad specifické složitosti (což je odlišné od uspořádanosti, viz kapitola 8), který by byl důsledkem abiotických příčin. Proto, aby byla tato teorie podepřena, bylo by třeba v *současnosti* nalézt abiotickou příčinu specifické složitosti. To by se stalo základem pro extrapolaci do minulosti jako myslitelná abiotická příčina dodávající konfigurační entropickou práci při syntéze prvotních DNA, bílkovin a buněk. Neschopnost identifikovat takové soudobé abiotické příčiny specifické složitosti je jen další způsob podpory našeho závěru, že chemická evoluce je nepřijatelná hypotéza.

Využívá ale stvoření princip příčiny a následku a princip jednotnosti? Ano. Ve skutečnosti se na ně obrací jako na jediný způsob, jak je možné věrohodně rekonstruovat minulost. Uvažme například případ zkoumání informační molekuly DNA. V současnosti máme důkazy založené na pozorování, že inteligentní badatel může (a také to dělá) vytvořit zařízení k

vedení energie nenáhodnými chemickými cestami tak, aby byla provedena určitá složitá chemická syntéza, nebo dokonce vytvořen gen. Nemůže pak být použit princip jednotnosti v rámci obecnějších úvah k vytvoření předpokladu, že na počátku DNA byla inteligentní příčina? Obvyklá odpověď zní ne. Ale přinejmenším teoreticky by se zdálo, že by odpověď měla být ano, abychom se vyvarovali obvinění, že nadržujeme naturalismu.

Víme, že v četných případech mají vždy určité následky příčiny v inteligenci, například slovníky, sochy, stroje a obrazy. Analogicky usuzujeme, že podobné jevy mají také příčinu v inteligenci. Podíváme-li se nahoru a uvidíme nápis "KUPTE SI FORDA" napsaný kouřem přes oblohu, usoudíme na přítomnost osoby tvořící reklamy na obloze, i když jsme neslyšeli ani neviděli žádné letadlo. Podobně bychom usoudili na působení inteligence, když bychom objevili strom ve tvaru slona v cedrovém lese.

Podobným způsobem by byla smysluplná komunikace prostřednictvím radiových signálů z nějaké vzdálené galaxie obecně považována za důkaz inteligentního zdroje. Proč tedy sekvence obsahující informaci v molekule DNA netvoří *prima facie* důkaz inteligentní příčiny? Konec konců informace DNA není jen analogická zakódovaná zpráva, např. v Morseově abecedě. Ona skutečně je takovou zprávou.⁷⁶ Tak zvané Shannonovy informační zákony platí stejně tak pro genetický kód jako pro Morseovu abecedu. Dále: naše znalosti o inteligenci byly tradičně omezeny na organismy vytvořené na biologickém základě. Někteří však v současné době tvrdí, že inteligence existuje i ve složitém nebiologickém počítačovém systému. Jestliže jsme takto schopni si představit inteligenci existující mimo biologii, proč nejsme schopni přijmout představu existence inteligentního jsočina před počátkem biologického života?⁷⁷

Domníváme se, že je-li nastolena tato otázka, ukáže se, že téměř pokaždé je zodpovězena záporně jednoduše proto, protože uvést Stvořitele do vědy je pokládáno za nepatřičné.

Uvedená diskuze není míněna jako vědecký důkaz Stvořitele, ale je pouze linií uvažování, které ukazuje, že Jedinečné stvoření stvořitelem mimo vesmír je věrohodným názorem vědy o počátku.

Metafyzická tolerance: disciplína pokroku

Po pravdě řečeno, když začneme zkoumat metafyzické otázky obklopující vznik života, objeví se citlivé problémy. Neexistuje však jednoduchý způsob řešení těchto problémů. Jediná spolehlivá cesta je obtížná. Vyžaduje od nás, abychom dočasně opustili naše osobní názory a volby a pokořili se

natolik, abychom mohli posuzovat informace z jiných metafyzických pozic. Musíme to udělat v poznání, že pravda o počátcích zůstává pravdou nezávisle na tom, jakou metafyzickou pozici zastáváme. Jak si povšiml Melvin Calvin: "Skutečný student bude hledat důkazy, aby zjistil skutečnost spíše než aby potvrdil svou vlastní představu o pravdě; pravda totiž platí, ať už je objevena nebo ne."⁷⁸ Problém při sledování těchto metafyzických záležitostí je v tom, že mu vědci přikládají vcelku velmi malý význam. Po zrození moderní vědy v 17. století se koncem 19. století stalo zaběhaným zvykem oddělovat vědu a metafyziku do izolovaných, myšlenkově uzavřených oblastí. Zdálo se, že vše funguje správně, neboť poté, co se zrodila věda, vědečtí praktici mohli pracovat, aniž by si uvědomovali metafyzickou podstatu svého počínání. Moderní vědecká tradice se z velké části vyvinula v oblasti, kterou označujeme jako operační vědu, s jejím důrazem na opakující se jevy a ověřitelné hypotézy. Následkem setrvačnosti tohoto odkazu působí ve vědecké praxi jen několik aktivních vědců, kteří si zjevně uvědomují její metafyzický základ. Proto, když se nyní potřebujeme vypořádat s metafyzickou sférou, abychom porozuměli vědě o počátku, existuje ve vědě jen málo takto kvalifikovaných odborníků. Domníváme se, že toto je hlavní důvod, proč je stvoření v oblasti vědy o počátku mnohými posuzováno s tak hlubokou nedůvěrou a většinou jednoduše pominuto.

Požaduje-li se na nás, abychom zvážili "nekonvenční" nebo "neobvyklé" myšlenky, například Jedinečné stvoření, což se přihodilo autorům právě před několika lety, je typickou odpovědí to, o čem se zmínil Bohm v dříve uvedeném citátu. "Jeho první reakcí je často prudké vzrušení." To byla také naše reakce. Avšak jak Bohm pokračuje ve výroku: jestliže člověk má dobrou vůli "pokračovat v bádání spíše, než aby se rozhněval a neoprávněně odmítl protikladné myšlenky... uvědomí si, že velmi mnoho zdánlivě nesporných rysů jeho vlastního myšlení stojí na pouhém předpokladu."

Proces, který Bohm popsal, může být někdy bolestivý (a byl takový i pro jednoho z autorů), ale hledání pravdy nebylo nikdy snadné a je z mnoha příkladů známo, že činí člověka nepopulárním.

Po pravdě řečeno ne každý, kdo se zabývá touto záležitostí, se stane stoupencem teorie stvoření, jako jsme se jimi stali my. Jak však říkají Davis a Solomon ve své knize *World of Biology* (Svět biologie):

Nedokážeme si představit, že by posloužilo pravdě, kdyby byly nepopulární, nebo méně rozšířené myšlenky udržovány v tajnosti... Klamně argumenty mohou být odkryty jen při jejich přezkoumání. Nic není tak nevědeckého, jako způsob myšlení

inkvizice, která myslela, že slouží pravdě tím, že potlačuje nebo skrývá názorový nesoulad místo toho, aby se s ním otevřeně vypořádala.⁷⁹

Stejně jako při soudním řízení před porotou (analogie diskutovaná v kapitole 11) musejí být podle našeho názoru uváženy i zde oba póly otázky vzniku (tj. představitelé obou metafyzických kategorií), protože ve vědě o počátku neexistuje způsob, jak ověřit myšlenky vzniku na opakovaném ději (děj se podle definice neopakuje). Problém bude rozhodnut na základě věrohodnosti, ne vyvratitelnosti. V historii existuje dobrý příklad takového přístupu. Charles Darwin řekl ve svém úvodu ke knize *The Origin of Species (O původu druhů)*:

Jsem si totiž dobře vědom, že v tomto díle není diskutován snad ani jediný problém, který by nebyl podpořen fakty, jež často zdánlivě vedou k opačným závěrům než jsou ty, k nimž jsem dospěl. *Poctivý výsledek může být získán jen úplným vysvětlením a porovnáním faktů a argumentů, které stojí na opačných pólech každého problému, a to je v tomto případě nemožné.*⁸¹ (Důraz doplněn autory knihy.)

Uvedené myšlenky vědy o počátku z obou metafyzických kategorií - teismu a naturalismu - nám poskytují příležitost zvolit nejpříjemnější názor z celého teoretického spektra a kromě toho nám také pomohou si uvědomit:

- naše vlastní stanovisko a proč jej zastáváme
- slabá místa a nevýhody našeho stanoviska
- potřebu tolerance jiných stanovisek a
- hranice vědy.

V tomto doslovu jsme chtěli nekonfrontačním způsobem osvětlit sporné body mezi různými koncepcemi vzniku života. Čtenář sám může posoudit, zda se nám to podařilo. Studium historie vědy nás poučilo přinejmenším o jedné věci: pokud nedojde k pokroku v uznání úlohy metafyzického myšlení a v používání tohoto myšlení, spory o původ života budou pokračovat s neztenčenou silou, přičemž ani jedna strana nebude druhé naslouchat, nebo se snažit o porozumění. Ti vědci, kteří neberou v úvahu úlohu metafyzického myšlení, budou i nadále jednat, jakoby bylo možné získávat a chápat data jako neutrální skutečnost, jež není ovlivněna jejich přístupem. Doufejme, že lev pozitivismu zařval naposledy a že se můžeme poučit z vývoje filozofie a vědy od Darwinových dob. Pokud se poučíme z našich chyb, budou naše budoucí debaty mnohem konstruktivnější. K tomuto cíli směřujeme.

Literatura

1. W.M. Elsasser, 1958. *Physical Foundation of Biology*. New York a London: Pergamon Press; 1966. *Atom and Organism*. Princeton University Press.
2. M.A. Garstens, 1969. V *Towards a Theoretical Biology*, "Statistical Mechanics and Theoretical Biology," **2**, 285 a "Remarks on statistical mechanics and theoretical biology," **3**, 167, ed. C.H. Waddington. Edinburgh University Press.
3. P.T. Mora, *Nature* **199**, 212.
4. E.P. Wigner, 1961. "The Probability of the Existence of a Self-Reproducing Unit," v *The Logic of Personal Knowledge*, stati věnované M. Polanyimu, ed. Edwards Shils. London: Routledge a Kegan Paul, str. 231.
5. J. von Neumann, 1932. *Mathematische Grundlagen der Quantenmechanik*. Berlin: Julius Springer, Berlin, (anglický překlad: 1955. Princeton: Princeton University Press, kapitola 5.)
6. Wigner, str. 235.
7. P.T. Landsberg, 1964. *Nature* **203**, 928.
8. M. Polanyi, 21. srpna 1967. "Life Transcending Chemistry and Physics," *Chem. Eng. News*, str. 54.
9. C. Longuet-Higgins, 1969. "What Biology is About," v *Towards a Theoretical Biology*, **2**, 227, ed. C.H. Waddington, Edinburgh University Press.
10. E. Schrödinger, 1945. *What is Life?* London: Cambridge University Press a New York: MacMillan.
11. H.H. Pattee v *Towards a Theoretical Biology* "The Physical Basis of Coding and Reliability in Biological Evolution," **2**, 268. "The Problems of Biological Hierarchy," **3**, 117. "Laws and Constraints, Symbols and Languages," **4**, 248. Ed. C.H. Waddington.
12. D. Bohm, 1969. "Some Remarks on the Notion of Order," v *Towards a Theoretical Biology* **2**, 18, ed. C.H. Waddington. Edinburgh: University Press.
13. S. Arrhenius, 1908. *Worlds in the Making*. New York: Harper a Row.

14. J. Brooks a G. Shaw, 1973. *Origin and Development of Living Systems*. London a New York: Academic Press, str. 360.
15. F. Hoyle a N.C. Wickramasinghe, 1978. *LifecLOUD*. London: J.M. Dent; 1979. *Diseases From Space*, London: J.M. Dent; 1981. *Space Travelers: The Bringers of Life*, Cardiff: University of Cardiff Press; 1981. *Evolution From Space*, London, J.M. Dent.
16. C. Ponnampereuma, 10. ledna 1979. Uvedeno v "Odds Favor Life Beyond the Earth, "Knight-Ridder News Wire; *Dallas Times Herald*, B3.
17. F.H.C. Crick a L.E. Orgel, 1973. *Icarus* **19**, 341.
18. J.A. Ball, 1973. *Icarus* **19**, 347.
19. T. Gold, květen 1960. *Air Force and Space Digest*, str. 65.
20. Brooks a Shaw, str. 360.
21. A. Dauvillier, 1965. *The Photochemical Origin of Life*. New York: Academic Press, str. 2.
22. Francis Crick, 1981. *Life Itself*. New York: Simon a Schuster, str. 79.
23. Tamtéž, str. 144.
24. Tamtéž, str. 153.
25. Robert T. Rood a James S. Trefil, 1981. *Are We Alone?* New York: Charles Scribners a Sons; I.S. Shklovskii a Carl Sagan, 1966. *Intelligent Life in the Universe*. San Francisco: Holden Day; Frank Tipler, duben 1981. *Physics Today* **34**, č.4, str. 9.
26. Tipler, str. 71.
27. Tipler, str. 71.
28. Hoyle a Wickramasinghe, *Evolution From Space*.
29. Tamtéž, str. 148, 24, 150, 30, 31.
30. Tamtéž, str. 143, 130, 130, 96, 96, 130.
31. Tamtéž, str. 33.
32. Tamtéž, str. 130, 147.
33. Tamtéž, str. 51.

34. Tamtéž, str. 31, 139.
35. Tamtéž, str. 126.
36. Tamtéž, str. 127.
37. Tamtéž, str. 127.
38. Tamtéž, str. 127.
39. J.D. Bernal, 1967. *The Origin of Life*. London: George Weidenfield a Nicholson, str. 141.
40. J.W.N. Sullivan, 1933. *The Limitations of Science*. New York: The Viking Press, 1949. New York: Mentor Books, 11. tisk 1963. Datování na zadní straně přebalu vydání Mentor Books, 1963.
41. Tamtéž, str. 94.
42. Tamtéž, str. 94.
43. A. Einstein, uvedeno v R. Jastrow, 1978. *God and the Astronomers*. New York: W.W. Norton & Company, str. 113.
44. Hans Gaffron, 1960. V Sol. Tax., ed., *Evolution After Darwin*, Chicago: ed. Sol Tax, University of Chicago Press, díl 1., str. 45.
45. Louis de Broglie, 1953. *The Revolution in Physics*. New York: Noonday Press, New York, str. 14.
46. Robert Jastrow, *God and the Astronomers*.
47. Stanovisko National Science Teachers Association, duben 1981. "Inclusion of Nonscience Theories in Science Instruction," *The Science Teacher*, str. 33.
48. Simon Laplace, uvedeno v E.T. Bell, 1937. *Men of Mathematics*. New York: Simon a Schuster, str. 181.
49. L.E. Orgel, 1973. *The Origin of Life*. John Willey a Sons, Inc., New York, str. 192.
50. Preston Cloud, 1978. V *A Compendium of Information of tje Theory of Evolution and the Evolution-Creationism Controversy*, ed. Jerry P. Lightner, vydalo National Association of Biology Teachers, 11250 Roger Bacon Drive, Reston, VA 22090, str. 83.

51. William Stansfield, 1977. *The Science of Evolution*. New York: MacMillan, str. 10.
52. A.N. Whitehead, 1967 (původně publikováno 1925). *Science and the Modern World*. New York: The Free Press, kapitola 1.
53. Melvin Calvin, 1969. *Chemical Evolution*. New York: Oxford University Press, str. 258.
54. M.B. Foster, 1934. *Mind* **43**, 446.
55. R. Hooykaas, 1972. *Religion and the Rise of Modern Science*. Grand Rapids, Michigan: Wm. B. Erdmans.
56. Loren Eiseley, 1961. *Darwin' Century: Evolution and the Men Who Discovered It*. Garden City, New York: Doubleday, Anchor, str. 62.
57. C.F. von Weizsacker, 1964. *The Relevance of Physics*. New York: Harper a Row, str. 163.
58. Stanley Jaki, 1974. *Science and Creation*. Edinburgh a London: Scottish Academic Press.
59. J. Robert Oppenheimer. *Encounter*, říjen 1962.
60. Langdon Gilkey, 1959. *Maker of Heaven and Earth*. Garden City, New York: Doubleday, Anchor, str. 9, 125, 129ff.
61. Eiseley, str. 62.
62. Hilde Hein, 1971. *On the Nature and Origin of Life*. New York: McGraw-Hill, str. 93.
63. Tamtéž, str. 93.
64. Michael Polanyi, 1958. *Personal Knowledge*. New York: Harper a Row.
65. Karl Popper, 1959. *The Logic of Scientific Discovery*. New York: Basic Books; 1962. *Conjectures and Refutations: The Growth of Scientific Knowledge*. New York: Basic Books.
66. Thomas S. Kuhn, 1970. *The Structure of Scientific Revolutions*. 2. vydání. Chicago: University of Chicago Press.
67. Stephen Toulmin, 1963. *Foresight and Understanding*. New York: Harper Torchbook.
68. D. Bohm, str. 41.

