

nick lane

vývoj života

DESET VELKÝCH VYNÁLEZŮ EVOLUCE

Copyright © Nick Lane, 2009
Translation © Vojtěch Dušek, 2011
Cover and layout © Lucie Mrázová, 2011

ISBN 978-80-87162-85-9

Kapitola 1: Vznik života

Na převracející se Zemi

Noc se rychle střídala se dnem. Pozemský den tehdy trval jen asi pět nebo šest hodin. Planeta se zběsile točila kolem své osy. Na nebi visel ohromný, hrozivý Měsíc, který byl tehdy mnohem blíž a zdál se být daleko větší než dnes. Jen zřídkakdy šlo spatřit světlo hvězd, protože atmosféra byla plná prachu a smogu, ale noční oblohu často protínaly působivé meteory. Slunce, když přes matně rudý příkrov smogu vůbec prosvitlo, vypadalo slabě a mdle, neboť ještě nebylo na vrcholu svých sil. Lidé by zde nepřežili. Oči by se nám sice nevyoupouly a nepraskly by, jako by se to možná stalo na Marsu, ale našim plicím by se nedostalo ani doušku kyslíku. Chvíli bychom zoufale lapali po dechu a pak bychom se udusili.

Země by tehdy nebyla nejmýstižnější pojmenování. „Moře“ by bývalo bylo lepší. Dokonce i dnes pokrývají oceány dvě třetiny povrchu naší planety a jsou to právě ony, co je z vesmíru vidět především. Tehdy ale zemský povrch zakrývala takřka výhradně voda a z rozbouřených vln se nořilo jen několik malých sopečných ostrovů. Vlny byly vlivem blízkého měsíce obrovské, snad i stovky metrů vysoké. Kometry a asteroidy sice už nedopadaly tak často jako dříve, kdy dopady těch největších z nich vyrvaly ze země materiál, z něhož se zformoval Měsíc, ale dokonce i v tomto období relativního klidu oceány běžně pěníly a vřely. Vroucí žár přicházel i zdola. Zemská kůra byla popraskaná, trhlinami se na povrch valily a kroutily stužky magmatu a ohnivé podsvětí o sobě dávalo neustále vědět prostřednictvím sopek. Byl to svět mimo rovnováhu, svět neutuchající činnosti, horečnatě aktivní mladá planeta.

Byl to svět, na kterém před 3,8 miliardami let vznikl život, snad probuzený neklidem samotné planety. Víme to, protože několik zrněk kamene z těch dávno minulých časů přečkalo dlouhé věky plné proměn a přežilo do dnešních dní. V jejich nitru vězí miniaturní částičky uhlíku, do jejichž jaderné struktury se téměř nezaměnitelně obtiskl život. Možná se to zdá jako příliš chatrný podklad pro tak velkolepé tvrzení a možná že je skutečně chybné; mezi odborníky neexistuje v tomto ohledu dokonalá shoda. Ale sloupněte z cibule času ještě pár dalších vrstev a ocitnete se v době před zhruba 3,4 miliardami let, kdy už byly známky života jednoznačně patrné. Země se tehdy hemžila bakteriemi, které po sobě nezanechaly jen uhlíkové stopy, ale také mnoho různých forem mikrofosilií a ony klenuté katedrály bakteriálního života, metr vysoké stromatolity. Bakterie vládly naší planetě po další 2,5 miliardy let, dokud se mezi fosiliemi neobjevily první skutečně složité organismy. A podle někoho jí stále ještě vládnou, neboť ani všechna zvířata a rostliny dohromady se nevyrovňají objemu bakteriální biomasy.

Co na mladé Zemi tedy poprvé vdechlo anorganickým prvkům život? Jsme jedineční, výjimečně vzácní, nebo byla naše planeta jen jednou z trilionu líhni rozptýlených po celém vesmíru? Podle antropického principu na tom jen sotva záleží. Je-li pravděpodobnost existence života ve vesmíru jedna ku trilionu, pak je pravděpodobnost, že se život objeví na některé z trilionu planet, rovna přesně jedné. A protože je naše planeta živá, je očividné, že to musí být právě ona. Ať je život jakkoli výjimečně vzácný, v nekonečném vesmíru vždycky existuje pravděpodobnost, že na jedné planetě vznikne – a na té planetě žijeme.

Jestli vám podobné, až přehnané důmyslné statistiky stejně jako mně připadají neuspokojivé, pak je tu pro vás další neuspokojivá odpověď, předložená nikým menším, než byl Fred Hoyle a později i Francis Crick. Život vznikl někde jinde a naši planetu „nakazil“, buď pouhou náhodou, nebo z úmyslu jakési bohu podobné mimozemské inteligence. Možná se to tak skutečně stalo – kdo by dal ruku do ohně

za to, že ne? – ale většina vědců se od podobných úvah bude držet dál, což je jen rozumné. Tvrdit něco takového je jako usuzovat, že věda tuto otázku nedovede zodpovědět, aniž bychom se obtěžovali zjistit, jestli je tomu skutečně tak, nebo ne. Obvyklým zdůvodněním snahy najít spásu někde jinde ve vesmíru je čas: na Zemi neuplynulo dost času na to, aby se život stihl rozvinout v celé své nesmírné komplexnosti.

Ale kdo ví? Laureát Nobelovy ceny Christian de Duve, stejně věhlasný jako výše jmenovaní, ještě dramatičtěji namítá, že podle chemického determinismu musel život vzniknout rychle. K chemické reakci, jak tvrdí, muselo dojít buď rychle, nebo vůbec; pokud by jakákoli reakce měla probíhat tisíc let, pak by se pravděpodobně všechny reaktanty před jejím dokončením jednoduše rozptýlily nebo rozložily, ledaže by platilo, že jsou nepřetržitě nahrazovány jinými, rychlejšími reakcemi. Vznik života byl bezpochyby věcí chemie, takže stejná logika platí i pro něj: základní chemické reakce života musely proběhnout rychle a spontánně. Takže podle de Duveho je mnohem pravděpodobnější, že se život vyvine za 10 000 let než za miliardu.

Nikdy se nedozvíme, jak život na Zemi doopravdy vznikl. Dokonce i kdyby se nám z vířících chemikálií ve zkumavkách podařilo vypěstovat bakterie nebo brouky, kteří by se z nich vyplazili, nikdy se nedozvíme, jak doopravdy vypadal počátek života na naší planetě. Dozvěděli bychom se jen to, že je něco takového možné a snad i pravděpodobnější, než jsme si předtím mysleli. Ale věda není o výjimkách, nýbrž o zákonitostech – a zákony, jimiž se řídil vznik života na naší vlastní planetě, by měly odpovídat těm, jež platí v celém vesmíru. Pátrání po původu života není snahou rekonstruovat něco, k čemu došlo v 6.30 ve čtvrtek ráno v roce 3851 milionů let před Kristem, ale snahou objevit obecné zákonitosti, jimiž se musí řídit vznik jakékoli formy života kdekoli ve vesmíru a především na naší planetě, která je toho jediným nám známým příkladem. Příběh, který si teď budeme vyprávět, téměř jistě není ve všech ohledech bezchybný, ale myslím, že je přinejmenším věrohodný. Chci jím ukázat, že původ života není tak nerozlušti-

telnou záhadou, za jakou je někdy vydáván, ale že život snad až téměř nevyhnutelně vznikl díky převrácení povrchu naší planety.

Ve vědě samozřejmě nejde jen o zákony, ale i o experimenty, jejichž prostřednictvím se tyto zákony objasňují. Náš příběh začíná v roce 1953, což byl učiněný annus mirabilis, během něhož došlo ke korunovaci královny Alžběty II., pokoření Everestu, Stalinově smrti, objevu DNA a konečně i k Miller-Ureyovu experimentu, symbolickému počátku vědeckého bádání o původu života. Stanley Miller tehdy působil jako svéhlavý doktorand v laboratoři laureáta Nobelovy ceny Harolda Ureye; zemřel, snad trochu zahořklý, v roce 2007, kdy stále ještě bojoval za myšlenky, jež chabře hájil celého půl století. Ale ať už je osud Millerových specifických stanovisek jakýkoli, jeho skutečným odkazem je obor, kterému položily základ jeho pozoruhodné experimenty, jejichž výsledky nás dokonce i dnes dovedou ohromit.

Miller naplnil vysokou skleněnou baňku vodou a směsí plynů s cílem simulovat to, co považoval za prvotní složení zemské atmosféry. O plynech, které si k tomu zvolil, se (podle spektroskopie) usuzovalo, že tvoří atmosféru Jupitera, a tudíž se soudilo, že se pravděpodobně hojně vyskytovaly i na mladé Zemi; byly to vodík, metan a čpavek. Miller nechal touto směsí projít několik elektrických výbojů, aby tak napodobil blesky, a čekal. Vždy po několika dnech, několika týdnech a několika měsících odebíral vzorky a analyzoval je s cílem zjistit, co přesně to v baňce vaří. A výsledná zjištění překonala dokonce i jeho nejdivočejší představy.

