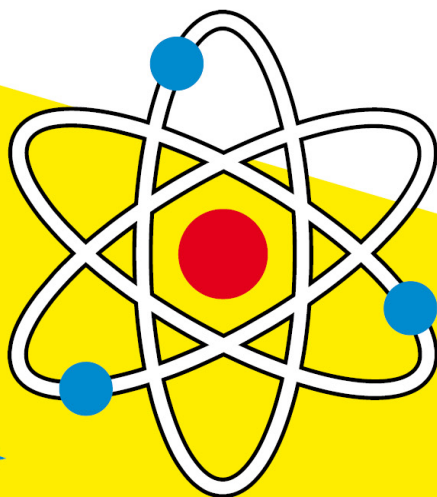


TEMA

marcus chown
jaký to nádherný svět

POKUS JEDINCE POROZUMĚT VŠEMU



TEMA

Marcus Chown

Jaký to nádherný svět

marcus chown

jaký to nádherný svět

POKUS JEDINCE POROZUMĚT VŠEMU

Copyright © Marcus Chown, 2013
Translation © Lucie Kudlejová, 2014
Cover and layout © Lucie Mrázová, 2014

ISBN 978-80-7473-204-1 (PDF)

Věnováno Jeanette, Karen a Aline. Jsem tak rád, že vás mám.
S láskou, Marcus

Předmluva

Tato kniha vznikla díky mému vynikajícímu redaktorovi, Neilu Beltonovi. Vlastně by se dalo říct, že jsem jeho stalker. Šel jsem za ním z nakladatelství Jonathan Cape až k Faber. Neil je muž mnoha talentů. Mimo jiné moc dobře ví, v čem jsou jeho autoři dobří a jaké jsou naopak jejich slabiny.

Za svou silnou stránku považuji to, že umím vysvětlit i ty nejsložitější fyzikální jevy komukoli, kdo se mnou například pojedete autobusem číslo 25 (možná bych raději měl říct tomu, kdo *měl tu smůlu* a v autobuse číslo 25 si sedl vedle mě). Kromě fyziky se však věnuji i dalším věcem. Přečetl jsem spoustu beletrie. Zajímám se o historii. Rád běhám. V roce 2012 jsem dokonce uběhl Londýnský maraton (a zřídka kdy to při jakémkoli setkání nezminím během prvních tří minut).

Neilův výborný nápad spočíval ve spojení dvou věcí: využít mou schopnost vysvětlit složité fyzikální jevy jednoduchými výrazy k tomu, že laickými slovy popíšeme *všechno*.

Vyděsil mě. Napsat o všem? A kde vůbec začít? Hned jsem si v hlavě začal srovnávat, jak logicky obsáhnout tak široké téma. Postupně jsem zamítal jeden koncept za druhým. Pak však přišlo něco, co změnilo můj názor: aplikace *Solar System for iPad*. Dostal jsem pouhých 9 týdnů, abych sepsal 120 příběhů o planetách, měsících, planetkách a kometách. Nezbývalo mi tedy nic jiného, než se ponořit do psaní a naučit se v tom plavat. Aplikace získala několik ocenění, takže se

mi to asi podařilo. A přesně to jsem udělal i tentokrát. Přemohl jsem své obavy a prostě se do toho ponořil.

Byl to boj. Když potřebuji zjistit něco z oblasti fyziky, obvykle vyhledám konkrétního odborníka – a může to být klidně nositel Nobelovy ceny – a jednoduše mu zavolám. Existuje 95procentní šance, že na mé hloupé otázky odpoví hned. A pokud ne, alespoň se o to pokusí. Postupoval jsem tedy stejně. U témat, o kterých jsem nevěděl zhola nic, například o penězích, sexu či lidském mozku, však bylo obtížné vůbec určit někoho, kdo by dokázal mé neuvěřitelně elementární otázky zodpovědět. A když už se mi to podařilo a já někomu takovému zavolal, tito lidé často nebyli schopni zjednodušit své vysvětlení tak, aby ho pochopil i batole, jak jsem potřeboval. Někdy jsem měl dokonce pocit, jako bychom mluvili různými jazyky. Než jsem získal odpovědi na všechny své otázky, často jsem musel vyhledat dva, tři nebo čtyři odborníky. A občas se stalo, že se mi nepodařilo najít žádného. Místo toho jsem byl nucen spojit vysvětlení několika odborníků s tím, co jsem se sám dočetl.

Neil však měl pravdu. Přesně odhadl, jakou knihu bych měl psát. Takovou, která přesahuje hranici mého pohodlí a nakonec se pro mě stane vzrušujícím a radostným zážitkem. Studia všeho pro mě neznámého jsem si užíval plnými doušky. Začal jsem si cenit toho, v jak báječném světě žijeme – mnohem fantastičtějším než cokoli, co by lidé kdy mohli vynalézt. Během psaní jsem si uvědomil spoustu překvapivých věcí, například...