69. Tamtéž, str. 42.
70. Ian G. Barbour, 1960. V *Science Ponders Religion*. New York: Appleton-Century-Crofts, str. 200.
71. George Wald, 1979. "The Origin of Life," v *Life: Origin and Evolution*, předmluvu napsal Clair Edwin Folsome. San Francisco: W.H. Freeman, str. 47.
72. Clair Edwin Folsome, 1979. Předmluva k *Life: Origin and Evolution*. San Francisco: W.H. Freeman, str. 2-4.
73. Tamtéž, str. 3.
74. Tamtéž, str. 3.
75. P. Fong, 1973. V *Bigenesis, Evolution, Homeostasis*. Ed. A. Locker. New York: Springer-Verlag, str. 93.
76. H.P. Yockey, 1981. *J. Theoret. Biol.* **91**, 13.
77. A.E. Wilder Smith, 1970. *The Creation of Life*. Wheaton, Illinois: Harold Shaw Publishers, 161ff.
78. Melvin Calvin, str. 252.
79. P. William Davis a E. Pearl Solomon, 1974. *The World of Biology*. New York: McGraw-Hill, str. 414.
80. J. Bergman, 1979. *Teaching about the Creation/Evolution Controversy*, Fastback č. 134, Phi Delta Kappa Educational Foundation, Bloomington, Indiana.
81. Charles Darwin, 1963. *The Origin of Species*, předmluvu napsal Hamton L. Carson. New York: Washington Square Press, Darwin's Introduction, XXXLV.
-

DODATEK 1

Alternativní výpočet celkové práce tvorby bílkoviny

V kapitole 8 byl počet jedinečných neboli odlišitelných sekvencí polymeru Ω_k počítán podle rovnice 8-7. Alternativní, avšak rovnocenný přístup, který uvedli Brillouin¹ a Yockey², bere v úvahu počet odlišných symbolů, které mohou být inkorporovány do každého místa polymeru. Celkový počet možných sekvencí je pak výsledkem počtu symbolů umocněným počtem míst v sekvenci:

$$\Omega_k = i^N \text{ (dod. 1-1)}$$

kde typické hodnoty pro i a N byly již uvedeny v kapitole 8.

Tento vztah vychází z předpokladu, že všechny symboly i jsou stejně pravděpodobné. Podobný vztah lze odvodit pro symboly, které mají odlišnou a ne rovnocennou pravděpodobnost.³ Počet sekvencí vypočítaných podle rovnice dod. 1-1 bude vždy větší než výsledek rovnice 8-7, protože lze do ní doplnit různé soubory $n_1 + n_2 + n_3 \dots + n_i = N$ spíše než jednu skupinu hodnot n_i , kterou připouští rovnice 8-7. Ve skutečnosti lze ukázat, že vypočítáme-li rovnici 8-7 pro každý z možných souborů $n_1 + n_2 + n_3 \dots + n_i = N$, pak součet získaných výsledků bude odpovídat hodnotě, kterou získáme přímo podle rovnice dod. 1-1.

Uvažujme hypotetický protein o délce 100 zbytků 20 různých aminokyselin ($N = 100$, $i = 20$) a předpokládejme, že každá z dvaceti aminokyselin je v proteinu zastoupena stejným počtem molekul, tj. 5. Dosazením do rovnice 8-7 lze vypočítat, že počet odlišných sekvencí této skupiny aminokyselin by byl $1,28 \times 10^{115}$. Budeme-li předpokládat, že se počet molekul každé aminokyseliny může pohybovat v rozmezí 0 - 100, a pokud platí $20n_i = 100$ ($i = 1$), pak jsou možné další odlišné sekvence. Ke $1,28 \times 10^{115}$ možným sekvencím pro $n_1 = n_2 = \dots n_{20} = 5$ by byly pak připočteny další odlišné sekvence, např. pro $n_1 = 3$, $n_2 = 7$, $n_3 = n_4 \dots n_{20} = 5$ a pro všechny ostatní možné kombinace n_i . Součet těchto všech odlišných sekvencí lze vypočítat pomocí rovnice dod. 1-1:

$$\Omega_k = i^N = 20^{100} = 1,26 \times 10^{130}$$

Yockey⁴ provedl přesnější analýzu cytochromu c, proteinu, který má u různých živočichů různě pozměněnou strukturu. Upravil rovnici 8-7 vzhledem k nerovnocenným pravděpodobnostem výskytu všech aminokyselin, který vyplynul z pozorovaných frekvencí zastoupení ve skutečných bílkovinách. Spočítal množství odlišných sekvencí 101 aminokyseliny na $1,8 \times 10^{126}$. Tato hodnota se nachází mezi předchozími odhady, tj. $1,28 \times 10^{115}$ podle rovnice 8-7 a $1,26 \times 10^{130}$ podle rovnice dod. 1-1. Nyní je zřejmé, že rovnice 8-7 hůře vystihuje počet odlišných sekvencí pozorovaných v daném polypeptidu, protože omezuje úvahu na skupinu n_i hodnot pozorovaných v polypeptidech se specifickou sekvencí, neboli proteinech. Rovnice 8-7 bude tedy ve zbývajících částech naší knihy použita pro získávání nižších odhadů Ω_k .

Literatura

1. L. Brillouin, 1951. *J.Appl.Phys.* **22**, 338.
 2. Hubert P. Yockey, 1977. *J.Theoret.Biol.* **67**, 377.
 3. C. Shannon, 1948. *Mathematical Theory of Communications*. Urbana: The University of Illinois Press.
 4. Yockey, J. *Theoret. Biol.* **67**, 345
-

Vybraná literatura

Bernal, J.D., *The Origin of Life*, Weidenfeld a Nicholson, London, 1967.

Blum, H.F., *Time's Arrow and Evolution*, Harper a Row Publishers Inc., New York, 1962.

Brooks, J. a Shaw, G., *Origin and Development of Living Systems*, Academic Press, New York, 1973.

Day, William, *Genesis on Planet Earth*, House of Talos Publishers, East Lansing, Michigan, 1979.

Folsome, C.E., *The Origin of Life*, W.H.Freeman a spol., San Francisco, 1979.

Fox, S.W. a Dose, K., *Molecular Evolution and the Origins of Life*, Marcel Dekker, 1977.

Kenyon, D.H. a Steinman, G., *Biochemical Predestination*, McGraw-Hill Co., New York, 1969.

Miller, S.L. a Orgel, L., *The Origins of Life*, Dutton, New York, 1972.

Ponnamperuma, C., *The Origins of Life*, Dutton, New York, 1972.

Rutten, M.G., *The Origin of Life*, Elsevier Publishing Co., Amsterdam, 1971.

Smith, A.E. Wilder, *The Creation of Life*, Harold Shaw Publishers, Wheaton, Illinois, 1970.

INFORMACE A VZNIK ŽIVOTA

Toto je dodatek (tzv. Last Chapter) ke knize The Mystery of Life's Origin. Dr. Charles Thaxton ho napsal až později (v r.1995) na žádost prof. Václava Pačesa z prezidia Akademie věd. Tento dodatek není tedy součástí anglického originálu knihy. (Poz. Pavel Kábrt)

V roce 1950 pořádal na universitě v Chicagu laureát Nobelovy ceny Harold Urey cyklus přednášek o vzniku sluneční soustavy. Těchto přednášek se zúčastnil i dvaadvacetiletý absolvent univerzity Stanley Miller. Během přednášek Urey poznamenal, že by bylo zajímavé zjistit, co by se přihodilo, kdybychom pokusně napodobili atmosféru dávné Země a vystavili ji vlivu energie (narážel tím na Oparinovu hypotézu z roku 1924, podle níž se tímto způsobem začal vývoj živých systémů¹). Miller byl touto myšlenkou okouzlen a později se proslavil jediným jednoduchým pokusem, který se tehdy zdál být řešením prokazatelně největší záhady, jež kdy trápila všechny vědce. Hermeticky uzavřenou skleněnou aparaturu obsahující vroucí vodu naplnil amoniakem, metanem a vodíkem, pomocí jiskrového výboje napodobil blesky a během několika dní zaznamenal přítomnost načervenalé lepkavé hmoty na skle a ve vodě. Následnou chemickou analýzou ke svému potěšení zjistil, že tato hmota

obsahuje aminokyseliny - stavební kameny bílkovin, které tvoří základ života. Výsledky, které Miller publikoval ve formě skromného dvoustránkového článku v časopise *Science*², působily jako ohromující důkaz, že život vznikl jednoduchými chemickými reakcemi v "prebiotické polévce".

Reakce na Millerův pokus byla ze strany vědecké obce i veřejnosti mimořádná. Např. Carl Sagan, astronom vedoucí výzkum mimozemského života, označil Millerův pokus jako "nejvýznamnější krok směřující k přesvědčení řady vědců, že ve vesmíru se život vyskytuje hojně."³ Chemik William Day ho popisuje jako "pokus, který prolomil blokádu" tím, že ukázal, že počátek života nebyl náhodnou, ale nevyhnutelnou událostí.⁴ Astronom Harlow Shapley vystoupil v roce 1959 v Chicagu v televizním vysílání v předvečer stého výročí vydání Darwinovy knihy "O původu druhů" a prohlásil, že Millerův pokus odstranil naše dlouholeté pochybnosti, zda lze překlenout propast mezi neživým a živým a zda objevení se života je

důsledkem spontánního biochemického vývoje, ke kterému dochází přirozenou cestou za příznivých fyzikálních podmínek."⁵ V podstatě lze říci, že Millerovy pokusy zplodily neovitalismus neboli víru v sílu samouspořádání spočívající ve hmotě.⁶ Biochemická predestinace se dostala dokonce až do učebnic.⁷ Zpravidla byla podporována schémata evolučního vývoje, jejichž příklad je na obr. 5.1.

Retrospektivní analýza vzniku života

Bohužel se ukázalo, že je tento názor zcela unáhlený. O čtyřicet let později byl Miller, jenž se stal profesorem chemie na kalifornské universitě v San Diegu, citován v *Scientific American*: "Problém vzniku života se ukázal být mnohem složitějším, než jsme já a většina dalších lidí předvídali."⁸

Nelze říci, že by se od roku 1953 nic neudálo. Během čtyřiceti let, které následovaly po Millerově původním pokusu, byly uskutečněny analogické nebo velmi podobné experimenty, které ukázaly, že za prebiotických podmínek mohlo být syntetizováno množství základních stavebních kamenů DNA (deoxyribonukleové kyseliny), RNA (ribonukleové kyseliny) a bílkovin. Tyto organické sloučeniny se mohly posléze nahromadit v různých vodních nádržích, v nějaké "malé teplé louži", o čemž uvažoval Charles Darwin v jednom dopise. S. W. Fox a K. Dose⁹ a další ukázali v šedesátých a sedmdesátých letech, jak z těchto stavebních kamenů mohly polymerací vznikat biopolymerní prekurzory až současné biomakromolekuly, jakými jsou bílkoviny a DNA. Pokusy z počátku osmdesátých let zdánlivě dokončovaly celý obraz tím, že prokázaly schopnost autoreplikace RNA bez spoluúčasti enzymů. Tento důležitý objev, za nějž obdržel profesor university v Coloradu T. R. Cech Nobelovu cenu, naznačoval možnost, že první život sestával z RNA a že tento dávný "svět RNA" mohl být pojítkem mezi jednoduchými chemickými stavebními kameny, jakými jsou aminokyseliny a cukry, a velmi složitými buňkami, v jejichž centru se nachází DNA a které tvoří soudobé organismy.¹⁰

Zatímco se Millerovy pokusy dokumentující prebiotickou tvorbu stavebních kamenů a "svět RNA", co by most spojující jednoduché stavební kameny s buňkami obsahujícími DNA, staly součástí učebnic, byla v osmdesátých letech novými výzkumnými objevy vážně otřesena pravdivost obou představ. Bylo zjištěno, že syntéza RNA by byla za podmínek, které pravděpodobně převládaly v době vzniku života, krajně obtížná.¹¹ Mimoto bylo prokázáno, že RNA nedokáže vytvářet kopie sebe samé tak snadno, jak se původně myslelo.¹² A k završení všeho byly zpochybněny rovněž Millerovy původní pokusy, neboť přírodovědci zabývající se studiem atmosféry dospěli nově k závěru, že atmosféra dávné Země nikdy neobsahovala významné

množství amoniaku, metanu nebo vodíku.¹³ Kromě toho dokládá výzkum kráterů na Měsíci, že dávná Země byla opakovaně pustošena obrovskými meteority a kometami. Christopher P. McKay z Amesova výzkumného centra NASA byl citován v *Scientific American*: "Zdá se pravděpodobné, že život nezačal v poklidu malé teplé louže, ale uprostřed zuřící bouře."¹⁴

Co je tedy podstatou vývoje posledních čtyřiceti let? Klaus Dose z Biochemického ústavu v Mainzu, v Německu, naznačuje, že naše společné úsilí "směřovalo spíše k lepší představě nezměrnosti problému vzniku života na Zemi než k jeho řešení. V současnosti končí všechny diskuze o nejdůležitějších teoriích a experimentech z této oblasti buď ve slepé uličce nebo přiznáním nevědomosti."¹⁵

O čem se bude hovořit v této kapitole

Tato kapitola má tři cíle: (1) shrnout pro čtenáře, kteří nejsou obeznámeni s touto problematikou, současné představy o vzniku života založené na Oparinově hypotéze "prebiotické polévky," (2) podrobit tyto scénáře kritice jednak z hlediska skutečných experimentálních problémů a jednak z hlediska odhalených teoretických problémů a (3) vzít v úvahu alternativní hypotézy, zahrnující i vliv inteligence, které našly odpověď na mnoho zdánlivě neřešitelných problémů týkajících se teorie prebiotické polévky. Začneme tím, co považujeme za minimální funkční požadavky živých systémů. Pak ukážeme vztah mezi biologickou funkcí a trojrozměrnou molekulární strukturou. Následně uvedeme, jak závisí trojrozměrná molekulární struktura, která udává funkce biopolymerů, na vysoce specifickém uspořádání molekulárních "stavebních kamenů" v těchto biopolymerech. Tím bude čtenář seznámen se základními pojmy, které jsou spojeny se záhadou vzniku života, jejíž podstatou je specifická složitost neboli biologická informace.

Poté představíme Oparinovu hypotézu vzniku života, která byla řídicím paradigmatem pro většinu výzkumných prací týkajících se vzniku života. Prozkoumáme nezbytné kroky, uvedené na obr. 5.1, jež jsou navrženy tímto paradigmatem, které je někdy označováno jako "teorie prebiotické polévky". Každá šipka na obr. 5.1 představuje důležitý krok: (1) tvorba stavebních kamenů z atmosféry dávné Země, (2) vytvoření rozličných biopolymerů spojováním těchto stavebních kamenů a (3) uspořádání různých biopolymerů za vzniku prvních buněk, zpravidla označovaných jako protobionty, protobuňky nebo koacerváty. V této kapitole pomineme následný vývoj "progenotes" (prvních forem současného života) a jejich rozrůznění na archaebacterie, eubacterie a eukaryonty, kteří jsou považováni za předchůdce zbytku rostlinné a živočišné říše.