Vařil prvotní polévku, takřka bájnou směsí organických molekul, mezi nimiž bylo i několik aminokyselin, stavebních kamenů bílkovin a těch pro život patrně nejsymboličtějších molekul, tedy alespoň v době před tím, než se proslavil objev DNA. A co bylo ještě překvapivější, aminokyseliny vzniklé v Millerově polévce se na rozdíl od jiných, náhodně vzniklých z velkého rezervoáru potenciálních uspořádání, zdály být ty samé, jako se vyskytovaly v živých organismech. Jinými slovy, Miller prohnal jednoduchou směsí plynů elektřinou a ze směsi se vynořily základní stavební kameny života. Jako by jen

čekaly na vyzvání. Najednou se otázka vzniku života zdála být prostá. Ta myšlenka musela vystihnout něco z ducha oné doby, protože se její příběh dostal až na obálku časopisu *Time* – taková publicita byla u vědeckého experimentu zcela nevídaná.

Časem ale idea prvotní polévky ztratila na popularitě. Na nejhlubší dno její obliba padla, když rozborů prastarých hornin jasně dokázaly, že Země nikdy nebyla bohatá na metan, vodík ani čpavek, nebo jimi přinejmenším neoplývala po mohutném ostřelování asteroidy, díky němuž vznikl Měsíc. To grandiózní bombardování rozervalo původní atmosféru naší planety a smetlo ji do vesmíru. Realističtější simulace prvotní atmosféry byly zklamáním. Zkuste prohnat elektrické výboje směsí dusíku a oxidu uhličitého se stopovým množstvím metanu a dalších plynů a vaše úroda organických molekul se neutěšeně zmenší. Po aminokyselinách nebude nikde skoro ani stopa. Prvotní polévka se stala sotva něčím víc než jen pouhou kuriozitou, přestože stále ještě jde o vynikající demonstraci skutečnosti, že jednoduchým postupem lze v laboratoři stvořit organické molekuly.

Ideu polévky zachránilo zjištění, že se v kosmu nachází hojnost organických molekul, především na kometách a meteoritech. Některé se zdály být složeny takřka výhradně ze špinavého ledu a organických molekul a byla na nich nalezena sbírka aminokyselin pozoruhodně podobných těm, které vznikly elektrizací plynů. Nejenže už samotná jejich existence byla překvapivá, ale navíc to začínalo vypadat, že molekuly života – jež tvoří jen malou část obrovského souboru všech možných podob organických molekul – jsou neobyčejně rozšířené. Ono silné ostřelování asteroidy najednou získalo úplně novou tvář: už se nezdálo být jen ničivé, ale stalo se i tím nejvýznamnějším zdrojem vody a organických molekul potřebných pro vznik života. Prvotní polévka neměla svůj původ na Zemi, ale ve vesmíru. A přestože by dopad většinu organických molekul zlikvidoval, výpočty naznačují, že jich pro prvotní polévku mohl přežít dostatek.

Tato myšlenka sice tak docela nepopisuje zavlečení života z vesmíru v podobě, jakou prosazuje kosmolog Fred Hoyle, ale i přesto spojuje původ života – nebo přinejmenším prvotní polévky – s vesmírem.

Život podle ní už není ojedinělou výjimkou, ale nezpochybnitelnou kosmologickou konstantou, stejně nevyhnutelnou jako gravitace. Netřeba říkat, že astrobiologové si ji zamilovali. Mnohým z nich to vydrželo dodnes. Kromě toho, že je ta idea přitažlivá, jim také zajišťuje, že nepřijdou o práci.

Prvotní polévku a především myšlenku, že u života jde o replikátory, zejména geny složené z DNA či z RNA, které se dovedou věrně kopírovat a přecházet na další generaci (o čemž se dozvíme víc v další kapitole), si oblíbili i molekulární genetici. Je bezpochyby pravda, že přirozený výběr bez nějakého druhu replikátorů nemůže fungovat; a stejně tak je pravda, že život se může vyvíjet do složitějších podob jedině prostřednictvím přirozeného výběru. Pro mnoho molekulárních biologů je pak vznik života to samé jako počátek replikace. A teorie polévky do toho hezky zapadá, protože poskytuje všechny komponenty vyžadované soupeřícími replikátory k tomu, aby mohly růst a vyvíjet se. V pěkně husté polévce si replikátory berou, co potřebují, tvoří delší a komplexnější polymery a postupně i využívají dalších molekul k vytváření složitějších struktur, jako jsou buňky a bílkoviny. Z tohoto hlediska je prvotní polévka jako abecední moře hemžící se písmeny, které jen čekají na to, až je přirozený výběr vyloví z vody a složí z nich prvotřídní prózu.

Z těchto důvodů je myšlenka prvotní polévky zrádná. Ne snad proto, že by byla nezbytně chybná – někdy kdysi dávno skutečně mohla existovat, i když by byla mnohem řidší, než jak se původně tvrdilo. Je zrádná, neboť na celá desetiletí odvrátila pozornost od skutečné podstaty vzniku života. Vezměte si velkou plechovku plnou sterilizované polévky (nebo arašídového másla) a nechte ji na několik milionů let odstát. Vznikne tak život? Ne. Proč ne? Protože pokud se obsah plechovky nechá jen tak být, neudělá nic jiného, než že se rozloží. Pokud budete do plechovky opakovaně pouštět elektrický proud, nijak si nepolepšíte, polévka se jenom rozloží ještě rychleji. Nějaký ojedinělý a mohutný výboj, jako například blesk, by mohl pár přílnavějších molekul přimět, aby se shlukly dohromady, ale je mnohem pravdě-

podobnější, že by je zase roztrhnul od sebe. Mohla by takto v polévce vzniknout populace složitějších replikátorů? Pochybuji. Jak se zpívá v písni Arkansaský cestovatel: „Odsud se tam nedostanete.“ Zkrátka to není termodynamicky možné, stejně jako opakované elektrické šoky nepřivedou zpátky k životu mrtvolu.

Termodynamika je jedno z těch slov, kterým je v každé populárně se tvářící knize lepší se vyhnout, avšak je mnohem zajímavější, pokud se na ni díváme jako na to, čím skutečně je: vědou o „touze“. Existence atomů a molekul se vyznačuje „přitažlivostí“, „odporem“, „potřebami“ a „uvolněním“ do té míry, že je takřka nemožné psát o chemii bez trochy vilného antropomorfismu. Molekuly „chtějí“ ztrácet či získávat elektrony, přitahovat opačný náboj, odpuzovat stejný náboj nebo se sdružovat s molekulami podobné povahy. K chemické reakci dochází spontánně, touží-li se jí všichni molekulární partneři zúčastnit; nebo je možné je větší silou donutit, aby se jí účastnili nedobrovolně. A některé molekuly by samozřejmě velice rády reagovaly, ale je pro ně těžké překonat svou vrozenou stydlivost. Trocha lehkého flirtování může uvolnit masivní vlnu chůčie, výboj čisté energie. Ale tady už bych snad měl přestat.

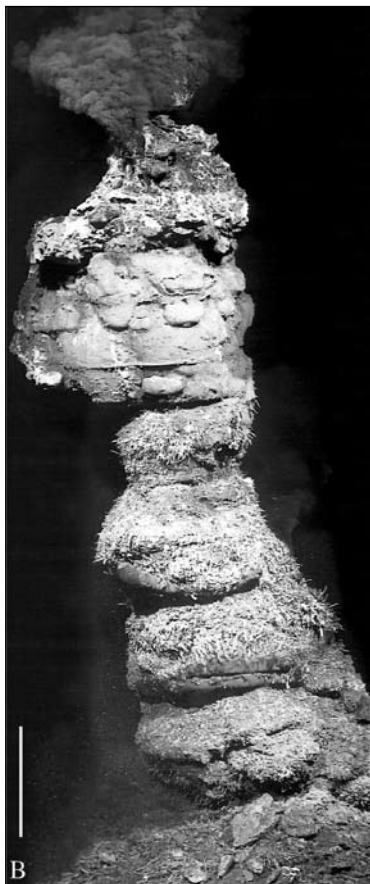
Jde mi o to, že termodynamika udržuje svět v chodu. Pokud spolu dvě molekuly nechtějí reagovat, pak je k tomu ani nelze snadno přesvědčit; pokud spolu reagovat chtějí, tak to taky udělají, i když jim může nějakou dobu trvat, než překonají stud. Takovéto snahy pohánějí i naše vlastní životy. Molekuly v potravinách by velice rády reagovaly s kyslíkem, ale naštěstí tak nečiní spontánně (trochu se stydí), jinak bychom všichni vzpláli jako pochodně. Ale plamen života, který nás všechny pomalu stravuje, je přitom přesně takovou reakcí: vodík získaný z jídla reaguje s kyslíkem a uvolňuje energii, kterou potřebujeme k životu¹. V podstatě veškerý život je poháněn podobným typem „hlavní reakce“: chemické reakce, která se chce uskutečnit a uvolňuje energii použitelnou k pohánění všech těch vedlejších reakcí, jež tvoří metabolismus. Veškerou tuto energii, celé naše životy lze shrnout do střetu dvou naprosto navzájem nevyvážených molekul,

vodíku a kyslíku: dvou protikladných těl, která se nakonec se silným výbojem prolnou v blaženém molekulárním spojení, po němž zbude jen trocha horké vody.