Nakonec vezmeme v úvahu možné alternativy Oparinovy hypotézy "prebiotické polévky", včetně vlivu inteligence. Naším cílem je potvrdit totéž, oč usiluje většina vědců zabývajících se touto problematikou, že ke vzniku života vedly přirozené příčiny, což nemusí být nezbytně označováno jako naturalismus. Jak lze na základě zkušenosti poznat, že za probíhajícími "přirozenými" procesy nestála v pozadí nějaká vyšší síla nebo inteligence (Bůh?)? Právě na to se spoléhá velká část křesťanských teistů. To znamená, že nemůžeme na základě zkušenosti vytvořit metafyzický závěr o naturalismu. Podle Iana Barboura je "Naturalismus stále alternativou vzniku života, ale je jasné, že musí být obhajován jako filozofický názor a ne závěr vědy."¹⁶ Rovněž, když se na základě zkušenosti usuzuje, že za strukturu života nese zodpovědnost určitá inteligence, není to nezbytně supernaturalistický závěr. Na základě zkušenosti nemůžeme určit, zda domnělá inteligentní příčina vzniku života pochází z vesmíru (naturalismus) nebo je mimo něj (supernaturalismus). To je další úsudek, který není založen na zkušenosti.

Problém vzniku života

Obecně je přijímán názor, že živé systémy se příliš neliší od neživých systémů svým elementárním chemickým složením, protože se ve skutečnosti skládají z velmi běžných prvků jakými jsou uhlík, dusík, kyslík a vodík. Liší se však svou komplikovanou strukturou, která určuje specifické biologické funkce. Živé systémy se odlišují od neživých zpracováním energie, informačním obsahem a replikací.¹⁷ Ačkoliv je obecně platným názorem, že první živý systém musel být mnohem jednodušší než nejjednodušší současný živý systém, kterým je bakterie, musel dosahovat určité základní hladiny složitosti, která je nezbytná pro zajištění tří uvedených funkcí. Kromě toho by neměly být přijímány jednoduché analogie mezi biologickou evolucí založenou na přirozené výběru a chemickou evolucí, protože přirozený výběr biologické evoluce předpokládá systémy se schopností replikace. Problém vzniku života však spočívá ve vývoji takových systémů. Bertalanffy výstižně definuje: "Selekce, tj. přednostní přežití 'lepších' prekurzorů života, již předpokládá samoudržující se složité, otevřené systémy, které mohou kompetovat; selekce tedy nemůže vysvětlit vznik takových systémů."¹⁸

Lze snadno znázornit vztah mezi biologickou aktivitou a molekulární strukturou za předpokladu, že molekuly bílkovin působí jako katalyzátor (viz obr. 5.2). Ve vodných roztocích probíhá chemická reakce mezi ATP a glukózou (cukr) jen velmi pomalu: je nepravděpodobné, že by tyto dvě molekuly setrvaly v optimální poloze dostatečně dlouho, aby spolu mohly zreagovat. Za přítomnosti molekuly bílkoviny, která funguje jako katalyzátor, se však ATP a glukóza váží ke katalyzátoru tak,

že jejich vzájemná orientace je optimální; tím je umožněna velmi rychlá chemická reakce. Důsledkem toho je, že se rychlost chemické reakce zvýší desetmilionkrát.

V živých systémech jsou chemické reakce běžně regulovány pomocí těchto katalyzátorů. Na obr. 5.2 je objasněno, jak přesná musí být trojrozměrná topografie společně s místními povrchovými chemickými vlastnostmi katalyzátoru, aby se podstatně urychlila reakce mezi ATP a glukózou.

Nyní je známo, že trojrozměrná topografie je nedílně spojena jak se sekvencí stavebních kamenů v řetězci polymeru (kterým je protein), tak i s povahou chemické vazby, která spojuje tyto stavební kameny.¹⁹ Na obr. 5.3 je uveden příklad molekuly proteinu. Je tvořen dvaceti druhy L-aminokyselin, které jsou v určitém pořadí spojeny pomocí velmi specifické peptidové vazby. Ačkoliv trojrozměrná struktura nezávisí na správném umístění každé aminokyseliny v řetězci, je přibližně polovina z těchto míst kritická. Umístění nesprávné aminokyseliny na těchto tzv. aktivních místech může mít osudné následky, jako např. při srpkové anémii, která je způsobena jediným nesprávným aktivním místem v řetězci aminokyselinových "článků", které tvoří molekulu hemoglobinu.

Nadto jen určité druhy vazeb umožní vytváření trojrozměrného uspořádání, ke kterému nutně dochází po odstartování polymerace. Všechny aminokyseliny musí být připojeny peptidovou vazbou (viz schéma na obr. 5.4). Prebiotické modelové pokusy vykazují v tomto ohledu jen 50 procentní úspěšnost.

Konečně, zatímco existují aminokyseliny ve formě L- a D-optických izomerů, jak ukazuje obr. 5.5, obsahují biologicky aktivní proteiny pouze L-aminokyseliny. Protože jsou L- a D-aminokyseliny zastoupeny v přírodě stejnou měrou a v jejich chemické reaktivitě také není žádný rozdíl, představuje jejich existence další problém při tvorbě enzymaticky funkčních proteinů. Podobně jako v případě peptidových vazeb představuje i polymerace pouze L-aminokyselin za vzniku řetězce nezbytnou podmínku pro poskládání řetězce v prostoru tak, aby vzniklá molekula měla katalytickou aktivitu.

Podobně ještě naléhavější problémy obklopují tvorbu biologicky aktivních molekul DNA a RNA. Podstatné je, že biologická funkce je nedílně spojena s vysoce specifickým uspořádáním molekulárních stavebních kamenů v biopolymeru. Bylo ukázáno, že tato molekulární složitost může být kvantifikována pomocí informační teorie.²⁰ Záhadu vzniku života lze tedy nakonec omezit na otázku, zda mohou molekuly s vysokým informačním obsahem vznikat z jednoduchých stavebních kamenů pouze pomocí

toku energie systémem a snad vlivem výběru molekul určitého druhu.

Z toho, co bylo až doposud uvedeno, vyplývá, že předpokladem biologické funkce je vysoce specifická molekulární struktura, která vyžaduje molekuly s vysokým obsahem informace. Vznik těchto informačně bohatých molekul je jedním z klíčů vedoucích k porozumění vzniku života.

Oparinova hypotéza

Klasický pokus, který veřejně předvedl Louis Pasteur v roce 1864 na pařížské Sorbonně, pohřbil teorii spontánního vzniku. Pasteur směle tvrdil: "Nikdy se teorie spontánního vzniku nevzpamatuje ze smrtelné rány, kterou jí zasadil tento jednoduchý pokus," a sebestě později v téže publikaci dodal: "Ne, dnes není známa žádná okolnost, která by mohla potvrdit, že mikroskopické formy života se objevily na tomto světě, aniž by existovaly rodičovské mikroorganismy, které se jim podobají."²¹ I tehdy však byly důvody věřit, že se Pasteurova předpověď tak zcela nevyplní. Darwinova evoluční teorie - publikovaná o pět let dříve, v roce 1859 - byla mezi akademiky rychle přijata. Jestliže se z první buňky vyvinuly postupně přirozenými procesy různé druhy tvorů až po lidstvo, pak je logické předpokládat, že tato evoluce musela začít přirozenou cestou. Sám Darwin v dopise z roku 1871 uvažoval o tom, že "v malé teplé louži plné chemických látek" mohlo sluneční záření vyvolat reakce nezbytné k produkci první formy života.²²

Nicméně minulo půl století než byla navržena podrobná hypotéza vzniku života. V historickém článku z roku 1924 předpokládal ruský biochemik A. I. Oparin, že atmosféra dávné Země musela být zcela odlišná od dnešní atmosféry.²³ Domníval se zejména, že obsahovala amoniak, metan a vodík, vodní páru, ale žádný kyslík. Dále navrhoval, že vlivem blesků a ultrafialového záření by v takové atmosféře probíhaly chemické reakce za vzniku rozličných organických molekul - včetně aminokyselin, dusíkatých bází, cukrů a lipidů - což jsou nezbytné stavební kameny biopolymerů. Předpokládal, že by se těmito procesy postupem času vytvořily v mořích a jezerech významné koncentrace molekulárních stavebních kamenů, vznikla by tedy známá prebiotická polévka. Po dosažení kritických koncentrací by tyto stavební kameny chemicky reagovaly za vzniku polymerů (tj. mnohomerů neboli molekulárních podjednotek). Během dlouhé doby by se pravděpodobně podle této představy objevily v prebiotické polévce polymery s biologickou aktivitou. Podle Oparina mohly shlukováním polymerů vznikat buňkám podobné útvary nazývané "koacerváty" nebo "protobuňky", které se nakonec i jako buňky chovaly.

Oparinova hypotéza přelstila experimentální "důkaz" podaný Pasteurem v roce 1864 proti teorii spontánního vzniku tím, že postulovala nikoliv spontánní ale postupný vznik života, který se uskutečnil v průběhu mnoha a mnoha miliónů let; jeden malý chemický krok uskutečněný během dlouhé doby. Pasteurův jednoduchý, leč vynikající pokus zjevně v žádném případě nevyloučil tuto možnost. Podobně jako Darwinova evoluční teorie byla obecně přijímána až po roce 1924, získala si i Oparinova hypotéza dodatečně důvěru.

Stručně řečeno, Oparinova hypotéza a podobné myšlenky postulované přibližně ve stejné době britským chemikem J. B. S. Haldanem určily intelektuální pracovní oblast, skutečné vůdčí paradigma, které dalo konečnou podobu podstatné části výzkumu vzniku života ve dvacátém století.²⁴ Millerovy pokusy z počátku padesátých let, kterými jsme otevřeli tuto kapitolu, představovaly první experimentální snahy ověřit paradigma vzniku života. Nyní se o nich zmíníme podrobněji.

Tvorba molekulární stavebních kamenů nezbytných pro život

Stanley L. Miller zareagoval v roce 1952 na výzvu Harolda Ureye a pomocí skleněné aparatura naplněné plyny, které podle Oparina tvořily atmosféru dávné Země, tj. amoniak, metan, vodík a vodní pára, počal ověřovat platnost Oparinovy hypotézy. Během několika dní vystavoval plyny vlivu jiskrového výboje, který měl nahradit působení blesků. Následná analýza obsahu sifonu, který byl použit pro odstranění vznikajících produktů z reakční směsi a pro jejich ochranu před působící energií, ukázala k všeobecnému vzrušení, že mezi produkty byly malou měrou (asi 2%) zastoupeny i molekulární stavební kameny biopolymerů, aminokyseliny.

Následovala záplava pokusů, při nichž byly napodobovány poměry na dávné Zemi. Během nich se podařilo připravit devatenáct z dvaceti biologicky důležitých aminokyselin (nebyl nalezen pouze lysin²⁵), všech pět nukleových bází, které jsou součástí RNA a DNA, a rozličné mastné kyseliny, jež tvoří buněčné membrány. Ukázalo se, že dřívější tvrzení o úspěšné modelové prebiotické syntéze ribózy a deoxyribózy, nezbytných stavebních kamenů RNA a DNA, bylo chybné. V roce 1986 na sympoziu Mezinárodní společnosti pro studium vzniku života (ISSOL - the International Society for the Study of the Origin of Life) v Berkeley ukázal v ohromující přednášce Robert Shapiro, absolvent Harvardu, chemik z university v New Yorku, že obecně rozšířené tvrzení, přejatá z druhé a třetí ruky, týkající se syntézy ribózy a deoxyribózy v Millerově pokuse, pocházejí původně z jednoho nedůvěryhodného článku. Následně dokázal, že tvorba ribózy je za prebiotických podmínek zcela vyloučena. Jeho práce byla pak uveřejněna v *Origins of Life and Evolution of the Biosphere*.²⁶ Podobná pozorování učinil i

Dose, který zahrnul ribózu, deoxyribózu a replikovatelné oligo a polynukleotidy do seznamu obtížně syntetizovatelných molekulárních stavebních kamenů.²⁷ Horgan také poznamenává, že RNA a její stavební kameny je obtížné syntetizovat v laboratoři i za sebelepších podmínek, ještě obtížnější by to bylo za prebioticky pravděpodobných podmínek.²⁸

Navzdory skutečnosti, že Millerův pokus je symbolickým zástupcem experimentů, které napodobují podmínky na prebiotické Zemi a které by měly ověřit platnost Oparinovy a Haldaneovy hypotézy, narůstá vlna kritiky. V několika důležitých ohledech ukazuje, že tyto pokusy nedokáží věrohodně napodobit podmínky na dávné Zemi. Za prvé, Miller použil metan, ale jediným zdrojem energie byl jiskrový výboj napodobující blesky. Na atmosféru dávné Země však působily i jiné druhy energie, např. ultrafialové záření, které by přeměnilo metan na uhlovodíky vyšší molekulové hmotnosti, které by utvořily olejovou skvrnu zasahující až do hloubky deseti metrů.²⁹

Miller na tuto výtku reaguje slovy: "Předpokládáme-li, že pro vznik života byly potřebné aminokyseliny komplikovanější než glycin, bylo nutné, aby atmosféra obsahovala metan."³⁰ Jinak řečeno, metan *musel* být přítomen na dávné Zemi, jinak by nebyly vytvořeny aminokyseliny (alespoň ne přirozenou cestou).

Amoniak, další důležitá složka atmosféry v Millerově pokuse a jeho nápodobách, podléhá rychlému rozkladu vlivem ultrafialového záření za vzniku dusíku a vodíku, který uniká do vesmíru. Snadnost, s jakou se vodní pára disociuje na vodík a kyslík, přičemž vodík uniká do kosmu, také vyvolává pochyby týkající se předpokládané bezkyslíkaté atmosféry dávné Země. Nejsilnější argument podporující bezkyslíkatou atmosféru dávné Země nepochází z geologických pozorování oxidačního stupně minerálů, ale ze zničujícího vlivu kyslíku na prebiotické modelové pokusy.³¹ Opět jsme narazily na argumenty vycházející z předem utvořených úsudků a ne z experimentálních důkazů.

Vodík, který tvořil vedle metanu a amoniaku třetí hlavní složku Millerovy prebiotické atmosféry, se nemohl kumulovat v žádné významné koncentraci vzhledem k jeho slabé schopnosti udržet se v gravitačním poli Země. Názor, že atmosféra dávné Země nikdy neobsahovala významná množství amoniaku, metanu nebo vodíku, vznikl ve skutečnosti již koncem sedmdesátých let.³² Za pravděpodobnější složky jsou považovány dusík, oxid uhličitý a vodní pára.

Snaha vytvořit stavební kameny života z této atmosféry se bohužel podobá naléhání starých Egyptanů, aby jejich hebrejští otroci "stavěli na písku". Důvod je jednoduchý. Jak vyplývá z jednoduché rovnováhy hmoty a energie, kterou zná i chemik

začátečník, je tvorba aminokyselin z amoniaku, metanu a vodíku exotermní reakcí (uvolňující energii), jíž odpovídá pokles entalpie přibližně o 200 kcal/mol. Ve srovnání s tím je tvorba aminokyselin z dusíku, oxidu uhličitého a vodní páry endotermní reakcí (vyžaduje dodání energie), jíž odpovídá vzrůst entalpie o 50 kcal/mol. Není divu, že chemici dávají přednost Oparinově hypotetické, i když nesprávné atmosféře amoniaku, metanu a vodíku.

Oparin sice neměl žádné geologické podklady pro to, aby navrhl složení atmosféry. Měl však dobrý důvod, který mu poskytla fyzikální chemie, aby nebral v potaz atmosféru bohatou na dusík, oxid uhličitý a vodní páru, která je nyní považována za nejpravděpodobnější atmosféru dávné Země. Pozdější pokusy potvrdily, že by v této atmosféře skutečně nemohly vzniknout základní stavební kameny.³³

Existují ještě další problémy týkající se pokusů Millerova typu. Aby byly dosaženy uspokojivé výsledky, byl samostatně používán určitý druh energie pocházející z jediného zdroje. Tato podmínka však neodpovídá situaci na dávné Zemi. Např. zatímco ultrafialové záření o kratších vlnových délkách může usnadnit tvorbu aminokyselin z amoniaku, metanu a vodíku, dlouhovlnnější část tohoto záření, která jistě také působila na dávnou atmosféru, způsobuje rychlý rozklad těchto aminokyselin. Podobně může tyto molekuly ničit teplo nebo nepřetržitý elektrický výboj. Pouze použití vybraného zdroje energie a rychlé odstranění produktů z dosahu energie pomocí sifonu umožňuje získat při těchto pokusech dokonce i malá množství aminokyselin (2 % nebo méně).