A to je ten zásadní problém prvotní polévky: je termodynamicky prázdná. Ničemu v polévce se nijak zvlášť nechce reagovat, alespoň ne tak jako vodíku s kyslíkem. Není v ní žádná nerovnováha, žádná hnací síla, která by tlačila život výš, výš a ještě výš do velice strmého energetického kopce tvorby skutečně složitých polymerů, jako jsou bílkoviny, tuky, polysacharidy a především RNA a DNA. Myšlenka, že replikátory jako RNA byly prvním výtvozem života ještě před tím, než mohla působit jakákoli termodynamická hnací síla, je, jak říká Mike Russell: „...jako vyndat z automobilu motor a čekat, že ho rozjede palubní počítač.“ Ale odkud se ten motor vzal, jestliže ne z polévky?

První náznak odpovědi se objevil na začátku 70. let, kdy byly v Galapážském riftu nedaleko Galapážských ostrovů zaznamenány vzestupné proudy teplé vody. Je příhodné, že ostrovy, jejichž bohatost kdysi přivedla Darwina k zamyšlení nad vznikem druhů, teď nabízely možnost zjistit, jak vznikl sám život.

Pár let se toho příliš nedělo. Ale v roce 1977, osm let poté, co Neil Armstrong vkročil na povrch Měsíce, se do trhliny ponořila americká výzkumná miniponorka Alvin. Pátrala po hydrotermálních oceánských průduších, které zřejmě měly stoupání teplé vody na svědomí, a také je našla. Ale zatímco jejich existence jen sotva někoho překvapila, nesmírná hojnost života v černočerné tmě riftu byla bez nadšázky šokující. Byly tam riftie hlubinné, některé až dva a půl metru dlouhé, a mezi nimi škeble a mušle o velikosti talířů. Obří živočichové žijící v hlubinách oceánů nebyli nic neobvyklého – vezměte si například obří oliheň – ale jejich ohromné množství zde bylo zarážející. Hlubokomořské průduchy se mohou co do hustoty osídlení směle měřit s deštnými lesy a korálovými pralesy, přestože spíše než sluneční energie je při životě udržuje činnost průduchů.



Obrázek 1.1 Vulkanický černý kuřák chrlící vodu o teplotě 350°C na hřbetu Juana de Fuca v Severovýchodním Pacifiku. Značka vlevo představuje jeden metr.

Obrázek 1.2 Přírodní věž, třicetimetrový aktivní zásaditý průduch ve Ztraceném městě (Lost City), tyčící se ze serpentínového podloží. Aktivní oblasti jsou světlejší až bílé. Značka vlevo představuje jeden metr.

Snad nejpozoruhodnější ze všeho ale byly průduchy samotné, které brzy získaly přezdívku „černí kuřáci“ (viz Obrázek 1.1). Posléze se ukázalo, že průduchy v Galapážském riftu nejsou ve srovnání s některými z dalších 200 později objevených průduchových oblastí, rozptýlených po oceánských hřbetech v Tichém, Atlantickém a Indickém oceánu, nic zvláštního. Vratké černé komíny, z nichž některé jsou vysoké jako mrakodrapy, chrlí do oceánů nad sebou mračna černého kouře. Není to opravdový kouř, ale horká směs metalických sulfidů kyselá jako ocet, která vyvěrá z magmatické výhně pod průduchy a v drtivém tlaku oceánských hlubin dosahuje teploty až 400 °C, než se v chladné vodě rozptýlí. Samotné komíny se skládají ze sirnatých minerálů, jako jsou pyrity (známější jako kočičí zlato), jež se uvolňují z černého kouře a v silných vrstvách pokrývají rozsáhlý prostor. Některé komíny rostou až překvapivě rychle, někdy i o třicet centimetrů za den, a než se zhroutlí, mohou měřit i šedesát metrů.

Tento bizarní, izolovaný svět se zdál být obrazem pekla prosyceného sírou a odporným zápachem sirovodíku stoupajícího z kuřáků. Jistě jen zvrácená mysl Hieronyma Bosche by si zde představila riftinge hlubinné, postrádající ústa i řitní otvor, a nesmírné množství bezokých garnátů, groteskně se hemžících u úpatí komínů jako záplava kobylek. Nejenže život v kuřácích tyto pekelné podmínky snáší, ale dokonce by bez nich ani nepřežil a díky nim vzkvétá. Ale jak to?

Odpověď spočívá v nerovnováze. Jak se mořská voda blíží k magmatu pod kuřáky, je zahřívána na vysokou teplotu a prosyčována minerály i plyny, především pak sirovodíkem. Sirné bakterie pak z této směsi dovedou získávat vodík a pojit jej s oxidem uhličitým, čímž vzniká organická hmota. Tato reakce tvoří základ existence života v průduších a díky ní se bakteriím dobře daří i bez přímého přispění Slunce. Ale přeměna oxidu uhličitého na organickou hmotu vyžaduje energii, a aby ji sirné bakterie mohly vynaložit, potřebují kyslík. Svět průduchů pohání energie uvolňovaná při reakci sirovodíku s kyslíkem, která je rovnocenná reakci kyslíku s vodíkem, pohánějící naše vlastní životy. Výstupem reakce je i v tomto případě voda, ale

tentokrát i čistá síra jako z biblického pekla, podle níž získaly sirné bakterie své jméno.

Nezáleží na tom, že bakterie v průduších nemají pro teplo ani pro žádný jejich jiný produkt kromě sirovodíku využití². Ten plyn v podstatě není bohatý na energii; je to reakce s kyslíkem, co energii obstarává, a to už závisí na spojení průduchů s oceány – na spojení těchto dvou protikladných světů v dynamické nerovnováze. Jedině bakterie žijící přímo u průduchů, které čerpají z obou světů současně, mohou potřebné reakce provádět. Samotní průduchoví živočichové se buď popásají na bakteriálním porostu, jako to dělají průduchoví garnáti, nebo sami vlastním tělem bakterie vyživují, jako by je chovali na jakési své vnitřní farmě. To například vysvětluje, proč riftie hlubinné nepotřebují zažívací ústrojí; stáda bakterií je krmí zevnitř. Onen nekompromisní požadavek přísunu jak kyslíku, tak sirovodíku, ovšem staví zvířecí hostitele před jistá zajímavá dilemata, neboť je nutí v sobě skloubit něco málo z obou dvou světů. Právě z této nezbytnosti ve značné míře vychází podivná tělesná stavba riftií.

Netrvalo dlouho a životní podmínky ve světě průduchů přivábily pozornost vědců zabývajících se otázkou původu života, mezi prvními i oceánografa Johna Barosse z Washingtonské univerzity v Seattlu. Průduchy rázem vyřešily mnohé z problémů, s nimiž se potýkala teorie prvotní polévky, především pak problém termodynamiky; na chrleném černém kouři nebylo zhora nic rovnovážného. Spojení mezi průduchy a oceány by nicméně na mladé Zemi muselo fungovat odlišně, protože na ní tehdy buď nebyl vůbec žádný kyslík, nebo ho bylo jen velmi málo. Hnací silou tedy nemohla být reakce sirovodíku s kyslíkem, jako je tomu u respirace sirných bakterií v současnosti. Respirace na buněčné úrovni je na každý pád složitý proces, k jehož vyvinutí byl potřeba čas – nemohla tedy být tím prvotním zdrojem energie. Namísto toho se podle ikonoklastického německého chemika a patentního zástupce Güntera Wächtershäusera tím nejranějším motorem života stala reakce sirovodíku s železem, která dala vzniknout minerálnímu pyritu. K takové reakci dochází spontánně a do

cházi při ní k uvolnění malého množství energie, kterou je alespoň v zásadě možné zachytit.

Wächtershäuser přišel s dosud nevídaným chemickým zdůvodněním vzniku života. Energie, uvolněná při tvorbě pyritu, na přeměnu oxidu uhličitého na organickou hmotu nestačila, a tak Wächtershäuser přišel s reaktivnějším prostředníkem – oxidem uhelnatým, plynem, který se v kyselých průduších skutečně vyskytuje. Zaměřil se i na další pomalé organické reakce s různými sirnoželezitými minerály, jež se zdály mít na průběh katalýzy zvláštní vliv. A konečně se Wächtershäuserovi a jeho kolegům podařilo mnoho z těchto teoretických reakcí provést v laboratoři, kde se projeví jako více než přesvědčivé. Byl to skutečně husarský kousek, který postavil desítky let staré nahlížení na možnosti vzniku života na hlavu a v pekelně nepříznivém prostředí ho vyčaroval z těch nejnečekanějších ingrediencí, především ze sirovodíku, oxidu uhelnatého a pyritu – tedy z dvojice jedovatých plynů a z kočičího zlata. Jistý vědec poté, co si Wächtershäuserovu práci poprvé přečetl, poznamenal, že je to jako kdyby spadla trhlina v čase z konce jednadvacátého století.

Ale měl Wächtershäuser pravdu? Snesla se na něj i tvrdá kritika – částečně proto, že je od přírody rebel a že boří zažitě myšlenky, částečně proto, že své kolegy pobořoval svou domyšlivostí, a částečně proto, že o jeho teorii existují oprávněné pochybnosti. Asi nejhůře selhává v otázce „problému koncentrace“, jímž trpí i idea prvotní polévky. Veškeré organické molekuly by se v oceánu nutně rozptýlily a tak je velice nepravděpodobné, že by se kdy vůbec setkaly a následnou reakcí vytvořily polymery jako DNA a RNA. Nebylo by nic, co by je drželo pohromadě. Wächtershäuser oponuje tvrzením, že veškeré jeho reakce mohly proběhnout na povrchu minerálů, jako jsou pyrity. Ale i s tím naráží na problém, tentokrát na skutečnost, že reakce nemohou proběhnout až do konce, aniž by se jejich výsledné produkty od povrchu katalyzátoru oddělily. Všechno se buď spojí, nebo rozloží³.

Mike Russell, v současnosti pracovník Laboratoře tryskových pohonů v Pasadeně, přišel uprostřed 80. let s řešením všech zmíněných

problémů. Russell by se dal nazvat prorockým bardem vědy se sklony ke „geopoezii“, jehož názor na původ života s kořeny v geochemii a termodynamice se mnoha biochemikům zdá být přinejmenším podivný. Ale Russellovy myšlenky si i přesto v průběhu následujících desetiletí získaly rostoucí skupinu příznivců, kteří v jeho vizi spatřují jedinečně funkční řešení otázky vzniku života.

Jak Wächtershäuser, tak Russell se shodují na tom, že při vzniku života sehrály ústřední roli hydrotermální průduchy, ovšem když odhlédneme od této shody, pak jeden vidí černou tam, kde druhý bílou; jeden hlásá význam sopečné činnosti, druhý jejího protikladu; jeden vyzdvihuje kyseliny, druhý zásady. Přestože jsou tyto myšlenky někdy zaměňovány, mají toho až pozoruhodně málo společného. Dovolte, abych to vysvětlil.

Oceánské hřbety, domov černých kuřáků, jsou současně místem, odkud se šíří nové mořské dno. U těchto center sopečné aktivity stoupající magma pomalu, rychlostí, s jakou rostou nehty, odsouvá tektonické desky. Jak do sebe potom šinoucí se desky nesmírně daleko narážejí, noří se jedna z nich pod druhou, zatímco se ta druhá zmítá v panických křečích. Himaláje, Andy, Alpy, všechna tato pohoří vyrůstla ze země díky srážení tektonických desek. Pomalý pohyb zemské kůry po mořském dně nicméně i odhaluje nové skály vynořivší se ze zemského pláště, vrstvy pod kůrou. Na takových skalách se pak tyčí hydrotermální průduchy jiného druhu, silně se lišícího od černých kuřáků, a právě jim dává Russell přednost.

Tento druhý typ průduchů není sopečného původu a nemá nic společného s magmatem. Namísto toho závisí jejich vznik jen a pouze na reakci čerstvě odhalené skály s mořskou vodou. Voda nejenže do takových skal prosakuje, ona s nimi přímo fyzicky reaguje; slučuje se s nimi a přitom mění jejich strukturu tak, že vznikají minerální hydroxidy, jako je serpentín (pojmenovaný podle podoby s kroupenatě zelenými plazími šupinami). Reakce s mořskou vodou způsobuje, že skála zvětšuje svůj objem, praská a láme se, což zase umožňuje, aby

do ní v nekonečné smyčce pronikalo ještě více mořské vody. Měřítka, v němž takovéto reakce probíhají, je ohromující. Panuje přesvědčení, že objem vody, takto navázané na skálu, se vyrovná objemu vody v samotných oceánech. Jak se oceánské dno rozšiřuje, tyto zvětšené, hydratované skály se nakonec znovu zanoří pod narážející zemskou desku, kde jsou v plášti znovu zahřáty na nesmírně vysokou teplotu. V tomto okamžiku se své vody vzdávají a uvolňují ji do zemských útrob. Toto zaplavování mořskou vodou pohání hluboko v plášti koloběh konvektivního proudění, které tlačí magma v oblasti středo-oceánských hřbetů a sopek zpět k povrchu. A tak je bouřlivá sopečná činnost naší planety z velké části poháněna nepřetržitým průtokem mořské vody skrz zemský plášť. Tento proces udržuje náš svět mimo rovnováhu. Povrch Země se neustále převrací.

Ale reakce mořské vody se skalami, vynořivšími se z pláště, kromě poskytování hnací síly pro neutuchající sopečnou činnost dělá ještě něco. Uvolňuje se při ní také energie ve formě tepla spolu se značným množstvím plynů, například vodíku. Ona reakce vlastně přetváří vše, co se v mořské vodě rozložilo, a jako pokřivené kouzelné zrcadlo odráží nazpět groteskně odulé obrazy, na nichž jsou všechny reaktanty obtěžkané elektrony (odborně řečeno jsou „redukované“). Plyn, který při této reakci vzniká především, je vodík – jednoduše proto, že mořská voda se z větší části skládá z vody; ale v menších množstvích se objevují i různé jiné plyny, připomínající ty, jež obsahovala směs Stanleyho Millera, a které se tolik hodí pro vytvoření předchůdců složitých molekul, jako jsou bílkoviny a DNA. Tak se oxid uhličitý proměňuje v metan, dusík se vrací v podobě čpavku a síran je chrlen nazpátek jako sirovodík.

Teplu a plyny vystoupají až k povrchu, kde si prorazí cestu jako druhý typ hydrotermálního průduchu. Tyto průduchy se od černých kuřáků liší takřka v každém ohledu. Nejsou kyselé, namísto toho bývají silně zásadité. Jsou teplé nebo přímo horké, ale ani zdaleka nedosahují ďábelsky vysokých teplot černých kuřáků. Obvykle se vyskytují dál od středo-oceánských hřbetů, v místech, kde se šíří nové

dno. A místo aby vytvářely vertikální černé komíny s jediným ústím, kterým by se valil černý dým, tvoří složité konstrukce protkané nepatrnými bublinami a komůrkami, jež se usazují, zatímco se teplé zásadité hydrotermální tekutiny mísí s chladnou mořskou vodou nad nimi. Řekl bych, že příčina toho, že o tomto druhu průduchů vědí jen nemnozí, souvisí s odrazujícím pojmem „serpentinizace“ (opět odvozeného od nerostu jménem serpentin). Pro naše účely postačí, budeme-li je jednoduše nazývat „zásadité průduchy“, přestože to ve srovnání s barvitou úderností „černých kuřáků“ zní poněkud nenápaditě. K plnému významu slova „zásadité“ se dostaneme později.