Uvědomujeme si, že optimistické prvotní nadšení vyvolané Millerovými pokusy významně pokleslo ve všech ohledech. Dnes je již mnohem zřejmější, že omezený úspěch pokusů Millerova typu při syntéze aminokyselin, bází nukleových kyselin a mastných kyselin byl vždy dosažen za použití vybraných chemikálií a vybraného zdroje energie, což jsou podmínky, které se jen vzdáleně podobají podmínkám dávné Země. Nadto syntéza základních stavebních kamenů DNA a RNA, např. ribózy, nebyla nikdy úspěšná s výjimkou použití vysoce nepřijatelných podmínek, které se v žádném případě nepodobaly podmínkám na dávné Zemi.

Jak uvidíme v následující části, je tvorba molekulárních stavebních kamenů ve skutečnosti nejjednodušší částí celého scénáře vzniku života; nicméně ani to si není snadné přestavit při našich současných znalostech.

Tvorba DNA, RNA a bílkovin, makromolekul tvořících život

V této části se dotkneme naléhavého problému tvorby funkčních biopolymerů ze stavebních kamenů. K nalezení pravděpodobnosti, že tyto funkční proteiny nebo DNA mohou vznikat spojováním molekulárních stavebních kamenů pomocí energie protékající systémem, použijeme termodynamickou analýzu. Nejprve stanovíme množství různých druhů práce nezbytné při sestavování stavebních kamenů, a pak uvažíme, zda ty druhy energie, které byly k dispozici na dávné Zemi, byly vhodné k tvorbě biopolymerů. Čtenářům, kteří se blíže zajímají o tyto analýzy a zejména o numerické výpočty, doporučujeme již dříve uveřejněné obsáhlé studie.³⁴

Podrobně se budeme zabývat spojováním aminokyselin za vzniku proteinů. Podobné, ale složitější problémy jsou spojeny s tvorbou DNA a RNA. Jak vyplývá ze zákonů klasické termodynamiky, bude polymerace probíhat spontánně, jestliže bude tento proces, tedy připojování stavebních kamenů, spojen s poklesem Gibbsovy volné energie G ($\Delta G < 0$). Je-li však spojování stavebních kamenů spojeno se vzrůstem Gibbsovy volné energie v systému ($\Delta G > 0$), pak je k uskutečnění této chemické reakce potřeba dodat práci.

Je to totéž, jako bychom chtěli, aby voda tekla do kopce. Voda dokáže snižovat svou Gibbsovu volnou energii tím, že teče s kopce dolů, ale kdyby se pohybovala nahoru, Gibbsova volná energie by vzrůstala. Aby voda tekla do kopce, museli bychom použít pumpu nebo jiný zdroj energie, kdežto dolů teče zcela samovolně.

Spojování stavebních kamenů. Na obr. 5.4 je znázorněno vlastní spojování stavebních kamenů pomocí peptidových vazeb. Povšimněte si, že dochází k přerušení dvou chemických vazeb (C - OH a H - N) a ke tvorbě dvou nových (H - OH a C - N). Změna Gibbsovy volné energie ($\Delta G = \Delta H - T \Delta S$) je fyzikálně spojena se změnou chemické vazebné energie ($\Delta H = \Delta E + p \Delta V \approx E$) a se změnou entropie systému (ΔS). Entropie systému je spojena s množstvím možností, jak lze uspořádat hmotu a energii v systému. Systém s vysoce specifickým uspořádáním má vyšší Gibbsovu volnou energii než systém, který může být uspořádán libovolně. Zanedbáme-li prozatím velmi specifické uspořádání nezbytné pro biologickou funkci a budeme pouze uvažovat změnu Gibbsovy volné energie (ΔG) při chemické reakci dvou aminokyselin (stavebních kamenů) za vzniku dipeptidové vazby, jak ukazuje obr. 5.4 (tj. vznik vzájemné chemické vazby), zaznamenané vzrůst G o 3 000 cal/mol, což odpovídá 30 cal/g aminokyselin.³⁵ Tok energie systémem musí tedy zajistit konání práce, která umožní systému dosáhnout vyšší energetické hladiny, jíž odpovídá polymerace stavebních kamenů. Obsahuje-li typická bílkovina přibližně 100 aminokyselin, je pak celková práce potřebná k "náhodnému" pospojování těchto aminokyselin 300 kcal/mol proteinu.

Fox a Dose shromáždili pokusy, které vedly k získání této práce potřebné pro pospojování stavebních kamenů.³⁶ Zahříváním aminokyselin na sucho a odstraňováním vody, která se tvoří jako vedlejší produkt chemické reakce mezi dvěma aminokyselinami (viz obr. 5.4), lze uskutečnit polymeraci aminokyselin (touto chemickou reakcí vzniká řetězec stavebních kamenů). Tímto způsobem lze ve formě tepla úspěšně oddělit práci potřebnou pro náhodné pospojování stavebních kamenů od toku energie systémem.

Správné uspořádání stavebních kamenů. Obtíže nastávají, chceme-li, aby byly aminokyseliny k sobě připojovány specifickým způsobem, který umožní vznik funkčního proteinu, jak bylo popsáno již dříve v této kapitole. S tím jsou spojeny nejméně čtyři obtíže.

První z nich spočívá v existenci dvou forem každé aminokyseliny, formy L- a D-, které jsou svými zrcadlovými obrazy (viz obr. 5.5). Obě formy byly v prebiotických modelových pokusech přítomny ve stejné koncentraci a reagovaly stejně rychle mezi sebou i s aminokyselinami stejné symetrie. Ve všech přírodních proteinech však byly nalezeny pouze L-aminokyseliny. Dodatková práce potřebná pro zajištění přítomnosti pouze L-aminokyselin v řetězci obsahujícím sto těchto stavebních kamenů, což odpovídá délce typického proteinu, je 4,2 cal/g vzniklého proteinu.³⁷

Druhým problémem je skutečnost, že peptidová vazba je jen jednou z několika možností, jak mohou být navzájem spojeny dvě aminokyseliny. Analýza těchto vazeb utvořených během prebiotických modelových pokusů ukazuje, že ne více než polovina z nich je peptidová vazba.³⁸ Funkční bílkovina však vyžaduje 100 % peptidových vazeb, aby mohla vytvořit přesnou trojrozměrnou strukturu, která podmiňuje její biologickou funkci. Podobně jako v předchozím případě lze i zde spočítat dodatkovou práci potřebnou pro zajištění výhradní přítomnosti peptidových vazeb v řetězci o stu aminokyselin, v němž by jinak bylo přítomno 50 % nepeptidových vazeb; je to 4,2 cal/g vytvořeného proteinu.³⁹

Třetím kamenem úrazu při tvorbě funkčního proteinu z aminokyselin je potřeba přesné sekvence rozličných aminokyselin. Na obr. 5.6 je schematicky znázorněno pět z dvaceti aminokyselin nacházejících se v bílkovinách. Trojrozměrná topografie, která určuje biologickou funkci, závisí na pořadí těchto aminokyselin. K získání správné morfologie nebo topografie není nutné, aby na každém místě v řetězci byla správná aminokyselina, to je nutné dodržet alespoň na polovině míst, tzv. aktivních míst, kde musí být přítomna správná aminokyselina. Dodatková práce nezbytná pro dodržení tohoto stupně specifity je 18,2 cal/g pro 100

aktivních míst nebo 9,1 pro padesát aktivních míst v proteinu obsahujícím sto aminokyselin.⁴⁰

Čtvrtým a snad nejobtížnějším problémem uspořádání aminokyselin do řetězce, jehož trojrozměrná struktura zajišťuje biologickou funkci, je, aby aminokyseliny reagovaly pouze mezi sebou a ne s mnoha jinými chemickými sloučeninami, které byly také přítomny v prebiotické polévce. Z hodnoty práce potřebné pro vzájemnou reakci aminokyselin (30 cal/g) je zřejmé, že by spolu aminokyseliny nereagovaly snadno. Vstupovaly by však snadno (za výsledného poklesu Gibbsovy volné energie) do chemických reakcí s mnoha jinými sloučeninami, které se vyskytovaly v hojném množství v prebiotické polévce. Je tedy obtížné si představit, jak mohly být aminokyseliny zahuštěny v roztoku nebo selektivně adsorbovány na povrchy jílu apod. přednostně před chemickou reakcí s jinými sloučeninami prebiotické polévky. Protože složení prebiotické polévky není známo, není také možné spočítat hodnotu práce potřebné k zamezení těchto vedlejších reakcí a zachování pouze selektivních reakcí mezi aminokyselinami. Tato práce by byla však mnohem větší než její tři předchůdkyně.

Spočítali jsme, že práce potřebná k syntéze specificky složitěho proteinu o délce sto aminokyselin se za předpokladu, že zanedbáme hlavní problém, tj. ochotu aminokyselin reagovat s jinými sloučeninami prebiotické polévky, podobá svou hodnotou (18,2 + 4,2 + 4,2 cal/g) práci potřebné k náhodnému uspořádání stavebních kamenů do řetězce (30 cal/g). Ačkoliv je tedy tok energie schopen konat práci požadovanou pro získání potřebného uspořádání, dá se pochybovat o tom, že by kdy mohl souviset s tvorbou informace.

Pravděpodobně je to z toho důvodu, že biologická informace, ačkoliv je matematicky totožná s konfigurační entropií (jak jsme již popsali⁴¹), nemá k ní vůbec žádný fyzikální vztah. Velmi přesvědčivě dokazoval tento názor Jeffrey S. Wicken.⁴²

Není nic horšího než všechny prebiotické modelové pokusy, které směřovaly k tvorbě proteinů za použití čistých aminokyselin místo toho, aby vycházely z reakčních produktů Millerových prebiotických modelových pokusů, při nichž byly získány 1-2 % aminokyselin a množství dalších sloučenin, které mohou s aminokyselinami velmi snadno reagovat. Nezbytnou práci v těchto případech tedy zajišťuje chemik, který tak sotva napodobuje skutečný scénář vzniku života. Chemik může také vycházet pouze z L-aminokyselin, aby se vyhnul problému tvorby řetězců obsahujících L- i D-formy. Přesto nedokáže upravit pokus tak, aby vznikaly pouze peptidové vazby (mezi L-aminokyselinami) a utvářely se biologicky významné sekvence aminokyselin a funkční topografie, jak ukazuje obr. 5.3.

Nakonec i při "prokazatelných prebiotických" modelových pokusech vznikají řetězce aminokyselin, jejichž katalytická aktivita je přinejlepším zanedbatelná.

Závěrem lze říci, že tok energie systémem je schopen spojovat molekulární stavební kameny, ale není schopen je připojovat s takovou nezbytnou specifitou, aby vzniklá struktura měla biologickou funkci.

Problém informace při tvorbě proteinů

Jak lze dosáhnout správného uspořádání stavebních kamenů (aminokyselin), když na biologickou funkci lze pohlížet jako na informační problém. Množství informace potřebné k tvorbě nějakého systému nebo složky systému závisí na počtu požadovaných instrukcí. Zcela náhodné uspořádání aminokyselin nevyžaduje žádné specifické instrukce. Tvorba krystalu vyžaduje několik pokynů, které charakterizují základní jednotku krystalu. Opakováním těchto pokynů lze získat velký krystal. Příprava novin vyžaduje mnohem více informací, protože písmena musí být umístěna na stránce v určitém pořadí tak, aby vznikala smysluplná slova, věty, odstavce a články. Tvorba biologicky funkčních proteinů je, jak uvidíme dále, analogická tvorbě novin.

Představme si, že chceme napsat větu "JAK VZNIKL ŽIVOT?" Nejprve dáme přednost problému, který představuje směs L- a D-aminokyselin před pouhými L-aminokyselinami. To je totéž, jako otočení písmen o 180° vzhledem k ose, která prochází větou. Písmena otočená vzhůru nohama představují D-aminokyseliny smíchané ve větě s L-aminokyselinami.

JA. VZ.IK. Ž.VO..

Problém, který nastane, když se mezi aminokyselinovými stavebními kameny objeví jiné než peptidové vazby, je uveden následovně (obr. 5.4 ukazuje vlastní peptidovou vazbu). Správné umístění sousedících písmen bylo změněno tak, že některá písmena jsou nezvykle orientována. Informace ve větě je dále ohrožena.

JA. .ZN.K. .I.O..

Nakonec je na našem původním tvrzení ilustrován problém nesprávné sekvence tak, že některá písmena přeskupena. Původní zpráva je tak zcela zatemněna.

KVI JZAKVO ŽNILT?

Jestliže budeme všechny tři problémy superponovat, bude zcela nemožné dešifrovat původní zprávu - dojde k naprosté ztrátě

funkce. Ke stejné ztrátě biologické funkce dochází, pokud polymer neobsahuje pouze L-aminokyseliny, pokud v řetězci, který tvoří molekulu proteinu, nejsou výhradně peptidové vazby a správná sekvence aminokyselin.

Největším problémem však je, jak zajistit používání pouze písmen anglické abecedy, je-li k dispozici "abecední polévka" obsahující mnoho anglických písmen (představují aminokyseliny), ale také čínské, řecké a hebrejské symboly (představující jiné druhy organických molekul v prebiotické polévce), a jak z ní získat potřebná písmena J, A, 2 x K, V, Z, N, 2 x I, L, Ž, O, T.

V roce 1984 jsme navrhli, že vznik života je v zásadě problémem informace,⁴³ ale tato představa není pouze naše. Bernd-Olaf Koppers říká v *Information and the Origin of Life* (1990): "Problém vzniku života je v zásadě rovnocenný problému vzniku biologické informace."⁴⁴ V podobném smyslu se vyslovili i Jeffrey Wicken a Robert Shapiro koncem osmdesátých let a A.E. Wilder Smith a Hubert B. Yockey v sedmdesátých letech.⁴⁵

Tvorba bílkoviny jako problém nepravděpodobnosti

Problém tvorby funkčních proteinů z aminokyselinových stavebních kamenů lze hodnotit také z pozice pravděpodobnosti a statistiky. Pro zjednodušení předpokládejme, že pravděpodobnost výběru L-aminokyseliny ve srovnání s D-aminokyselinou je 50 % a že pravděpodobnost spojení dvou aminokyselin peptidovou vazbou je také 50 %. Předpokládáme-li, že všech dvacet aminokyselin bylo v prebiotické polévce přítomno ve stejných koncentracích, pak pravděpodobnost umístění správné aminokyseliny na správném místě bude 5 %. První dva předpoklady jsou reálné na rozdíl od třetího, který může být pro některé aminokyseliny příliš nízký a pro některé příliš vysoký.

Zanedbáme-li případné reakce s jinými sloučeninami, získáme pravděpodobnost správného umístění aminokyseliny $0,5 \times 0,5 \times 0,5 = 0,0125$. Pravděpodobnost správného uspořádání N aminokyselin bude $0,0125 \times 0,0125 \times \dots$ atd. až do počtu N členů $0,0125$. Má-li funkční protein 100 aktivních míst, pak pravděpodobnost, že bude bezchybně utvořen, získáme, když číslo $0,0125$ budeme 100 krát násobit sebou samým; výsledek je $4,9 \times 10^{-191}$. Tato nepravděpodobnost nezbytně přiměla všechny vědce pracující v tomto oboru k zavržení náhodného, nepředvídaného uspořádání neboli šťastné náhody jako vysvětlení vzniku života.

Předpokládáme-li, že všechen uhlík na Zemi existuje ve formě aminokyselin a že aminokyseliny mohly chemicky reagovat maximální možnou rychlostí $10^{12}/s$ po dobu jedné miliardy let

(nejdelší možná doba mezi ochlazením Země a objevem života), opět zjistíme, že tvorba jediného funkčního proteinu je neuvěřitelně nepravděpodobná ($\approx 10^{-65}$), jak ukázal H. P. Yockey.⁴⁶ D. Kenyon, G. Steinman a Sir Frederick Hoyle dospěli k podobným závěrům: "Současný scénář vzniku života je přibližně stejně pravděpodobný jako napsání 747 tornádem vířícím na smetišti."⁴⁷

Tvorba DNA a RNA

Problémy prebiotické syntézy DNA a RNA jsou ještě větší než tomu bylo u proteinů. Shapiro vyjádřil výsledky své práce v této oblasti slovy: "Důkaz, který je v současné době k dispozici, neprokazuje dostupnost ribózy v prebiotické polévce, snad s výjimkou velmi krátké doby a nízké koncentrace jako části složité směsi a za podmínek nevhodných pro syntézu nukleosidů."⁴⁸ S obsahem článku, v němž je uvedena tato poznámka, bylo již dříve seznámeno 300 vědců z celého světa na sympoziu Mezinárodní společnosti pro studium vzniku života (the International Society for the Study of the Origin of Life), aniž by byla základní tvrzení nějak zpochybněna.