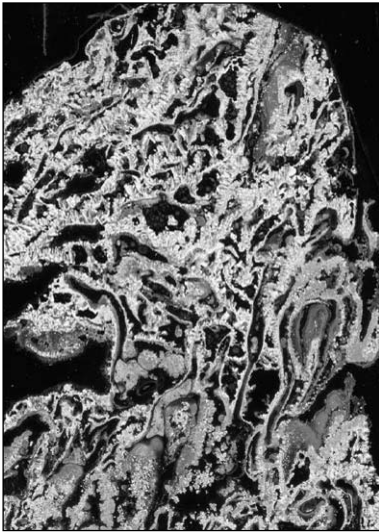
Zajímavé je, že až donedávna se existence zásaditých průduchů v zásadě předpokládala, ale vědělo se o nich jen z několika zkamenělin. Ta nejslavnější z nich, pocházející z irského Tynaghu, je kolem 350 milionů let stará a Mikea Russella přivedla v 80. letech k zamyšlení. Když prozkoumal tenké pláty pórovité skály z okolí zkamenělého průduchu pod elektronovým mikroskopem, zjistil, že velikost oněch nejvýše desetinu milimetru měřících drobných komůrek v nich, propojených do labyrintu podobných sítí, odpovídá velikosti organických buněk. Předpokládal, že podobné minerální komůrky mohou vznikat při mísení zásaditých tekutin z průduchu s kyselou mořskou vodou, a brzy úspěšně vytvořil útvary z porézniho kamene smísením kyseliny se zásadami v laboratoři. V dopisu do prestižního časopisu *Nature* z roku 1988 Russell uvedl, že podmínky v zásaditých průduších z nich dělají ideální prostředí pro vznik života. Komůrky poskytly přirozený prostor ke koncentraci organických molekul, zatímco jejich stěny, složené ze sirnoželezitých minerálů jako je například mackinawit, propůjčily komůrkám katalytické vlastnosti, s nimiž počítal Günter Wächtershäuser. Ve své práci z roku 1994 došel Russell se svými kolegy k následujícímu závěru:

„Život se vynořil z rostoucích shluků pyritových komor obsahujících zásady a silně zredukované hydrotermální roztoky. Tyto komory vznikly hydrostatickým působením v podmořských

horkých sirných pramenech nacházejících se v určité vzdálenosti od míst šíření oceánského dna před 4 miliardami let.“

Ta slova byla skutečně vizionářská, neboť v té době ještě žádný činný hlubokomořský zásaditý průduch nebyl objeven. Až později, na přelomu tisíciletí, vědci na palubě výzkumné ponorky Atlantis přesně na takový druh průduchu narazili asi patnáct kilometrů od Středoatlantického hřbetu, na podmořské hoře shodou okolností zvané Atlantský masiv. To jméno bylo až strašidelně přiléhavé i díky Ztracenému městu, pojmenovanému po legendární metropoli, a jeho jemným bílým sloupům a uhlíčanovým prstům vypínajícím se do černočerné tmy. Průduchová oblast se nepodobala ničemu dosud objevenému. Některé z komínů byly stejně vysoké jako černí kuřáci, přičemž ten nejvyšší z nich, přezdívaný Poseidon, se hrdě tyčil do výše šedesáti metrů. Ale tyto křehké prsty měly k netečně mohutné konstrukci kuřáků daleko; namísto toho byly zdobné jako gotické stavby, pokryté „hloupými čmáranicemi“, jak to řekl John Julius Norwich. Hydrotermální výpary tu byly bezbarvé a město vypadalo, jako by bylo v okamžiku opuštěno a navěky zachováno v celé své složité, gotické nádheře. Nebylo to peklo plné černých kuřáků, namísto nich tu byli jemní bílí nekuřáci, ukazující svými zkamenělými prsty k nebi (viz Obrázek 1.2).

Výpary sice byly bezbarvé, avšak skutečné byly více než dost a postačovaly k tomu, aby udržely město při životě. Komíny se neskládají ze sirnoželezitých minerálů (v oceánech bohatých na kyslík se železo takřka nerozptyluje; Russellovy předpovědi se váží k podstatně dávnějším časům), ovšem jejich struktura je i tak porézní – je to účinné bludiště mikroskopických komůrek se stěnami z nadýchaného aragonitu (viz Obrázek 1.3). Za povšimnutí stojí, že staré komíny, které už utichly a nepřekypují hydrotermálními tekutinami, jsou mnohem pevnější, neboť se jejich póry zanesly vápencem. Oproti tomu žijící průduchy jsou skutečně doslova živé a v jejich pórech to vše horečnatou bakteriální aktivitou, která beze zbytku využívá panující chemické nerovnováhy. Jsou zde i zvířata a svou



Obrázek 1.3 Mikroskopická struktura zásaditého průduchu ukazuje propletené komůrky, které skýtají ideální podmínky pro vznik života. Úsek na obrázku je asi centimetr široký a třicet mikronů silný.

rozmanitostí si ničím nezadají s faunou černých kuřáků, přestože pokud jde o velikost, jsou na tom podstatně hůře. Příčinou se zdá být ekologie. Sirné bakterie, jimž se tak daří v černých kuřácích, se pohotově přizpůsobují životu uvnitř svých zvířecích hostitelů, zatímco bakterie (nebo přesněji archea) nalezené ve Ztraceném městě taková partnerství nevytvářejí.⁵ Bez vnitřních „farem“ průduchoví živočichové tolik nerostou.

Život ve Ztraceném městě staví na reakci vodíku s oxidem uhličitým, tedy v podstatě na stejných základech jako veškerý život na planetě. Pozoruhodná je však skutečnost, že ve Ztraceném městě je tato reakce přímá, zatímco prakticky ve všech ostatních případech je nepřímá. Surový vodík, vyublávající ze země v plynném skupenství, je na naší planetě vzácností a život si zpravidla musí vystačit se skrytými zásobami, těsně připoutanými molekulárním sevřením k jiným atomům, například ve vodě nebo v sirovodíku. Vyrvat z takových molekul vodík a navázat ho na oxid uhličitý stojí energii – energii, která buď musí být nutně získávána od slunce prostřednictvím fo-

tosyntézy, nebo musí pocházet z chemické nerovnováhy vládající ve světě průduchů. Jen pokud je k dispozici plynný vodík, tak reakce proběhne spontánně, i když jen velmi pomalu. Ale z termodynamického hlediska je taková reakce oběd zdarma, za jehož sněžení ještě dostanete zapláceno (podle památných slov Everetta Shocka). Jinak řečeno, reakce přímo vytváří organické molekuly a současně uvolňuje významné množství energie, které může být v zásadě využito k pohánění dalších organických reakcí.

Takže Russellovy zásadité průduchy vyhovují požadavkům na líheň, z níž se vyklubal život. Jsou nedílnou součástí systému, jehož chodem se povrch naší planety neustále převrací a pohání tak neutuchající sopečnou činnost. Neustále se nacházejí mimo rovnováhu s oceány, do nichž vřhávají stálý proud vodíku, který v reakci s oxidem uhličitým vytváří organické molekuly. Tvoří labyrint porézních komůrek, v nichž jsou vytvořené organické molekuly zadržovány a koncentrovány a kde je pravděpodobnost, že zformují polymery jako RNA, mnohem vyšší (jak uvidíme v další kapitole). Jsou dlouhověké – komíny Ztraceného města jsou činné už 40 000 let, tedy o dva řády déle než většina černých kuřáků. A na mladé Zemi, kde se chladnoucí plášť častěji dostával do přímého kontaktu s oceány, se vyskytovaly hojněji. Tehdy byly také oceány plné rozptýleného železa a mikrokomůrky měly katalytické stěny složené ze sirnoželezitých minerálů, jako tomu je u zkamenělých průduchů z Tynaghu v Irsku. Vlastně by fungovaly jako přírodní průtokové reaktory, v nichž by tepelné a elektrochemické gradienty poháněly oběh reaktivních tekutin skrze katalytické komory.

Potud je vše v pořádku, ale jediný reaktor, byť sebeznamenitější, dá životu vzniknout jen zřídka. Jak mohl život od takových přírodních reaktorů pokročit až k oné zázračně důvtipné a vynalézavé tapisérii života, kterou kolem sebe vidíme? Odpověď na tuto otázku samozřejmě neznáme, ale určitá vodítka lze vyvodit z vlastností života jako takového, především pak z jádra zakonzervovaných reakcí společných veškerému životu na dnešní Zemi. Toto jádro metabolis-

mu, živoucí niterná fosilie, v sobě zachovává pozůstatky nejdávnější minulosti, odpovídající počátkům v zásaditém hydrotermálním průduchu.

K otázce vzniku života lze přistupovat ze dvou směrů: „zdola nahoru“ a „shora dolů“. Až doposud jsme se v této kapitole pohybovali „zdola nahoru“ a zvažovali geochemické podmínky a termodynamické hnací síly, které nejspíše existovaly na mladé Zemi. Jako nejvhodnější prostředí pro vznik života jsme určili hlubokomořské hydrotermální průduchy, jimiž do oceánu nasyceného oxidem uhličitým pronikal plyný vodík. Přírodní elektrochemické reaktory by dovedly vytvářet jak organické molekuly, tak energii; ale ještě jsme se nedopátrali odpovědi na otázku, k jakým přesně reakcím nejspíše došlo a jak se jejich působením život vyvinul do podoby, v jaké ho známe dnes.

Jediným skutečně přijatelným způsobem jak zjistit, proč je dnes život takový, jaký je, je přístup směrem „shora dolů“. Můžeme vytvořit přehled vlastností sdílených vším živým a s jejich pomocí zrekonstruovat hypotetické vlastnosti Posledního univerzálního společného předka, známého pod anglickou zkratkou LUCA. Například tedy kvůli tomu, že jen malá část bakterií je schopna provádět fotosyntézu, je nepravděpodobné, že toho byl schopný sám LUCA. Kdyby tomu přesto tak bylo, pak by se většina jeho následníků musela této ceně dovednosti vzdát, což se zdá být přinejmenším nepravděpodobné, přestože s jistotou to vyloučit nelze. Obdobně lze říct, že veškerý život na Zemi sdílí jisté společné vlastnosti: všechno živé se skládá z buněk (kromě virů, které do buněk pronikají); všechny buňky mají geny složené z DNA; všechny kódují bílkoviny jakýmsi univerzálním kódem používaným pro určité aminokyseliny. A všechno živé používá společnou energetickou měnu, známou jako ATP (adenosintrifosfát), která funguje podobně jako desetilibrová bankovka, s níž lze v rámci buňky „platit“ za celou řadu různých služeb (což podrobněji rozebereme později). Logicky lze usuzovat, že veškeré živé organismy zdědily své

společné vlastnosti po onom jediném vzdáleném společném předkovi, jímž byl LUCA.

Veškerý současný život rovněž sdílí určité společné jádro metabolických reakcí. V jejich centru se nachází drobný cyklus reakcí, pojmenovaný Krebsův cyklus po Siru Hansi Krebsovi, německém laureátu Nobelovy ceny, jenž v Sheffieldu ve 30. letech po svém útěku před nacisty jako první fungování cyklu popsal. Krebsův cyklus zaujímá v biochemii význačné místo, nicméně celé generace studentů jej měly za ukázkou toho nejhoršího, obstarožního biochemického dějepisu, kterou se před zkouškami naučily nazpaměť a pak ji zase zapomněly.

Na Krebsovu cyklu je však přesto cosi kultovního. Na stěnách stísněných kabinetů v odděleních biochemie – v takových těch kabinětech, kde na stole stojí hromady knih a štosy papírů, přepadávajících na podlahu a do koše, který už alespoň deset let nikdo nevynesl – často najdete připíchnuté vybledlé, zkroucené schéma metabolismu se zohýbanými rohy. Se směsicí hrůzy a fascinace na ně zůstanete civět, zatímco čekáte, až se vrátí profesor. Jeho složitost je strašlivá, vypadá jako pokus nějakého šílence namalovat plánek metra a všemi směry se po něm táhnou malé šipky, které se pak zase stáčeji jedna ke druhé. I když jsou vybledlé, ještě tak tak rozpoznáte, že všechny ony šipky mají různé barvy pro různé trasy – červená pro bílkoviny, zelená pro tuky a tak dále. O kousek blíže k dolnímu okraji, kde nějakým záhadným způsobem vzbuzuje dojem, že se nachází přesně uprostřed té anarchické změti šipek, je malý kroužek, snad jediný kruh nebo spíše jediný spořádaný úsek celého schématu. To je on, Krebsův cyklus. A jak se tak na něj díváte, začnete si uvědomovat, že vlastně všechny další šipky po celém schématu se stáčeji od Krebsova cyklu pryč, jako paprsky polámaného kola. Je to střed všeho, metabolické jádro buňky.

Krebsův cyklus se už zdaleka nezdá být tak obstarožní. Současné medicínské výzkumy ukázaly, že se nachází v centru jak biochemie, tak fyziologie buňky. Změny v oběhové rychlosti cyklu ovlivňují

vše od stárnutí přes rakovinu až po hladinu energie. Ale jako ještě mnohem překvapivější se ukázalo zjištění, že Krebsův cyklus zvládá i zpětný chod. Za obvyklých okolností cyklus spotřebovává organické molekuly (z potravy) a jeho výstupy jsou vodík (jehož účelem je být při respiraci spálen s kyslíkem) a oxid uhličitý. Cyklus tedy nejenže poskytuje prekurzory pro metabolické procesy, ale také produkuje malé dávky vodíku potřebné k vytváření energie ve formě ATP. Pokud jde o zpětný chod, dělá Krebsův cyklus pravý opak: nasává oxid uhličitý i vodík a vytváří z nich nové organické molekuly, stavební kameny života. A namísto toho, aby se z něj za chodu uvolňovala energie, spotřebovává při zpětném fungování ATP. Dodejte tedy cyklu ATP, oxid uhličitý a vodík a jako mávnutím kouzelného proutku dostanete základní stavební materiál života.

Tento zpětný chod Krebsova cyklu není příliš rozšířený dokonce ani mezi bakteriemi, ale je poměrně běžný mezi bakteriemi žijícími v hydrotermálních průduších. Očividně jde o významný, i když primitivní způsob přeměny oxidu uhličitého ve stavební kameny života. Průkopnický biochemik z Yale, Harold Morowitz, jenž teď pracuje v Krasnowském institutu pokročilého výzkumu ve Fairfaxu ve Virginii, vlastnosti zpětného Krebsova cyklu několik let zkoumal. V širším smyslu lze z jeho závěrů říct, že pokud má k dispozici veškeré ingredience v dostatečné koncentraci, funguje cyklus sám. Je to kyblíková chemie. Pokud se koncentrace jednoho materiálu začne zvyšovat, bude mít sklon se přeměnit na druhý materiál. Ze všech možných organických molekul jsou to ty z Krebsova cyklu, které jsou nejstabilnější, a tedy je jejich vznik nejpravděpodobnější. Jinými slovy, Krebsův cyklus „nevynalezly“ geny, jde jen o pravděpodobnostní chemii a termodynamiku. Když se geny o něco později vyvinuly, držely se schématu, jež už existovalo, podobně jako dirigent orchestru, který se stará o interpretaci – o tempo a intonaci – ale to, jak je hudba napsaná, neovlivní. Ona hudba, hudba sfér, tu byla celou dobu.

Jakmile se Krebsův cyklus jednou rozběhl a začal produkovat energii, takřka nevyhnutelně začalo docházet k vedlejšími reakcím,

z nichž vzešly složitější prekurzory jako aminokyseliny a nukleotidy. Otázka, jak velká část z jádra metabolismu života na Zemi vznikla spontánně a jak velkou část později vytvořily geny a proteiny, je jistě zajímavá, nicméně mimo záběr knihy, jako je tato. Dovolím si ale jednu všeobecnou poznámku. Drtivá většina pokusů, v nichž šlo o umělé vytvoření stavebních kamenů života, byla příliš „puristická“. Takové pokusy začínají s jednoduchými molekulami jako je kyanid, které s chemií života tak, jak ho známe, nemají nic společného (vlastně jsou mu protikladné). Pak se snaží uměle vytvořit materiál, z něhož je život postaven, tím, že si pohrávají s faktory, jako jsou tlak, teplota nebo elektrické výboje, které jsou všechny naprosto nebiologické. Ale co se stane, když začnete s molekulami z Krebsova cyklu a nějakými ATP, ideálně v elektrochemickém reaktoru, jak to navrhl Mike Russell? Jak velká část z našeho metabolického schématu se zohýbanými rohy se z těchto ingrediencí samovolně vynoří jako jakási nadpозemská forma, která se postupně zaplní termodynamicky nejpravděpodobnějšími molekulami? Nejsem jediný, kdo by řekl, že ta část bude poměrně velká, snad až k úrovni menších bílkovin (přesně řečeno polypeptidů) a RNA, kde už se začne v rozhodující míře uplatňovat přirozený výběr.

To vše je věcí experimentů; a tyto experimenty je zpravidla teprve nutné provést. Mají-li být realistické, potřebujeme stabilní produkci ATP, oné magické přísady. A v tomto bodě se vám může zdát, že předbíláme, že se snažíme běžet ještě dříve, než se vůbec naučíme chodit. Jak vytvoříme ATP? Odpověď, kterou považuji za nejpřesvědčivější, pochází od brilantního, i když někdy až přehnaně přímočarého amerického biochemika Billa Martina, jenž dal Spojeným státům sbohem, aby se ujal místa profesora botaniky na Düsseldorfské univerzitě. Od té chvíle se Martin stal zdrojem neutuchajícího přílivu revolučních teorií o původu téměř všeho, co v biologii hraje nějakou roli. V některých z nich se může mýlit, přesto jsou ale vždy strhující a skoro každého přimějí podívat se na biologii z jiného úhlu. Před pár lety se Martin setkal s Mikem Russellem a společně napadli přechod

od geochemie k biochemii. Od té doby se jejich myšlenkový proud nezastavil. Pojdme se jím nechat kousek unést.