RNA a její komponenty je obtížné syntetizovat i za nejlepších laboratorních podmínek; uskutečnění syntézy za přijatelných prebiotických podmínek by bylo ještě nepravděpodobnější. Např. chemická cesta užívaná při syntéze ribózy, klíčového stavebního kamene RNA, vede ke vzniku velkého množství i jiných cukrů, které by znemožňovaly syntézu RNA. Další důležitou záhadou je, jak se mohl fosfor stát kritickou složkou RNA a DNA, když se v přírodě vyskytuje relativně řídko.

Leslie Orgel ze Salkova ústavu biologických věd, který pravděpodobně provedl více výzkumných prací týkajících se scénáře "RNA světa" než jiní vědci, uvádí, že pokusy napodobující časná stadia "RNA světa" jsou příliš komplikované, než aby reprezentovaly přijatelný scénář vzniku života. Orgel byl nedávno citován v *Scientific American*: "Je třeba dosáhnout situace, kdy se obrovské množství podmínek a procesů nachází bez jediné chyby ve správném stavu."⁴⁹ Nositel Nobelovy ceny Sir Francis Crick říká ve své knize *Life Itself*: "Vznik života vypadá téměř jako zázrak, protože pro své uskutečnění vyžaduje splnění velkého množství podmínek."⁵⁰ V závěru svého přehledného článku z roku 1988 uvádí Dose v souvislosti se syntézou biopolymerů DNA a RNA: "Obtíže, které je třeba překonat, leží v současnosti za hranicí naší představivosti..." Schéma na obr.2 (ukazuje pravděpodobný průběh syntézy proteinu na ribozómech pomocí nukleových kyselin) demonstruje naši nevědomost. Bez zcela nových pohledů na evoluční procesy, které možná vyžadují nové způsoby myšlení, bude tato nevědomost trvat dál."⁵¹ Je zřejmé, že

problémy informace či složitosti spojené se vznikem života jsou komplikované a dokonce zatvrzele vzdorující našemu úsilí.

Snahy o vyřešení informačního problému

V současnosti bylo provedeno několik pokusů o záchranu Oparinovy teorie prebiotické polévky. V létě 1990 způsobil Julius Rebek Jr., chemik z Massachusetts Institute of Technology (MIT), rozruch prohlášením, že syntetizoval organickou molekulu, která dokáže replikovat sama sebe. Molekula aminoadenosin triacid ester AATE je tvořena dvěma komponentami, z nichž jedna připomíná protein a druhá nukleovou kyselinu. Po přidání do roztoku výchozích sloučenin v chloroformu dokáže AATE fungovat jako předloha pro syntézu nové AAET molekuly. G. Joyce, odborník na RNA ze Scrippsovy kliniky, se vyjádřil následujícím způsobem v *Scientific American* k Rebekově práci: "AATE se replikují pouze za vysoce umělých, nepřírodných podmínek a dokonce, což je ještě důležitější, se reprodukuje příliš přesně. Bez mutací se molekuly nemohou vyvíjet v duchu Darwinových myšlenek." V témže článku říká Leslie Orgel: "Nevidím důležitost této molekuly pro vznik života."⁵²

Jeffrey Wicken dokazuje, že druhá věta termodynamiky skutečně řídí chemické reakce zodpovědné za vznik života, spíše než by působila jako překážka. Dokazuje, že entropie umožňuje polymerace, při nichž se spojují stavební kameny za vzniku biopolymerů typu DNA, RNA a proteinů.⁵³ V současné kritice Wickenovy práce poznamenává Bradley, že entropie jako řídicí síla spojování stavebních kamenů do polymerního řetězce je maximálně účinná na počátku polymerace, kdežto později se stává bezvýznamnou, neboť lze takto získat jen malé výtěžky polymerů. Nebylo by to tak, kdyby polymerace probíhající v těchto pokusných systémech byla nějakým způsobem usnadněna.⁵⁴ Např. aminokyseliny mohou polymerovat, je-li pomocí tepla odstraňována voda vznikající jako vedlejší produkt. Tím je zabráněno depolymeraci, jak experimentálně prokázal S. W. Fox.⁵⁵

Wickner dále dokazuje, že informační požadavky živých systémů nezávisí na termodynamických úvahách (a nemohou tedy být uskutečněny prostřednictvím toku energie systémem). S tímto tvrzením zcela souhlasíme. Opíraje se o dřívější práci Steinmana a Coleho (1967), Wickner dále navrhuje, že vnitřní chemické vlastnosti molekulárních stavebních kamenů, jako je vrozená tendence tvorby nenáhodných sekvencí v důsledku stérických vlivů, mohou vysvětlovat vznik specifických sekvencí molekul v biopolymerech.⁵⁶ Novější analýza 250 proteinů ve srovnání s 10 proteiny, které analyzovali Steinman a Cole, však dokázala, že vezmeme-li v úvahu větší množství

proteinů, nenalezneme popisované vztahy v sekvenci aminokyselin.⁵⁷

Nedokáže-li tok energie systémem "tvořit" nezbytnou informaci skrytou v pozoruhodné specifitě biopolymérů, a jsou-li dědičné snahy samouspořádání hmoty příliš slabé, než aby zodpovídaly za pozorovanou složitost molekul, co se tedy skrývá za informačním obsahem těchto polymerů? Bernd-Olaf Kuppers obhájí selekci, aby se vyhnul problému nesmírné nepravděpodobnosti tkvící v složitostech i těch nejjednodušších živých systémů. Říká: "Molekulárně-Darwinistický přístup se zakládá na pracovní hypotéze, že přirozený výběr v Darwinově smyslu se již nalézá v oblasti neživé hmoty...[Tato myšlenka] se může uplatnit jen za předpokladu skutečného fungování Darwinova přirozeného výběru v říši neživé hmoty."⁵⁸ Protože Darwinův přirozený výběr předpokládá v biologickém světě replikující se systémy, střetáváme se zde se zcela odlišným druhem selekce. Je obtížné si představit na jakém základě by přirozený výběr mohl působit na molekulární úrovni, aby umožnil vznik pozoruhodné složitosti spojené s minimálními požadavky života: replikace, uložení informací a zpracování energie. Dnes postrádá Kupperova hypotéza na významu, neboť neexistuje žádný experiment, který by ji podpořil.

Krach teorie prebiotické polévky a její alternativy

Zkrachování koncepce Oparinovy teorie prebiotické polévky bylo zdůrazněno během diskuze na mezinárodním sympoziu ISSOL v Berkeley v Kalifornii v roce 1986. Zastánci prebiotické syntézy proteinů dokazovali, že tvorba RNA byla za prebiotických podmínek téměř nemožná, což druhá část, upřednostňující tvorbu RNA, spíše nebrala na vědomí než vyvracela pomocí důkazů. Jejich odpovědí bylo, že proteiny jsou příliš nevhodné pro roli nositelů prvních živých systémů, protože nejsou dostatečně přizpůsobivé. Protože zastánci proteinů také nepředložili žádné důkazy, kterými by vyvrátili tuto kritiku, diskuze skončila neblaze prohloubením propasti mezi oběma stranami bez vytvoření nových slibných alternativ.

Kritika shrnutá v této kapitole (podrobněji viz A.G. Cairns-Smith [1982], Thaxton, Bradley a Olsen [1984] a Shapiro [1986]) je pro teorii prebiotické polévky téměř, ne-li skutečně, osudná. Jaké jiné hypotézy existují a proč byla tato teorie prebiotické polévky opouštěna tak pomalu? Tento pomalý odchod teorie i přes množství problémů, které jsou s ní spojeny, napovídá cosi o přijatelnosti alternativních hypotéz, které byly navrženy v posledních deseti letech jako její potenciální nástupci.

Vznik života na povrchu jílu. V *Genetic Takeover and the Mineral Origins of Life*, chemik z university v Glasgow, A.G. Cairns-Smith navrhuje, že ke vzniku života, dostatečně složitého, se schopností mutací a dalšího vývoje, došlo na pevných substrátech, pravděpodobně krystalických jílech. Dokazuje, že některé jíly byly k tomuto předurčeny díky zvýšené schopnosti vázat nebo syntetizovat organické sloučeniny jakými jsou nukleové kyseliny nebo proteiny. Nakonec se snad vytvořily dostatečně složité organické sloučeniny, aby se mohly začít replikovat a vyvíjet se.⁵⁹ Cairns-Smith byl v roce 1991 citován v článku v *Scientific American* jako vědec, spokojeně přijímající nedostatky svojí hypotézy: " Nikdo nebyl schopen laskavým přemlouváním přinutit v laboratoři jíl k něčemu, co připomíná evoluci; ani nikdo nenalezl v přírodě cokoli co by připomínalo organizmus vzniklý na povrchu jílu."⁶⁰

Hydrotermální průduchy na dně moře. Koncem sedmdesátých let objevili vědci na dně moře poblíž Galapágských ostrovů několik hydrotermálních průduchů, které podporovaly bujení společenstev živých organismů včetně kroužkovců tubeworms, mlžů a bakterií, jejichž primárním zdrojem energie není světlo, ale sloučeniny síry uvolňované z průduchů. Od té doby byly nalezeny desítky podobných průduchů. John Corliss z NASA Goddard Space Flight Center předpokládal, že průduchy mohou dodat energii a živné látky potřebné pro vytvoření a udržování života.⁶¹

Teorie tepelných průduchů ani náznakem nevysvětluje, jak mohl být vyřešen informační problém, pouze uvádí, že energií bohaté okolí mohlo usnadnit tvorbu organických polymerů, které byly důležité pro vznik života. Práce potřebná pro uspořádání stavebních kamenů, kterou jsme dříve odhadli na 30 cal/g, mohla být tímto způsobem vykonána, avšak hypotéza tepelných průduchů neposkytuje žádné řešení podstatně naléhavějšího problému informační práce.

Stanley Miller a Jeffrey Bada na kalifornské univerzitě v San Diegu uskutečnili pokus, kterým dokázali, že přehřátá voda vytékající z průduchů, jejíž teplota může být vyšší než 572° F, by organické sloučeniny spíše ničila než tvořila. V důsledku toho považuje Miller průduchy spíše za překážku vzniku života. Na základě odhadů, že veškerá voda oceánu projde tepelným průduchem každých deset milionů let⁶², vypočítal Miller horní hranici koncentrace aminokyselin v oceánu jako 3×10^{-4} M.⁶⁵ Od té doby se James Corliss i ostatní přiklánějí k názoru, že se současné organismy do těchto průduchů pouze přestěhovali. Vznik života v tepelném průduchu zůstává pochybnou myšlenkou postrádající jak detailní koncepci, tak experimentální podporu.

První metabolické hypotézy. Některé poměrně nedávné návrhy uvádějí, že život mohl začít na pevném povrchu jako metabolický proces - cyklická chemická reakce řízená určitým zdrojem energie. Gunter Wächterschauser navrhuje, že pyrit obsahující atomy železa a síry má kladný povrchový náboj, k němuž mohly být připojeny organické molekuly. Probíhající tvorba tohoto minerálu mohla dodávat energii pro vzájemné reakce organických molekul, čímž by vzrůstala jejich složitost. Povšimněte si, že se tento model nezabývá problémem, jak zabudovat informaci do organických molekul, ale pouze možností usnadnění polymerace. Ke své cti sám Wächterschauser připouští, že jeho teorie je z větší části pouhou spekulací.⁶⁴

Teorie Christiana de Duve, která je popsána v *Blueprint for a Cell* se soustředí na sloučeniny síry nazývané thioestery.⁶⁵ Opět jde o snahu nalézt zdroj energie, která by při průchodu systémem chemických reakcí usnadnila tvorbu důležitých biopolymerů. Ale opět je opominuta otázka informace; tento systém by pouze dodal energii odpovídající 30 cal/g entalpie a tepelným entropickým změnám. V tomto případě bude tedy nanejvýše usnadněna polymerace jinak těžko spojitelných molekul stavebních kamenů, bez ohledu na jejich přesnou sekvenci a uspořádání, které je nezbytné pro vytvoření biologické funkce.

Samouspořádání v přírodě. Laureát Nobelovy ceny I. Prigogine studoval do značné míry snahu po samouspořádání v přírodě, jejímž příkladem jsou konvekční tok tepla a tvorba vírů, jež lze pozorovat např. při vypouštění vody z vany.⁶⁶ Prigoginova práce vytvořila rámec pro pochopení okolností, za nichž se projeví fenomén samouspořádání se. Zejména ukázal, že tyto jevy jsou pozorovány v systémech nalézajících se daleko od rovnováhy a je pro ně charakteristické nelineární chování.

Někdy se uvádí, že Prigoginova práce nabízí potenciální řešení problému vzniku života, ačkoliv Prigogine sám je v tomto ohledu mnohem skromnější.⁶⁷ Při aplikaci jeho práce na vznik života narážíme na problém, že spontánní uspořádání, které je typické pro Prigogineovy systémy vzdálené rovnováze, se jen málo podobá informačně bohatým a aperiodickým strukturám biopolymerů. Existuje vzdálená podobnost mezi uspořádaností nalézající se v krystalech, vírech a pod. a specifickou složitostí potřebné sekvence aminokyselin tvořících funkční protein. Je tedy obtížné si představit, jak mohou tyto myšlenky vyřešit záhadu nalézající se v samém srdci tajemství vzniku života.

Eigen a "hypercyklus". M. Eigen vytvořil jednu z nejkompaktnějších prací ve snaze zjistit, jak mohl vzniknout jednoduchý živý systém.⁶⁸ Jeho práce je občas považována za

řešení problému vzniku života. Eigen však uznává, že jeho "jednoduchý" systém je ve skutečnosti dosti složitý, představuje uskupení různých molekul proteinů a RNA. Souhlasí s tím, že se jeho práce týká spíše vývoje možných dávných živých systémů než jejich vzniku. Nemá tedy pro pochopení vzniku života význam snad kromě toho, že podrobně definuje systém s minimální složitostí, který je schopen zajišťovat základní životní funkce a má jistou schopnost se vyvíjet.

Informace: svatý grál výzkumu vzniku života

Bylo vytvořeno množství důmyslných schémat ukazujících průběh jinak energeticky nevýhodných chemických reakcí, pomocí nichž se z rozličných stavebních kamenů utvářejí biopolymery. Tvorba biopolymerů (např. proteinů) pouze ze správných stavebních kamenů (tj. aminokyselin v případě proteinů) a to pouze ze správných izomerů (L-aminokyselin) spojených pouze správnými vazbami (peptidovými vazbami) a se správným pořadím stavebních kamenů (vlastní sekvence aminokyselin v proteinu) představuje skutečně hrůzu nahánějící problém.

Živé systémy řeší tento problém pravděpodobně pomocí informačně bohatých templátů. Tak lze tvorbě informačně bohatých biopolymerů snáze porozumět. Vznik těchto složitých systémů, které jsou jednak informačně bohaté a jednak schopné autoreprodukce, je jádrem problému výzkumu vzniku života.

Sir Francis Crick poté, co uvážil tyto i další problémy spojené se vznikem života, poznamenal: "Vznik života vypadá jako zázrak, neboť je provázen množstvím obtíží."⁶⁹ V roce 1988 uzavírá Dose svůj vynikající přehledný článek tvrzením, že řešení obtíží výzkumu vzniku života se zdá být "mimo naši představivost."⁷⁰ Shapiro důrazně dokládá, že všechny současné teorie zkrachovaly a že musíme nalézt nové a úspěšnější paradigma, které povede naše hledání přirozeného vysvětlení vzniku života.⁷¹

S tím naprosto souhlasíme. Oparinovo-Haldaneovo paradigma již zřejmě neplní svou funkci, ale neexistují ani vyhlídky na vhodnou náhradu. Domníváme se však, že není nezbytné hledat řešení problému pomocí obvyklých schémat vycházejících pouze z chemie a fyziky, moudrostí, která omezila naše uvažování na přirozené příčiny.

V roce 1967 publikoval v *Chemical and Engineering News* britský filozof a fyzikální chemik Michael Polanyi významný článek nadepsaný "Život za hranicemi chemie a fyziky" (Life Transcending Physics and Chemistry). Uvedl, že chemie a fyzika mohou zodpovědně vysvětlit všechno v přírodě kromě lidských strojů a živých systémů. Zatímco, řekl, mohou být operace každé části automobilu vysvětleny v rámci obvyklých hranic

přírodních zákonů, jak je ozřejmuje chemie a fyzika, jeho existence vyžaduje vysvětlení, které přesahuje samotnou chemii a fyziku. Chod automobilu je umožněn působením zákonů chemie a fyziky za značně neobvyklých omezujících podmínek (informačně bohatých), které musel kdosi stanovit.

Polanyi dokazuje, že u živých systémů je tentýž problém. Operace v nich probíhající lze dobře chápat v rámci chemie, ale jejich vznik vzdoruje jednoduchému chemickému a fyzikálnímu vysvětlení. Zdroj informačně bohatých počátečních podmínek leží mimo říši samotné chemie a fyziky.

V následující části se podrobněji zmíníme o hypotéze, která vysvětluje existenci živých systémů působením nějaké inteligentní příčinné síly.

Hypotéza inteligentního záměru

Ve světle předcházející analýzy se domníváme, že existují důvody k pochybám, zda se uskutečnila prebiotická evoluce, a jako alternativu předkládáme inteligentní záměr. Sagan, Miller, Fox, Shapiro a většina dalších vědců zabývajících se vznikem života trvala na tom, aby byla dále hledána přirozená cesta; jsou přesvědčeni o tom, že prebiotickou evolucí vznikl život. Naše pochybnosti pramení však z praktických zkušeností. Zatvrzelá obhajoba prebiotické evoluce vychází z filozofické oddanosti, jež je zcela vzdálena praktické zkušenosti.

Vědci obvykle odmítají možnost alternativy k přirozenému procesu pokud jde o dichotomii přirozený-nadpřirozený. Mnoho teistů a naturalistů v metafyzice⁷² souhlasí s přijetím *metodologického* naturalismu - tj. oddanost hledání přirozených procesů bez ohledu na metafyzickou oddanost. Ať nadpřirozeno existuje nebo ne, říkají, že je nezbytné přistupovat k vědě z hlediska přirozených procesů, protože ostatní způsoby nemají s vědou co dělat. Souhlasíme se záměrem tohoto přístupu chránit nedotknutelnost vědy. Domníváme se však, že tento přístup je chybný a že jeho zastánci kladou nadbytečný požadavek jak na přírodu tak na vědeckou metodologii. Tento názor se nezmění ani v případě, že bude nalezena přirozená příčina nepřetržitého chodu světa. Myslíme si, že uvedený přístup je v rozporu s duchem vědy a zavání spíše metafyzickou oddaností - která se, pokud není rozpoznána, stává nebezpečnou.⁷³

Prvním krokem směřujícím k nové alternativě je odhalení skutečnosti, že výrazy "přirozený-nadpřirozený" jsou vlastní metafyzice, ale ne vědě, která se opírá o zkušenost. V mezích zkušenosti používáme pojem příčiny v obecném smyslu, v němž je zahrnuto přirozené i inteligentní působení. To znamená, že uvádíme do vztahu přirozenou a inteligentní příčinu bez ohledu na metafyzické kategorie. Věda je slepá k metafyzice a ani

nepotvrzuje ani nepopírá nadpřirozeno; také ani nepotvrzuje ani nepopírá *naturalismus*, který vysvětluje vše přírodními procesy.

Člověk velmi často nedokáže pouze na základě svých zkušeností rozpoznat, zda příčina události je přirozená nebo inteligentní. V takovém případě je rozumné držet se rady filozofa Ludwiga Wittgensteina: "O čem člověk nedokáže hovořit, o tom má mlčet."⁷⁴ Mnoho lidí je však puženo zvláštní silou, která je nutí pojmenovat příčinu, i když si jí nemohou být jisti. "Příčina" je téměř vždy plodem jejich filozofie nebo náboženství. Někdy se později ukáže, že měli pravdu a jsou oslavováni pro jejich inteligenci a předvídavost. Jejich tvrzení bylo však jen přáním nebo tušením, i když mohlo vzniknout se vší jistotou a přesvědčením očitého svědka. Jindy se mýlí. V obou případech tvoří jejich pošetilé tvrzení, které nemá experimentální podklad, překážku v poznávání přírody.

Bohužel, uvedené chování není v historii vědy neobvyklé. Jak uvedl Daniel Boorstin: "Největší překážkou objevení tvaru Země, kontinentů a oceánů nebyla nevědomost, ale iluze o znalostech."⁷⁵ Podle naší zkušenosti je tento jev tím, co vedlo k přehnanému očekávání nalezení organických sloučenin, ne-li samého života, na Marsu, a zodpovídá za současný optimismus těch, kteří dychtí po uskutečnění dalšího výzkumného letu na Mars.

Argumentování na základě analogie. Na základě čeho lze jako příčinu nějaké minulé události vidět inteligenci? Obecně řečeno, k důkazu vlivu inteligence a k důkazu přirozené příčiny používáme stejnou metodu, tj. stejnou smyslovou zkušenost. Nazývá se metodou analogie. Filozof David Hume (1711 - 1776), který se metodou analogie zabýval velmi intenzivně, řekl: "Očekáváme, že příčiny, které vyhlížejí *podobně*, budou mít podobné následky." Hume dále uvádí: "Stejně pravidlo platí, jestli příčina způsobila existenci neinteligentní nevědomé hmoty nebo racionálního inteligentního bytí."⁷⁶ Pokud tedy při odpolední procházce po pláži narazíme na nápis v písku "John miluje Marii", dospějeme na základě našich zkušeností k závěru, že ho někdo, snad i John nebo Marie, napsali.

Na dokreslení metody analogie si představme archeologické naleziště. Archeologové normálně používají principy analogie při určování inteligentní příčiny existence nějakého nálezů. Úvaha je asi taková: Dnes vidíme umělce vyrábějící keramiku. Zkoumáme-li tedy archeologické naleziště v Mezopotámii a nalezneme střepy hliněné nádoby, budeme se logicky domnívat, že i ji vytvořil hrnčíř.

Někdy však nelze rozhodnout tak jednoduše. Např. eolity byly považovány za artefakty vytvořené z pazourku; později se přišlo na to, že se podobají přírodním pazourkům, které se rozpadly přemíláním v proudu vody. Archeolog Kenneth Oakley však upozornil: "Pro přirozeně odštěpené pazourky obecně platí, že se dají snadno odlišit od těch, které vytvořil člověk, protože jejich povrch postrádá logiku, pazourkovité kameny se vyskytují v neekonomickém nadbytku, hrany jsou potlučené a povrchy pazourku jsou zpravidla drsné."⁷⁷

V devatenáctém století propagoval astronom John F. W. Herschel analogickou metodu dedukce neznámých příčin na základě pozorovaných příčin: "Jsou-li si dva jevy velmi důkladně a nápadně podobné, a je-li současně příčina jednoho z nich zřejmá, bude stěží možné nesouhlasit s analogickou příčinou i druhého jevu, i když jako taková není jasně viditelná."⁷⁸ Metoda analogie určení příčin zaujímá také důležité místo ve významné práci Charlese Lyella, jejíž ústřední myšlenka - "Současnost je klíčem k minulosti"⁷⁹ je uchovávána v geologické literatuře jako svátost.

Vědci se spoléhali na metodu analogie více než 150 let. Obrovský úspěch vědy je přinejmenším částečným důkazem správnosti této metody. Na základě zkušenosti jsme se naučili přisuzovat jednotlivému jevu určitý druh příčiny, a pokud se pak setkáme s podobným jevem, tak samozřejmě a automaticky tomuto jevu přiřadíme podobnou příčinu. Tento názor vychází z našeho souboru zkušeností. Metoda analogie je zcela obecná a je užívána při rozpoznávání přirozených nebo inteligentních příčin.

Výzkum ETI. Existoval názor, že na Marsu jsou kanály. To vedlo k úvahám o existenci inteligentního života na této planetě. Ačkoliv byla tato myšlenka chybná, opět představuje způsob našeho uvažování: setkáme-li se s určitými druhy jevů, přisuzujeme jim v duchu principu analogie inteligentní původ.

Tento druh úvah využívali také astronomové při hledání inteligentního života ve vesmíru. Je běžně používán v týmech NASA určených pro vyhodnocování dat z planet a jejich měsíců. Při posuzování důkazů inteligentního života na planetách je rozhodujícím kritériem nalezení rysů charakteristických pro věci produkované inteligencí.

Současné hledání mimozemské inteligence (search for extraterrestrial intelligence = SETI) také dokumentuje přijatelnost inteligentních příčin ve vědě. Nelze vytvářet dojem, že ETI skutečně existuje, protože pro to chybí důkaz. Současný program SETI je však uskutečňován v rámci legitimní vědy.

Pokud někdy vědci zachytí radiové vlny z vesmíru, které byly vyslané ETI, jak je odliší od šumu? Tato otázka leží v podtextu sci-fi povídky *Kontakt* Carla Sagana. Sagan nás upozorňuje na to, že sice na naši planetu neustále dopadá množství radiových vln, ale všechny jsou přirozeného původu. Toto záření je "způsobeno fyzikálními procesy - spirálním pohybem elektronů v galaktickém magnetickém poli nebo vzájemnými srážkami molekul v mezihvězdném prostoru nebo vzdálenými ozvěnami rudého posuvu gamma paprsků, k němuž došlo při velkém třesku na počátku vesmíru - jejichž důsledkem je, že mírné a zchladlé radiové vlny v dnešní době naplňují celý vesmír." Dosud "se z hlubin vesmíru nevynořil žádný skutečný signál, cosi vytvořeného, něco umělého, něco vymyšleného cizím intelektem."⁸⁰

Podobně jako v Saganově povídce sledují rozličné radioteleskopy pečlivě oblohu, aby zachytily nějaký umělý elektromagnetický signál, který by zjevně nebyl jen náhodným radiovým šumem. Např. signál představovaný sérií prvočísel by prozrazoval existenci vzdálené civilizace (prvočísla jsou čísla dělitelná pouze sama sebou a 1). Společenství vědců SETI považuje jakýkoliv přirozený mechanismus generující prvočísla za tak nepravděpodobný, že jejich řada přicházející jako signál z vesmíru by byla přijata jako důkaz existence mimozemské civilizace.

Během doby bylo vytvořeno několik programů SETI, na jejichž počátku stál v roce 1960 projekt Ozma. Novější je projekt Sentinel, hlavní projekt Planetární společnosti.⁸¹ Jeho rozšířená verze nazvaná projekt META (Megachannel Extraterrestrial Assay) může prozkoumat více než osm miliónů radiových kanálů, není-li mezi nimi radiový signál z vesmíru.⁸² V roce 1992 odsouhlasil SETI americký kongres 100 miliónů dolarů na sledování radiových vln, na poslech miliónů radiových kanálů, aby bylo možné zachytit signály, které by ukázaly, že se během evoluce objevil inteligentní život i někde jinde ve vesmíru.⁸³

Astronom Carl Sagan tvrdil, že jediná zpráva z vesmíru by potvrdila existenci mimozemské inteligence: "Jsou tací, kteří věří v řešitelnost našich problémů, v to, že lidstvo ještě prožívá své dětství a že brzy přijde den, kdy dospěje. Přijetí *jediného poselství z vesmíru* by ukázalo, že je možné přežít toto technologické dospívání; civilizace, která by vyslala zprávu, by je konec konců přežila."⁸⁴

Jsou-li Saganovy předpoklady správné, co pak můžeme vyvozovat z velkého množství informací, které je vlastní i nejjednoduššímu živému systému? Je vhodné usuzovat z této skutečnosti na existenci inteligentní příčiny? Měla by ztráta věrohodnosti podobných argumentů založených v 18. století na

teologii způsobit náš zájem o takové hypotézy? Touto kritickou otázkou, kdy (jestli vůbec) bude potvrzena správnost úvahy o inteligentní příčině pomocí vědeckých pozorování, se budeme dosti obšírně zabývat v následující části.

Pokud neexistuje jednoznačná zkušenost, nemáme jistotu ohledně toho, zda příčina určitého jevu byla přirozená nebo inteligentní. Pro ilustraci si představme, že jsme detektivové vyšetřující smrt člověka. Jednalo se o vraždu nebo o přirozenou smrt? Odpověď nemůžeme znát předem. Musíme vyšetřovat a nalézt. Kdyby detektiv na začátku svého vyšetřování prohlásil, že smrt mohla být pouze přirozená, protestovali bychom proti tomu tvrzením, že došlo k nelegitimnímu omezení možných příčin. Protože to, co bychom chtěli odhalit naším výzkumem, je přesně totéž, tedy zda smrt nastala v důsledku vlivu inteligence (vražda) nebo zda byla přirozená, potřebujeme metodu zkoumání, která připouští obě vysvětlení. Zrovna tak i ti, kteří se upřímně snaží objevit, zda událost v přírodě je výsledkem intelektu nebo přírodního procesu, potřebují metodu připouštějící obě vysvětlení. Potřebujeme metodu, která nám umožní rozhodnout s nejvyšší pravděpodobností mezi oběma variantami.

Jaká současná pozorování jsou klíčem k minulosti?

Viděli jsme legitimnost metody analogie, která směřuje od současného pozorování do minulosti. Aplikací tohoto stylu uvažování na otázku vzniku života chceme zjistit, zda je život výsledkem přirozených nebo inteligentních příčin. Hledáme důkaz, že tento jev má tytéž charakteristiky jako objekty, které známe z naší zkušenosti. Má objekt, jehož původ chceme objasnit, typickou vlastnost, o níž ze zkušenosti víme, že označuje produkty působení inteligence? Pokud ano, pak mu můžeme přisoudit inteligentní příčinu. Nalezneme-li charakteristiku, která ze zkušenosti ukazuje na přirozenou příčinu, pak mu přisoudíme přirozenou příčinu. Jinak jednoduše přiznáme, že nemáme dostatek informací pro to, abychom mohli rozhodnout.

Princip analogie vyžaduje pouze, aby příčina pozorovaná v přítomnosti byla podobného druhu jako příčinu předpokládaná pro minulost. Např. není nutné nalézt v současnosti život spontánně vznikající z neživého materiálu, abychom předpokládali, že se tak stalo v minulosti. Vše, co je třeba pro přijatelný scénář přirozeného původu života, je nalézt podobný příklad, kde je nějaký charakteristický rys života vytvořen přirozeně (a to je hlavní cíl laboratorních modelových pokusů). Podobně nemusíme chytit při činu intelekt v současnosti působící, který by byl identický s intelektem předpokládaným v minulosti, abychom učinili scénář inteligentní příčiny věrohodným. Vše, co je nutné, je

pozorovat podobné druhy inteligentních příčin, které regulérně vytvářejí nějaký charakteristický rys života.⁸⁵ Na základě čeho lze rozhodnout o podobnosti příčin? Na základě "nápadné a důkladné" podobnosti jevů.⁸⁶

V současnosti pozorovatelnou inteligentní příčinou je zpravidla člověk. Ale lze předpokládat i ostatní formy inteligence. Vracíme-li se zpět od jevu k příčině, je domnělá inteligence druhově specifická: teoreticky by mohla být z této Země nebo být mimo ni. Vědci pracující na programu SETI nepotřebují předpokládat lidskou inteligenci, která vysílá radiová poselství z vesmíru. Na základě analogie potřebujeme pouze předpokládat inteligenci *podobnou* lidské. Postulujeme-li inteligentní příčinu vzniku života, nemůže to být lidská inteligence, protože lidé tehdy ještě neexistovali. Nicméně, jestliže dokážeme vykonstruovat přijatelný analogický případ, můžeme předpokládat podobnou inteligentní příčinu.

Jaká spojení příčiny a jevu jsou v současnosti pozorována, která by opravňovala příznivce chemické evoluce usuzovat na přirozenou příčinu vzniku života? Co nám umožňuje usuzovat na inteligentní příčinu? Stejně jako v jiných oblastech vědy i zde spoléháme na prubířský kámen získané smyslové zkušenosti.

Základní rozdíl mezi hlediskem hypotézy chemické evoluce a hlediskem hypotézy inteligentního původu je, že odlišná vybraná pozorování ze současnosti tvoří základ pro použití analogie směrem do minulosti. Chemická evoluce vychází z laboratorních experimentů, které, jak uvádějí její příznivci, jsou přijatelnými nápodobami událostí, jež se uskutečnily na dávné Zemi. Jenže ani život ani nic jiného, co by se podstatným způsobem podobalo základním rysům života, nebylo při těchto laboratorních pokusech získáno. Hodně optimismu vzniklo kolem návrhů přijatelných cest vedoucích k životu (jako v Millerově původní práci), tento optimismus však postupně vytěkal.