Martin a Russell se vydali zpátky ke kořenům: k přísunu uhlíku do organického světa. Dnes, jak poznamenávají, existuje jen pět metabolických procesů, jimiž rostliny a bakterie zásobují žijící svět vodíkem a oxidem uhličitým potřebnými k vytváření organické hmoty, přičemž jeden z nich, jak jsme si již vysvětlili, je obrácený Krebsův cyklus. Ostatní čtyři z pěti procesů (stejně jako Krebsův cyklus) spotřebovávají ATP a mohou se tedy odehrávat jen tehdy, mají-li přísun energie. Ovšem pátý proces, přímočará reakce vodíku s oxidem uhličitým, nejenže vytváří organické molekuly, ale také se při ní uvolňuje energie. Přesně to v sérii vzdáleně podobných kroků dělají dvě skupiny starobylých organismů. A s jednou z těchto dvou skupin jsme se již potkali – jsou to „archea“, kterým se daří v průduchové oblasti Ztraceného města.

Mají-li Martin s Russellem pravdu, pak vzdálení předci těchto archeí prováděli ten samý sled reakcí v prakticky identickém prostředí před 4 miliony let, na úsvitu života. Ale reakce vodíku s oxidem uhličitým není zdaleka tak přímočará, jak to zní, neboť tyto dvě molekuly spolu spontánně nereagují. Jsou poměrně „stydlivé“ a k tanci je musí přesvědčit katalyzátor; a aby se do toho daly, potřebují také přísun malého množství energie. Jen pak se ty dvě molekuly spojí a uvolní přitom ještě více energie. Katalyzátor je jednoduchý až až. Enzymy, které reakci slouží jako katalyzátor dnes, obsahují ve svých jádrech drobné shluky železa, niklu a síry se strukturou velice podobnou minerálům, nalezeným v průduších. To naznačuje, že prvotní buňky v sobě jednoduše obsahovaly už připravený katalyzátor, což ukazuje na nesmírnou starobylost procesu, neboť to s sebou nese nutnost vývoje sofistikovaných bílkovin. Podle Martina a Russella stojí proces na kamenných základech.

Zdrojem energie, potřebným k roztláčení koule ze svahu, se alespoň ve světě průduchů ukázaly být průduchy samotné. Jeden nečeka-

ný produkt reakce jim uniká: reaktivní forma octa známá jako acetylthioester⁶. Acetylthioestery se tvoří proto, že oxid uhličitý je poměrně stabilní a odolává náporu vodíku, ale na druhou stranu je zranitelný vůči reaktivnějším „volným radikálům“, částicám uhlíku nebo síry, které se v průduších nacházejí. V podstatě platí, že energie potřebná k přesvědčení oxidu uhličitého k reakci s vodíkem vychází ve formě reaktivních volných radikálů ze samotných průduchů, které dávají vzniknout acetylthioesterům.

Acetylthioestery jsou významné, neboť figurují u prastarého bodu, v němž se větví metabolismus, který lze nalézt ještě v dnešních organismech. Když oxid uhličitý reaguje s acetylthioesterem, je zvolena větev vedoucí k tvorbě složitějších organických molekul. K této reakci dochází spontánně a uvolňuje se při ní energie, přičemž výsledkem je trojuhlíková molekula zvaná pyruvát (kyselina pyrohroznová). Při zaslechnutí jména téhle molekuly by měli biochemici zpozornět, protože jde o vstup do Krebsova cyklu. Jinými slovy, několik jednoduchých reakcí, z nichž všechny jsou termodynamicky příhodné a některé jsou katalyzovány enzymy s minerálovitými shluky v jádrech, které jim dávají ony „kamenné základy“, nás bez okolků dostává přímo do metabolického centra života, do Krebsova cyklu. A jakmile jednou pronikneme do Krebsova cyklu, potřebujeme už jen stálý přísun ATP, abychom ho rozběhli a začali s výrobou stavebních kamenů života.

Energii poskytuje druhá větev, na které fosfát reaguje s jiným acetylthioesterem. Ta reakce sice neprodukuje ATP, ale vytváří jejich jednodušší formu zvanou acetylfosfáty. Ty slouží v podstatě stejnému účelu a některé bakterie je i v současnosti používají spolu s ATP: předávají svou reaktivní fosfátovou skupinu dalším molekulám a tím jim dávají energetický impuls, jenž je následně aktivuje. Tento proces se trochu podobá dětské hře na honěnou, v níž jedno z dětí honí ostatní, a když se dotkne druhého, přenesení ten úkol na něj. Dítě, které má ostatní honit, získává „reaktivitu“, kterou předává jinému. Přesun fosfátu z jedné molekuly na druhou funguje velice podobně: reaktiv-

ní dotyk aktivuje molekuly, jež by jinak nereagovaly. Tak mohou ATP nastavit Krebsovu cyklu zpětný chod a acetylfosfáty dělají úplně to samé. Odpad vznikající poté, co je reaktivní fosfátová „baba“ předána, je čistý ocet, běžný produkt dnešních bakterií. Až příště otevřete láhev vína, které zkyslo (v procesu přeměny v ocet), pomyslete na bakterie, které se v láhvi činí a vytvářejí odpadní produkt starý jako život sám, odpad mnohem úctyhodnější než to nejlepší víno.

Pokud tyto informace spojíme, zjistíme, že zásadité hydrotermální průduchy nepřetržitě vytvářejí acetylthioestery, což umožňuje počátek tvorby složitějších organických molekul i energie k tomu potřebné, to vše v podobě v zásadě stejné, jakou používají i dnešní bakterie. Minerální komůrky, jimiž jsou komíny protkané, současně poskytují jak koncentraci výstupních produktů, která podobným reakcím prospívá, tak katalyzátory nezbytné k urychlení celého procesu, aniž by byly v tomto stádiu potřeba složité bílkoviny. A konečně, probublávání vodíku i jiných plynů do labyrintu minerálních komůrek znamená, že všechny používané suroviny se neustále obnovují a důkladně se promíchávají. Je to učiněná fontána života, tedy až na jednu neodbytnou drobnost s dalekosáhlými důsledky.

Onen problém souvisí s tím malým energetickým impulsem nutným k prvnímu sblížení vodíku a oxidu uhličitého. Již jsem se zmínil o tom, že problém nespočívá v samotných průduších, protože jejich hydrotermální podmínky tvoří reaktivní volné radikály, které celý proces nastartují. Ale je to problém pro buňky volně žijící mimo průduchy. Ty musí místo toho na začátku utratit ATP, jako se na první schůzce prolamují ledy pozváním na skleničku. Kde je v tom problém? Nesedí účetnictví. Při reakci vodíku s oxidem uhličitým se uvolňuje dostatek energie k vytvoření jedné molekuly ATP. Ale musíte-li k vytvoření jedné ATP jednu ATP utratit, neplyne z toho žádný zisk. A bez zisku nemá co nastartovat Krebsův cyklus a zahájit tvorbu složitých organických molekul. Život mohl v průduších započnout, ale pak měl zůstat k průduchům navěky připoután jakousi nepřerušitelnou termodynamickou pupeční šňůrou.

Ovšem život očividně k průduchům připoutaný není. Není-li celá tato úvaha klamná, jak jsme tomu osudu unikli? Odpověď, kterou předložili Martin a Russell, je úchvatná, neboť vysvětluje, proč prakticky všechen dnešní život využívá stejné charakteristické metody respirace k produkování energie v tom snad vůbec nejzvláštnějším a nejnepřekvapivějším mechanismu v celé biologii.

Ve Stopařově průvodci po Galaxii zoufale nešikovní předkové moderních lidí ztroskotají na planetě Zemi a zaujmou místo tamních opolidí. Sestaví podvýbor pro znovuvynalezení kola a jako měnu zvolí listy, díky čemuž všichni nesmírně zbohatnou. Ale narazí na závažný problém, kterým je inflace, kvůli níž jsou ke koupi jediného arašidu z lodi potřeba asi tři opadavé lesy. Takže naši předkové zahájí rozsáhlý deflační program a všechny lesy spálí. Zní to až děsivě reálně.