Klasické teologické důkazy

Jaká pozorování v současnosti vedou zastánce inteligentního vlivu při tvorbě analogie do minulosti? Názor o vlivu inteligence vychází ze soudobého pozorování, že lidský intelekt je potřebný k tvorbě složitého uskupení hmoty, s jakým se můžeme setkat např. v počítačích, v literárních dílech, malbách a mostech. Je-li současnost klíčem k minulosti, pak za všechna odpovídajícím způsobem podobná složitá uskupení z minulosti musí odpovídat inteligentní příčina podobná lidské.

Názor inteligentního vlivu na vznik života byl dominujícím názorem inteligence po většinu dějin západu až do konce

devatenáctého století. Typický teologický argument směřoval přímo od uspořádání vesmíru k existenci inteligence (boha) zodpovědné za toto uspořádání. Od nepaměti krása ptáků a květin, střídání ročních dob a význačná přizpůsobivost živých tvorů vedla lidi k předpokladu existence jakési inteligentní příčiny, která se za tím vším nachází.

Během vědecké revoluce v sedmnáctém století nabyl tento argument uspořádanosti ještě na síle. Vědci studovali spletité struktury do hloubky a detailu, což bylo doposud neobvyklé. Mnozí se stali přesvědčenějšími než kdy před tím, že taková uspořádanost vyžaduje inteligentní příčinu. Isaac Newton vyjádřil všeobecný názor slovy: "Tento nejkrásnější systém Slunce, planet a komet mohl vzniknout pouze z rad a působení nějakého inteligentního a mocného jsoucna."⁸⁷ Teologický důkaz jsoucnosti boží byl vždy většinou vědců přijímán. Je nejempiričtější z argumentů, neboť je založen na výzkumných předpokladech o druhu uspořádanosti jakou nalézáme v přírodě.⁸⁸

Ironií osudu to byla opět vědecká revoluce která nakonec způsobila, že mnozí zavrhlí teologický důkaz. Vědci opakovaně nalézali přirozené příčiny pro události, které byly do té doby záhadné. Mohou-li přirozené příčiny vysvětlit tyto věci, usuzovali, snad mohou vysvětlit také všechno ostatní. Potřebujeme skutečně inteligentní příčinu k vysvětlení uspořádanosti světa?

Vezměme si strukturu sněhové vločky. Složitá krása sněhové vločky vedla mnohého věřícího k protestu proti moudrosti Stvořitele. Nicméně struktura sněhové vločky není záhadná ani nadpřirozená. Vzniká přirozeným procesem dendritického růstu, který provází fázovou změnu vody z kapalného do pevného skupenství.

Klasickým argumentem teologických tvrzení je, že uspořádanost existující kolem nás nemohla vzniknout z přirozených příčin. Sněhová vločka dokazuje nesprávnost tohoto tvrzení. Je dokladem toho, že alespoň některé druhy uspořádanosti mohou vznikat z přirozených příčin. A pokud hmota sama může dát vzniknout uspořádanosti v nějakém případě, proč by to tak nemohlo být i v jiných případech? Proč se ještě potřebujeme zaměřovat na inteligentní Jsoucno kvůli vysvětlení vzniku života a světa? Potřebujeme pouze pokračovat v hledání přirozených příčin. Trend směřující od teologie vyvrcholil v Darwinových důkazech, že přirozený výběr vytvořil "zjevné uspořádání světa"; to znamenalo, že odpadla potřeba inteligentního Tvůrce. Tak tento problém našel své místo ve vědecké komunitě a ve světě na více než jedno století.

Díky aplikaci informační teorie si nyní uvědomujeme, že skutečně existují dva druhy uspořádanosti. První druh (sněhová

vločka) vzniká v důsledku vlastností materiálu, z něhož je daná věc tvořena (v tomto případě z molekul vody). Nemůžeme z toho usuzovat na inteligentní příčinu, snad kromě čehosi, co je obrazně řečeno kdesi nad přirozenou příčinou. Druhý druh není však důsledkem ničeho, co je v hmotě samé. To je v principu protikladné k čemukoliv, co vzniká přirozeně. Tento druh uspořádanosti tvoří důkaz inteligentní příčiny.

Moderní teologické argumenty

Nyní mnohem podrobněji vysvětlíme dva zmiňované druhy uspořádanosti. Při putování různými částmi Spojených států můžete narazit na neobvyklé skalní útvary. Turistický průvodce by vám vysvětlil, že tyto tvary vznikají, když je skála tvořena více než jedním druhem minerálu. Díky tomuto proměnlivému složení jsou některé části skály měkčí než ostatní. Déšť a vítr způsobí erozi rychleji v měkkých částech útvaru, kdežto tvrdší místa zůstanou nedotčena a vyčnívají do prostoru. Tímto způsobem vznikne skalní útvar nepravděpodobného tvaru. Může dokonce připomínat nějaký známý objekt, např. tvář. Na druhou stranu může útvar vypadat, jako kdyby byl takto úmyslně otesán. Při bližším prozkoumání z různých úhlů si povšimnete, že podobnost je jen povrchní. Tvar vždy odpovídá tomu, co dokáže eroze s přirozenou kvalitou skály (měkké části odstranila, tvrdé části vyčnívají). Po té dospějete k závěru, že skála vznikla přirozenou cestou. Za to, co vidíte, skutečně nesou zodpovědnost přírodní síly.

Nyní si uvedeme příklad odlišného druhu uspořádanosti. Řekněme, že na svých cestách navštívíte Mount Rushmor. Narazíte tam v žulové stěně na čtyři tváře. Hrany těchto tváří nesledují přirozenou skladbu skály; odštípnutá místa vypovídají, že byla odsekuta měkká i tvrdá část. Tyto tvary nepřipomínají nic, o čem jsme se přesvědčili, že vzniklo erozí. V tomto případě není tvar skály výsledkem přirozeným procesů. Spíše na základě jednoznačné zkušenosti budeme předpokládat, že vše je dílem nějakého řemeslníka. Tyto čtyři tváře vytvořila ve skalní stěně inteligence.

Nikomu z nás nepřipadá obtížné rozlišit od sebe tyto dva druhy uspořádanosti, z nichž jeden vznikl vlivem přirozených sil a druhý v důsledku inteligence. Vrátime-li se zpět k teologickému argumentu, otázka zní: "S jakým druhem uspořádanosti se setkáváme v přírodě?" Pokud bychom našli pouze první druh, pak bychom mohli říci, že k vytvoření vesmíru, tak jak ho dnes známe, stačily pouze přirozené síly. Pokud ovšem narazíme na nějaký příklad druhého druhu uspořádanosti, druhu vytvořeného inteligencí, bude to důkaz působení inteligentní příčiny. Věda sama by pak směřovala za hmotný svět směrem k jeho vzniku, který umožnila inteligentní síla.

Existuje v současném biologickém světě něco, co by podle výše zmiňovaných kritérií svým charakterem ukazovalo na inteligentní příčinu? Existuje něco, co by mohlo na základě zkušenosti potvrdit, že život vznikl v minulosti vlivem působení inteligence?

Moderní teologický argument a informace

Jednou z největších událostí ve vědě dvacátého století je jistě odhalení struktury DNA a vyřešení genetického kódu. DNA je známou molekulou dědičnosti. Každý z nás začal jako maličký míček velikosti tečky za větou. Všechny naše fyzické vlastnosti - výška, barva vlasů, barva očí atd. - byly zapsány v naší DNA. Ta určovala náš vývoj až do dospělosti.

Základní struktura DNA je celkem jednoduchá, ačkoliv z hlediska funkčnosti je neuvěřitelně složitá. Nyní většina gramotných lidí ví o dvojšroubovicové struktuře molekuly DNA. Vypadá jako žebřík stočený do spirály. Molekuly cukru a fosfátu tvoří strany tohoto žebříku. Jako příčky slouží čtyři druhy bází. Jsou to adenin, thymin, guanin a cytosin. To jsou písmena genetické abecedy. Jejich kombinováním do různých sekvencí vznikají slova, věty a odstavce. V pořadí těchto bází jsou ukryty veškeré instrukce potřebné pro existenci funkční buňky.

Zastánci inteligentního původu života tvrdí, že molekulární biologie odhalila analogii mezi DNA a jazykem a dala tím vzniknout *sekvenční hypotéze*. Sekvenční hypotéza předpokládá, že přesným uspořádáním symbolů je zaznamenána informace. Základní sekvence v DNA kódovaně hláskují instrukce, jak např. buňka tvoří proteiny. Funguje to stejným způsobem, jako v tomto textu poskytují písmena abecedy v určitém pořadí informaci o vzniku života. Genetický kód funguje naprosto stejně jako jazykový kód - skutečně to je kód. Je to molekulární komunikační systém: v sekvenci chemických "písmen" je v každé živé buňce uložena a přenášena komunikace.

Komunikace je možná bez ohledu na to, jaké symboly tvoří abecedu. Dvacet šest písmen používaných v angličtině, třicet dva písmen azbuky používaných v ruském jazyce a čtyři písmena genetické abecedy - všechny slouží srovnatelně při komunikaci.

Informační teorie je vědou přenosu zpráv vytvořenou Claudem Shannonem a dalšími inženýry v Bellových telefonních laboratořích koncem čtyřicátých let. Zabývá se matematickými prostředky měření informace. Informační teorie je použitelná pro jakýkoliv systém symbolů bez ohledu na kvalitu prvků tohoto systému. Tzv. Shannonovy informační zákony jsou stejně dobře použitelné v lidském jazyce, Morseově kódu i genetickém textu.

Existuje strukturní identita mezi základními sekvencemi zprávy v DNA a sekvencemi písmen abecedy v napsané zprávě a to nás ujišťuje o tom, že analogie je "nápadná a důkladná", jak zněla Herschelova podmínka. Tato strukturní identita je základem pro aplikaci informační teorie v biologii. Jak uvedl Hubert P. Yockey v *Journal of Theoretical Biology*: "Sekvenční hypotéza je použitelná přímo pro proteiny a genetický text stejně jako pro psaný jazyk, a tedy i matematický aparát je v obou případech identický."⁸⁹

Tento závěr je velmi důležitý pro současnou diskusi o vzniku života a je v současné době zastánci inteligentního počátku života využíván jako klíč k minulosti. Pokud jde o napsané poselství, víme, že za ním stojí inteligentní příčina. Použitím analogie dospějeme k závěr, že pozoruhodné sekvence v DNA mají také inteligentní původ. Na základě analogie také usuzujeme, že tato inteligence se podobá lidské inteligenci. Protože je DNA nezbytnou molekulární složkou každé formy života, který známe, dospějeme podobně k závěru, že život na Zemi má inteligentní příčinu.

Objev, že DNA je nositelem genetické zprávy, dává teologickému argumentu nový význam. Protože život je ve své podstatě systém chemických zpráv, je počátek života počátkem informace. Genetické poselství je velmi specifickým druhem uspořádanosti. Představuje specifickou složitost".⁹⁰ Abychom porozuměli tomuto výrazu, musíme se stručně zmínit o informační teorii a její aplikaci v biologii.

Informační teorie umožňuje měřitelnost informace, a tak realizuje jeden důležitý cíl matematiků. Nalézá své místo v biologii díky svojí schopnosti kvantifikovat uspořádanost a vyjádřit ji číselně. Biologové již dávno pochopili důležitost pojmu uspořádanosti. Dokud neexistoval způsob, jak uspořádanost měřit, nebyl v tomto ohledu možný téměř žádný další vývoj. Uspořádanost, hovoříme-li řečí informace, to dokáže. "Hrubě řečeno," říká Leslie Orgel, "informační obsah struktury představuje minimální počet instrukcí potřebných pro specifikaci této struktury."⁹² Složitost struktury roste s počtem instrukcí nezbytných pro její specifikaci a s množstvím informace, kterou obsahuje.

Náhodné struktury vyžadují jen velmi málo instrukcí. Chceme-li např. napsat skupiny písmen, které nedávají smysl, potřebujeme pouze dvě nezbytné instrukce: "Napiš písmeno mezi A a Z" a "Opakuj předchozí příkaz," opakované až do konce. Vysoce uspořádaná struktura jako je např. skupina neustále se opakujících písmen nebo čísel vyžaduje také jen několik instrukcí. Kniha, v níž se neustále opakuje věta "Miluji tě," představuje vysoce uspořádanou skupinu písmen. Je potřeba několik instrukcí, které specifikují, jaká písmena je třeba

zvolit a jaké je jejich pořadí. Tyto instrukce doplněné o výzvu "Opakuj předchozí" tolikrát, kolikrát je třeba, umožňují vytvořit knihu. Na rozdíl od náhodných nebo uspořádaných sekvencí vyžadují složité struktury množství instrukcí. Chceme-li, aby počítač napsal např. báseň, musíme specifikovat každé písmeno. To znamená, že báseň má vysoký informační obsah.

Specifikování sekvence

Informace v tomto kontextu znamená přesné určení neboli specifikování pořadí písmen. Již jsme uvedli, že zpráva představuje "specifickou složitost." Nyní již rozumíme pojmu *specifická*. Nejspecifičtější je věc, u níž je možná volba při vyplnění každé instrukce.

V náhodném případě jsou možnosti volby neomezené, každá z nich má stejnou pravděpodobnost. Např. při tvorbě souboru náhodně zvolených písmen není výběr písmen v kterémkoli kroku nijak omezován. Písmena nejsou specifikována.

Naproti tomu je uspořádaná struktura, jako např. naše kniha plná výrazů "Miluji tě," vysoce specifická, ale zpráva se neustále opakuje, takže celek není složitý, ačkoliv je každé písmeno specifikováno. Jak již bylo řečeno, má nízký informační obsah, protože k jejímu specifikování je potřeba jen málo instrukcí. Uspořádané struktury a náhodné struktury jsou si podobné v tom, že obě mají nízký informační obsah. Liší se tím, že uspořádané struktury jsou vysoce specifické a náhodné struktury jsou nespecifické.

Složitá struktura, jako je báseň, je rovněž vysoce specifická. Liší se však od uspořádané struktury tím, že je nejen vysoce specifická, ale má i vysoký informační obsah. Napsání básně vyžaduje nové instrukce pro specifikace každého písmene.

Stručně řečeno, informační teorie nám poskytuje nástroj k rozlišení dvou druhů uspořádanosti, o nichž jsme hovořili v předchozí části. Nedostatek uspořádanosti - nahodilost - není jevem ani specifickým ani nemá vysokou informační hodnotu.

První druh uspořádanosti nalezneme např. u sněhových vloček. Použijeme-li výrazy informační teorie, je sněhová vločka specifická, má ale nízký informační obsah. Její uspořádanost vzniká neustálým opakováním jednoduché struktury. Je to též případ jako kniha plná výrazů "Miluji tě." Druhý druh uspořádanosti, s nímž jsme se setkali na tvářích na Mount Rushmore, je jak specifický, tak má i vysoký informační obsah.

Život obsahuje informaci

Molekuly charakterizované specifickou složitostí tvoří živé objekty. Tyto molekuly jsou zejména DNA a proteiny. Naproti tomu spadají objekty neživé přírody do jedné ze dvou následujících kategorií. Jsou buď nespecifické a náhodné (kusy žuly a směs náhodných nukleotidů) nebo specifické ale jednoduché (sněhové vločky a krystaly). Krystal nelze posuzovat jako živý objekt, protože postrádá složitost. Podobně tak nelze pohlížet na řetězec náhodných nukleotidů, protože ten není specifický.⁹³ Žádné neživé objekty s výjimkou DNA a proteinů živých objektů, lidských výtvorů a psaného jazyka, nemají specifickou složitost.

Biologové dlouhou dobu přehlíželi rozdíl mezi těmito dvěma druhy uspořádanosti (jednoduchá, periodická uspořádanost versus specifické složitosti). Až nyní si uvědomili, že charakteristickým rysem živých systémů není uspořádanost ale specifická složitost.⁹⁴ Sekvence nukleotidů v DNA nebo aminokyselin v bílkovinách není opakující se uspořádanost typická pro krystaly. Podobá se spíše písmenům v napsané zprávě.

Zpráva není složena z neustále se opakující sekvence písmen. Nepředstavuje jinak řečeno první druh uspořádanosti. Ve skutečnosti jsou písmena, která tvoří zprávu, v určitém smyslu náhodná. V písmenech *g-i-f-t* není ukryto nic, co by napovědělo, že toto slovo v angličtině znamená "dar." Ve skutečnosti totéž slovo znamená v němčině "jed." Ve francouzštině nemá tato sekvence písmen žádný význam. Budete-li procházet skupiny písmen řecké abecedy a neznáte-li řečtinu, nedokážete je přečíst. Nedokážete ani říci, zda písmena tvoří řecká slova, nebo zda jsou jen náhodně uskupena. Tam neexistuje žádný detegovatelný rozdíl.

To, co odlišuje zprávu, je, že určité náhodné uskupení písmen má nějaký význam podle dané konvence symbolů. Nic neodlišuje sekvenci *a-n-d* od *n-a-d* nebo *n-d-a* pro člověka, který neumí anglicky. V angličtině je však sekvence *a-n-d* vysoce specifická a má zvláštní význam. Jak barvitě vyjádřil Henry Quastler, je to "zapamatovaný náhodný výběr."⁹⁵

Nyní víme, že neexistuje žádná souvislost mezi pravidelně se opakující sekvencí a specifickou složitostí v proteinech a DNA. Nemůžeme, tak jako někteří nesprávně činili, hledat analogii mezi tvorbou krystalu a vznikem života. Nelze dokázat, že protože přirozené síly vytvářejí krystal, tak jsou zodpovědné i za vznik živých objektů. Uspořádanost, s níž se setkáváme v krystalech a sněhových vločkách, není analogická specifické složitosti, kterou nalézáme u živých objektů.

Nedostali jsme se zpět ke komplikovanější formě teologického argumentu? Na základě pochopení informační teorie už dále

nepotřebujeme diskutovat o uspořádanosti v obecném smyslu. Uspořádanost s nízkým obsahem informace (první druh) vzniká při přirozených procesech. Neexistuje však přesvědčivý experimentální důkaz, že uspořádanost s vysokým informačním obsahem (druhý druh neboli specifická složitost) může vzniknout přirozenými procesy. Jediný důkaz, který nyní ve skutečnosti máme, je, že tvorba druhého druhu uspořádanosti vyžaduje inteligenci.

Vědci mohou syntetizovat proteiny odpovídající přírodním proteinům. Chemici vyrábějí ve velkém množství sloučeniny, jako např. insulin, pro lékařské účely. Otázka zní, jak to dělají? Jistě ne pomocí náhody nebo přirozených příčin. Pouze za dodržení přesných podmínek pokusu mohou chemici syntetizovat proteiny identické s těmi, které se nacházejí v živé přírodě. Použitím určitých podmínek při experimentu se omezuje možnost "výběru" v každém kroku procesu. To je způsob, jakým je dodávána informace.

Chceme-li uvažovat o tom, jak vznikly první informační molekuly, nejrozumnější se zdá úvaha, že v té době působila nějaká forma inteligence. Nemůžeme identifikovat tento zdroj pomocí pouhé vědecké analýzy. Věda nedokáže doplnit jméno této inteligentní příčiny. Nemůžeme se ujistit z empirických dat uložených na DNA, zda se jednalo o inteligenci z tohoto vesmíru, ale mimo tuto Zem, jak prohlašovali Hoyle a Wikramasinghe.⁹⁶ Povšimněte si, že nedokazují inteligentní příčinu per se, ale popírají přirozenou příčinu. Tato příčina může ležet mimo kosmos, jak uvádí historický teismus. Vše, co můžeme říci, je, že je jistě rozumné předpokládat, že za tvorbu informace v molekule DNA odpovídá inteligentní síla. Život vznikl z "někoho," nikoliv z "něčeho."

Snad bychom mohli identifikovat tuto sílu dosti podrobně pomocí dalších argumentů. Mohli bychom např. použít náhled historických, filozofických nebo teologických argumentů nebo vzít do úvahy řady důkazů, které se k tomuto problému vztahují, z jiných oblastí vědy. Ale vědecké zkoumání vzniku života nás jednoznačně dovedlo k závěru, že inteligentní příčina může v konečné analýze být jedinou rozumnou možností vysvětlení záhady vzniku života: *informace*.

Obrátíme-li se na sporné otázky týkající se vzniku hlavních taxonomických skupin, nalezneme další důkaz pro inteligentní sílu.

Literatura

1. A.I. Oparin, *Origin of Life*, do angličtiny přeložil S. Morgulis (New York: Macmillan, 1924).
2. Stanley L. Miller, "Production of Amino Acids Under Possible Primitive Earth Conditions," *Science* **117**(1953): 528-29.
3. Citováno v: R. Shapiro, *Origins* (New York: Summit Books, 1986), str. 99.
4. William Day, *Genesis on Planet Earth* (East Lansing, Mich.: House of Talos, 1979), str. 7.
5. Citováno v: S. Tax, ed., *Evolution After Darwin* (Chicago: University of Chicago Press, 1960), **1**: 57.
6. K. Dose, "The Origin of Life: More Questions Than Answers," *Interdisciplinary Science Reviews* **13** (1988): 348.
7. D. Kenyon a G. Steinman, *Biochemical Predestination* (New York: McGraw-Hill, 1969).
8. J. Horgan, "In the Beginning..." *Scientific American*, únor 1991, str. 17.
9. S.W. Fox a K. Dose, *Molecular Evolution and the Origin of Life* (New York: Marcel Dekker, 1977).
10. B.L. Bass a T.R. Cech, "Specific Interaction Between Self-Splicing of RNA of *Tetrahymena* and Its Guanosine Substrate," *Nature* **308** (1984): 820; T.R. Cech, A.J. Zaugg a P.J. Grabowski, "In Vitro Splicing of the Ribosomal RNA Precursor of *Tetrahymena*," *Cell* **27** (1981): 487.
11. R. Shapiro, "Prebiotic Synthesis: A Critical Analysis," *Origins of Life and Evolution of the Biosphere* **18** (1988): 71.
12. Horgan, "In the Beginning," str. 117.
13. J.S. Levine, ed., *The Photochemistry of Atmospheres" Earth, the Other Planets and Comets* (Orlando, Fla.: Academic, 1985).
14. Horgan, "In the Beginning," str. 117.
15. Dose, "Origin of Life"

16. I. Barbour, *Science Ponders Religion* (New York: Appleton-Century-Crofts, 1960), str. 200.
17. W.L. Bradley, "Thermodynamics and the Origin of Life," *Perspectives on Science and Christian Faith* **40** (1988): 72.
18. L. von Bertalanffy, *Robots, Men and Minds* (New York: George Braziller, 1967), str. 82.
19. A.L. Lehninger, *Biochemistry* (New York: Worth, 1970).
20. C.B. Thaxton, W.L. Bradley a R.L. Olsen, *The Mystery of Life's Origin: Reassessing Current Theories* (Dallas: Lewis a Stanley, 1992).
21. Citováno v R. Vallery-Radot, *The Life of Pasteur*, přeložil R.L. Devonshire (New York: Doubleday, 1920), str. 109.
22. F. Darwin, *The Life and Letters of Charles Darwin* (New York: Appelton, 1887), **2**: 202.
23. Oparin, *Origin of Life*.
24. J.B.S. Haldane v *Rationalist Annual* **148** (1929): 3.
25. J.P. Ferris, "Prebiotic Synthesis: Problems and Challenges," *Cold Spring Harbor Symposia on Quantitative Biology* **52** (1987): 30.
26. Shapiro, "Prebiotic Ribose Synthesis."
27. Dose, "Origin of Life."
28. Horgan, "In the Beginning."
29. Thaxton, Bradley a Olsen, *Mystery of Life's Origin*, str. 43.
30. Citováno v Shapiro, *Origins*, str. 112.
31. Fox a Dose, *Molecular Evolution*; I. Shklovskii a C. Sagan, *Intelligent Life in the Universe* (New York: Dell, 1966), str. 231.
32. Levine, *Photochemistry of Atmospheres*.
33. O těchto pokusech bylo referováno v několika abstraktech a přednáškách na: Fifth ISSOL Meeting, Berkeley, Calif., 1986.

34. Bradley, "Thermodynamics"; Thaxton, Bradley a Olsen, *Mystery of Life's Origin*.
35. H. Borsook a E.H.M. Huffman v: *Chemistry of Amino Acids and Proteins*, ed. C.L.A. Shmidt (Springfield, Mass.: Charles C. Thomas, 1944), str. 822.
36. Fox a Dose, *Molecular Evolution*.
37. Bradley, "Thermodynamics"; Thaxton, Bradley a Olsen, *Mystery of Life's Origin*, kap. 8.
38. P.A. Temussi a spol., "Structural Characterization of Thermal Prebiotic Polypeptides,": *Journal of Molecular Evolution* **7** (1976): 105.
39. Bradley, "Thermodynamics"; Thaxton, Bradley a Olsen, *Mystery of Life's Origin*, kap. 9.
40. Tamtéž.
41. Tamtéž.
42. J.S. Wicken, *Evolution, Thermodynamics and Information: Extending the Darwinian Program* (New York: Oxford University Press, 1987).
43. Thaxton, Bradley a Olsen, *Mystery of Life's Origin*.
44. B.O. Koppers, *Information and the Origin of Life* (Cambridge, Mass.: MIT Press, 1990), str. 170-72.
45. Wicken, *Evolution, Thermodynamics*; Shapiro, *Origins*; A.E. Wilder Smith, *The Creation of Life* (Wheaton Ill.: Harold Shaw, 1970); Hubert P. Yockey, "On the Information Content of Cytochrome C," *Journal of Theoretical Biology* **67** (1977): 345; Hubert P. Yockey, "A Calculation of the Probability of Spontaneous Biogenesis by Information Theory," *Jouranl of Theoretical Biology* **67** (1977): 377; Hubert P. Yockey, "Self-Organization Origin of Life Scenarios and Information Theory," *Journal of Theoretical Biology* **191** (1981): 13.
46. H.P. Yockey, "A Calculation of the Probability of Spontaneous Biogenesis by Information Theory," *Journal of Theoretical Biology* **67** (1981): 377.
47. F. Hole, *The Inteligent Universe* (London: Michael Joseph, 1983); Kenyon a Steinman, *Biochemical Predestination*.
48. Shapiro, "Prebiotic Ribose Synthesis."

49. Citováno v: Horgan, "In the Beginning."
50. F. Crick, *Life Itself* (New York: Simon a Schuster, 1981ä.
51. Dose, "Origin of Life."
52. Horgan, "In the Beginning."
53. Wicken, *Evolution, Thermodynamics*.
54. W.L. Bradley, "Thermodynamics and the Origin of Life," rukopis.
55. Fox a Dose, *Molecular Evolution*.
56. Wicken, *Evolution, Thermodynamics*; G. Steinman a M.N. Cole, "Synthesis of Biologically Pertinent Peptides Under Possible Primordial Conditions," *Proceedings of the National Academy of Science* **58** (1967): 753.
57. R.A. Kok, J.A. Taylor a W.L. Bradley, "A Statistical Examination of Self-Ordering of Amino Acids in Protein," *Origins of Life and Evolution of the Biosphere* **18** (1988): 135.
58. Koppers, *Information and the Origin*.
59. A.G. Cairns-Smith, *Genetic Takeover and the Mineral Origins of Life* (New York: Cambridge University Press, 1982); Thaxton, Bradley a Olsen, *Mystery of Life's Origin*; Shapiro, *Origins*.
60. Horgan, "In the Beginning."
61. Tamtéž.
62. J.M. Edmond, K.L. von Damm, R.E. McDuff a C.I. Measures, "Chemistry of Hot Springs on the East Pacific Rise and Their Effluent Dispersal," *Nature* **297** (1982): 187.
63. S.L. Miller, "Which organic Compound Could Have Occurred on Prebiotic Earth?" *Cold Spring Harbor Symposia on Quantitative Biology* **52** (1987): 17.
64. Horgan, "In the Beginning."
65. C. de Duve, *Blueprint for a Cell* (Burlington, N.C.: Patterson, 1991).
66. I. Prigogine, *From Being to Becoming* (San Francisco: W.H. Freeman, 1980); G. Nicolis a I. Prigogine, *Self Organization*

in *Non-equilibrium Systems* (New York: John Wiley a Sons, 1977).

67. G. Nicolis, I. Prigogine a A. Babloyantz, "Thermodynamics of Evolution," *Physics Today*, listopad 1972, str. 23.

68. M. Eigen a P. Schuster, "The Hypercycle-A Principle of Natural Self Organization," *Naturwissenschaften* **65** (1978): 341.

69. Citováno v: Horgan, "In the Beginning."

70. Dose, "Origin of Life."

71. Shapiro, *Origins*.

72. Hilde Hein, *On the Nature and Origin of Life* (New York: McGraw-Hill, 1971), str. 93-95; Paul de Vries, "Naturalism in the Natural Sciences: A Christian Perspective," *Christian Scholars Review* **15**, č.4: 388-96.

73. David Bohm, "Some Remarks on the Notion of Order," v *Toward a Theoretical biology*, ed. C.H. Waddington (Chicago: Aldine, 1969).

74. Ludwig Wittgenstein, *Tractatus Logico-Philosophicus*, do angličtiny přeložili D.F. Pears a B.F. McGuinness (London: Routledge a Kegan Paul, 1974; německý originál z roku 1921).

75. Daniel Boorstin, *The Discoveries* (New York: Random House, 1983), str. 86.

76. David Hume, *An Inquiry Concerning Human Understanding* (1748; znovu vydáno v Chicago: Great Books of the Western World, 1952), str. 462, 499.

77. Citováno v I.J. Hester, *Introduction to Archeology* (New York: Holt, Rinehart a Winston, 1976), str. 29.

78. J.F.W. Herschel, *Preliminary Discourse on the Study of Natural Philosophy* (London: Longman, Rees, Orme, Brown a Green, 1831), str. 149. Zdůraznění v textu dodáno autory knihy.

79. C. Lyell, *Principles of Geology* (1830; znovu vydáno v New York: D. Appleton, 1887), **1**: 319.

80. C. Sagan, *Contact* (New York: Simon a Schuster, 1985), str. 51.

81. F. Drake a D. Sobel, *Is Anyone Out There? The Scientific Search for Extraterrestrial Intelligence* (New York: Delacorte, 1992); T.R. McDonough, "Project Sentinel to Grow," *The Planetary Report* **4** (leden/únor 1984): 3; P. Horowitz, "A Status Report on the Planetary Society's SETI Project," *The Planetary Report* **7** (červenec/srpen 1987): 8-10.
82. P. Horowitz, "A Status Report on the Planetary Society's SETI Project," *The Planetary Report* **6** (leden/únor 1986): 17.
83. Dava Sobel, "Is Anyone Out There?" *Life*, září 1992, str. 60-69.
84. C. Sagan, *Broca's Brain* (New York: Random House, 1979), str. 275.
85. A.D. Kline, "Theories, Facts and Gods: Philosophical Aspects of the Creation-Evolution Controversy," v *Did Devil Make Darwin Do It?* ed. D.B. Wilson (Ames: Iowa State University Press, 1983), str. 37-44.
86. Herschel, *Preliminary Discourse*, str. 149.
87. I. Newton, "General Scholium," v *Mathematical principles of Natural Philosophy* (1687; znovu vydáno v Chicago: Great Books of the Western World, 1952), str. 360.
88. F. Ferre, "Design Argument," v *Dictionary of the History of Ideas* (New York: Charles Scribner's Sons, 1973), **1**: 673.
89. Yockey, "Self-Organization Origin of Life Scenarios," str. 13-31.
90. L. Orgel, *The Origins of Life* (New York: John Wiley and Sons, 1973), str. 189.
91. G.J. Chaitin, "Algorithmic Information Theory," *IBM Journal of Research* **21** (1977): 350.
92. Orgel, *Origins of Life*, str. 189.
93. Tamtéž.
94. H.P. Yockey, "A Calculation of the Probability of Spontaneous biogenesis by Information Theory," *Journal of Theoretical Biology* **67** (1977): 377.
95. H. Quastler, *The Emergence of Biological Organization* (New Haven, Conn.: Yale University Press, 1964).

96. F. Hoyle a C. Wickramasinghe, *Evolution from Space* (New York: Simon a Shuster, 1981).

<http://www.memento.junweb.cz/tajemstvi/tajemstvi.htm> (25.07.2009)