Když pomínu jistou lehkovážnost, pak soudím, že na tomto popisu povahy měny něco je – neměli vůbec nic, co by ukotvilo hodnotu. Arašid může mít cenu zlaté cihly, jedné pence nebo tří opadavých lesů; všechno závisí na relativním ocenění, vzácnosti a tak podobně. Desetilibrová bankovka může stát, kolik chce. Ale v chemii tomu tak není. O něco dříve jsem přirovnal ATP k desetilibrové bankovce a tu hodnotu jsem nezvolil náhodou. Energie vazeb v ATP je taková, že je k výrobě jednoho ATP potřeba utratit deset liber, a když tak učiníte, dostanete nazpět přesně deset liber. Hodnota tu není relativní, jak je tomu s lidskou měnou. A v tom tkví základní problém všech bakterií, které se pokusí opustit průduchy. ATP není tak univerzálním platičkem jako desetilibrová bankovka, jeho hodnota je neměnná a v jeho případě není nic jako drobné. Chcete-li s cílem prolomit ledy na první schůzi koupit laciné pití, musíte tak zaplatit svou desetilibrovkou a i když nápoj stál jen dvě libry, žádné drobné nedostanete – nic jako pětina molekuly ATP totiž neexistuje. A když zachytíte energii uvolněnou při reakci vodíku s oxidem uhličitým, můžete ji uložit jen ve formě desetilibrových bankovek. Řekněme tedy, že byste v zásadě

mohli z reakce získat osmnáct liber; to na dva ATP nestačí, takže si musíte vyrobit jen jeden. Přijdete o osm liber, protože nic jako drobné neexistuje. Většina z nás se s obdobně otravnými obtížemi setkává ve směnárnách, pracujících jen s vysokými hodnotami.

Vzato kolem a kolem, i přesto, že pro začátek potřebujete dvě libry a předtím jste mohli získat osmnáct liber, pak v případě, že musíte použít naši univerzální desetilibrovku, vám nezbyvá než utratit deset liber a deset liber vydělat. Bakterie se této rovnici nedovedou vyhnout: žádná nemůže růst přímou reakcí vodíku s oxidem uhličitým jen s využitím ATP. A přesto rostou, přičemž využívají důmyslnou metodu rozložení desetilibrové bankovky do menších částek, metodu známou pod působivým názvem chemiosmóza. Ta vynesla svému hlavnímu interpretu, britskému biochemiku Peteru Mitchellovi, v roce 1978 Nobelovu cenu. Ocenění konečně ukončilo desetky let ostrých rozepří. Dnes, kdy se na něj díváme z perspektivy nového tisíciletí, vidíme, že se Mitchellův objev řadí mezi ty nejvýznamnější dvacátého století.⁷ Ale dokonce i těch nemnoho vědců, kteří dlouho zdůrazňovali význam chemiosmózy, jen obtížně vysvětluje, proč by měl tak podivný mechanismus být v životě všudypřítomný. Stejně jako univerzální genetický kód, Krebsův cyklus a ATP, tak i chemiosmóza se nachází ve veškerém životě a zdá se, že patřila k vlastnostem Posledního univerzálního společného předka neboli LUCA. Martin a Russell ozřejmili proč.

V nejširším slova smyslu je chemiosmóza pohybem protonů přes membránu (odsud pochází odkaz na osmózu, kde přes membránu prochází voda). Při respiraci se děje následující. Elektronů jsou odebrány z jídla a dlouhý řetěz nosičů je dopraví ke kyslíku. Na několika místech uvolňovaná energie se používá k pumpování protonů přes membránu. Ve výsledku protony membránou procházejí. Membrána funguje trochu jako přehrada s vodní elektrárnou. Tak jako voda, proudící z náhorní nádrže, pohání turbínu a vyrábí tak elektřinu, tak i v buňkách tok protonů bílkovinnými turbínami v membráně pohání syntézu ATP. Existenci tohoto mechanismu nikdo nečekal: namísto

pěkně přímočaré reakce mezi dvěma molekulami mezi nimi funguje zvláštní protonový gradient.

Chemici jsou zvyklí pracovat s celými čísly – pro jednu molekulu není možné reagovat jen s polovinou druhé molekuly. Snad tím nejvíce matoucím aspektem chemiosmózy jsou všechny ty zlomky celých čísel, kterými se to v ní jen hemží. Kolik elektronů je třeba přesunout k vytvoření jednoho ATP? Něco mezi 8 a 9. A kolik protonů? Dosud nejpřesnější odhad zní 4,33. Taková čísla vůbec nedávala smysl, dokud nebyl odhalen význam gradientu, sloužícího jako prostředník. Gradient se konečkonců skládá z nespočtu jednotlivých gradací: nelze jej rozčlenit do celých čísel. A velkou výhodou gradientu je, že ojedinelá reakce se může opakovat znovu a znovu, jen aby vytvořila jedinou molekulu ATP. Pokud se při jediné samostatné reakci uvolní setina energie, potřebné ke tvorbě jednoho ATP, pak se reakce bude jednoduše opakovat stokrát a gradient se krok za krokem zvětšuje, dokud není zásoba protonů dost velká k vyprodukování jednoho ATP. Najednou může buňka strádat; má kapsu plnou drobných.

Co to znamená? Vraťme se k reakci vodíku s oxidem uhličitým. Bakterii pořád ještě stojí jeden ATP, aby se proces rozběhl; ale teď už může vytvořit více než jeden ATP, protože si může naspořit na další. Možná to není nejvýnosnější živnost, ale určitě je poctivá. Co je ale důležitější, je to rozdíl mezi schopností růstu a neschopností růstu. Jestli mají Martin s Russellem pravdu a díky této reakci vyrostly ty nejranější formy života, pak jediným způsobem, jakým mohl život kdy hlubokomořské průduchy opustit, byla chemiosmóza. Je bezesporu pravda, že jediné formy života, které z této reakce dnes těží, jsou jednak na chemiosmóze závislé a jednak bez ní nemohou růst. Stejně tak je pravda, že takřka všechen život na Zemi tento prazvláštní mechanismus sdílí, dokonce i tam, kde to není nezbytné. Proč? Řekl bych, že jednoduše proto, že jde o dědictví po společném předkovi, který bez něj nemohl žít.

Ale ještě je tu ten hlavní důvod, díky němuž lze usuzovat, že Martin a Russell mají pravdu – využití protonů. Proč například ne na

bitých atomů sodíku, draslíku nebo vápníku, které používají naše vlastní nervové soustavy? Neexistuje žádný zřejmý důvod, z jakého by měly protony dostat přednost před gradientem jakéhokoli jiného druhu elektricky nabitých částic; a jsou i bakterie, jež využívají spíše sodíkových gradientů než protonových, i když jen zřídka. Ten hlavní důvod nás, podle mého názoru, vrací zpět k vlastnostem Russellových průduchů. Připomeňme si, že skrze průduchy se zásadité tekutiny dostávají do oceánu, který je kvůli rozptýlenému oxidu uhličitému kyselý. Kyseliny jsou definovány s pomocí protonů: kyselina je na protony bohatá, zatímco zásada jich má málo. A tak zásadité tekutiny, probublávající do kyselých oceánů, vytvářejí přírodní protonový gradient. Jinými slovy, minerální komůrky v Russellových zásaditých průduších jsou přírodně chemiosmotické. Sám Russell na tuto skutečnost upozornil už před mnoha lety, ale zjištění, že bakterie nemohou bez chemiosmózy průduchy opustit, bylo jedním z přínosů jeho spolupráce s Martinem, zabývajícím se energetikou mikrobů. A tak tyto elektrochemické reaktory nejenže vytvářejí organické molekuly a ATP, ale rovnou přišly i s únikovým plánem, se způsobem, kterým se lze vyhnout obecnému problému placení desetilibrovou bankovkou.

Samozřejmě, přírodní protonový gradient je k něčemu dobrý jen tehdy, pokud z něj může život těžit a později i stvořit svůj vlastní gradient. Je sice jistě jednodušší využívat již existujícího gradientu než z ničeho tvořit něco, ale ani jeden z těchto procesů neprobíhá přímo. Není pochyb o tom, že se tyto mechanismy vyvinuly prostřednictvím přirozeného výběru. Dnes jsou potřeba četné bílkoviny specifikované geny a není důvod se domnívat, že by se tak složitý systém bez bílkovin a genů vůbec mohl vyvinout – bez genů složených z DNA. A tak před sebou máme pozoruhodnou smyčku. Život nemohl opustit prostředí průduchů, dokud se nenaučil, jak využít svůj chemiosmotický gradient, ale svůj gradient mohl využít jen s pomocí genů a DNA. Zdá se, že ze smyčky není úniku: život se ve své kamenné kolébce musel vyvíjet překvapivě sofistikovaně.

Tak nám vzniká neobyčejný obraz Posledního univerzálního společného předka všeho života na Zemi. Mají-li Martin s Russellem pravdu – a já myslím, že mají – pak nešlo o žádnou volně žijící buňku, ale o kamenný labyrint minerálních komůrek s katalytickými zdi ze železa, niklu a síry, jemuž dodávaly energii přírodní protonové gradienty. První formou života byl porézni kámen, který vytvářel složité molekuly a uvolňoval energii, dokud nevznikly bílkoviny a sama DNA. A to znamená, že jsme si v této kapitole odvyprávěli jen polovinu celého příběhu. V další kapitole se dostaneme k té druhé polovině – ke vzniku té nejslavnější ze všech molekul, k materiálu, z něhož se skládají geny, k DNA.