- že abych porozuměl zajištěné dluhové obligaci na druhou (collaterised debt obligation squared), což byla jedna z příčin, které v roce 2008 poslaly světovou ekonomiku ke dnu, musel bych přečíst dokumentaci o *jedné miliardě stránek*,
- že organismy zvané hlenky mají celkem 13 pohlaví (a vy máte dojem, že není snadné najít a udržet si toho pravého partnera),

- že celé lidstvo by se dalo vměstnat do objemu kostky cukru,
- že jste z jedné třetiny houba – jinými slovy, sdílíte s houbami třetinu své DNA,
- že v přízemí budovy stárnete pomaleji než v jejím horním patře,
- že klíčovou výhodou, jakou měli pravěcí lidé oproti neandrtálcům, bylo... *šití*,
- že v IBM kdysi předpokládali, že počítačů se na celém světě využije tak... *pět*,
- že jen dnes vaše tělo vytvoří přibližně 300 miliard buněk – to je víc než hvězd v naší galaxii (jednoho to odrovná, není divu, že už se mi dnes nechce dělat nic),
- věřte tomu nebo ne, vesmír je možná jeden obrovský hologram. I vy jste možná jen hologram.

Máte-li pocit, že vše v naší přeinformované společnosti kolem vás letí jako rozmazaná šmouha, rád bych se pokusil vám ve své knize rychle a bezbolestně přiblížit, jak svět jednadvacátého století funguje. Konec konců je to pokus jedince porozumět všemu. Ne, ani to nemohu s jistotou slíbit. Berte ji jako pokus jedince porozumět všemu... *první díl*.

Marcus Chown
Londýn, březen 2013

ČÁST PRVNÍ:

Jak funguje lidské tělo

1:

JSEM JAKO GALAXIE

Buňky

Dobře se dá obhajovat stanovisko, že neexistujeme jako entity.
Lewis Thomas

Je cosi v mé hlavě, ale není to mé.
Pink Floyd

Cítím se být sám sebou. Ale to nejsem. Jsem totiž jako galaxie. Ve skutečnosti jsem spíš jako tisíc galaxií. V mém těle je víc buněk, než je hvězd v tisíci Mléčných drahách. A ani jedna z nespočtu buněk mého těla netuší, kdo jsem, ani ji to nezajímá. Vlastně to ani nejsem já, kdo píše tuhle knihu. Má myšlenka je pouhým souhrnem elektrických signálů, které vysílá skupina mozkových buněk – neuronů – prostřednictvím míchy dolů k jiné skupině svalových buněk mé ruky.¹

Vše, co dělám, je výsledkem koordinované činnosti obrovského množství, bilionu na biliontů buněk. Americký biolog Lewis Thomas napsal: „Rád bych si myslel, že to všechno pracuje v můj prospěch, že to pro mě přímo dýchá; ale možná jsou to oni, kdo se procházejí časně zrána v místním parku, kdo jsou smyslem mých smyslů, kdo poslouchají mou hudbu a myslí mé myšlenky.“²

Prvním krokem na cestě ke zjištění, že každý z nás je superkolonií buněk, byl objev buňky samotné. O ten se zasloužil nizozemský obchodník s látkami, Antonie van Leeuwenhoek. Za pomoci upravené malé lupy, která se používá při kontrole hustoty vláken v tkaninách, se stal prvním člověkem v historii, jenž na vlastní oči *viděl* živou buňku. V dopise zveřejněném v dubnu 1673 v periodiku Londýnské královské společnosti *Philosophical Transactions* van Leeuwenhoek píše: „Prozkoumáním malého množství krve, odebrané z mé ruky, jsem zjistil, že se skládá z malých kuliček.“

Termín „buňka“ poprvé použil již o dvě desetiletí dříve anglický vědec Robert Hooke. Při zkoumání rostlinné tkáně si v roce 1655 všiml

shluků odumřelých buněk. Ani on, ani van Leeuwenhoek si však neuvědomili, že buňky jsou pro život něco jako kostičky Lega. Přesně tak to ale je. Buňka je „biologický atom“. Pokud je nám známo, kromě buněčného života žádný jiný neexistuje.

Prokaryota: chráněný mikrověsír

První důkaz o existenci buněk pochází z fosilií starých přibližně 3,5 miliardy let. Nesmělý doklad o jejich existenci je však již z doby před zhruba 3,8 miliardami let, ve struktuře vypovídající o chemických nerovnováhách v horninách, jež jsou pro živé věci charakteristické. První buňky, známé jako prokaryota, byly v podstatě jen malé průhledné slizové váčky o průměru menším než tisícina milimetru. Tím, že se materiál koncentroval pod obalem, došlo k urychlení klíčových chemických reakcí za současného vzniku energie. Současně tím byly proteiny a jiné nestabilní produkty těchto reakcí chráněny před toxickými látkami z okolního prostředí, například kyselinami či solemi. Slizový váček se stal útočištěm, jakýmsi ostrůvkem v oceánu zmatku a chaosu, chráněným mikrověsír, ve kterém se mohly v bezpečí začít vyvíjet řád a komplexnost.

Složitost takových buněk byla z velké části dána proteiny – megamolekulami sestávajícími z aminokyselinových stavebních kamenů a tvořenými miliony atomů. V závislosti na svém tvaru a chemických vlastnostech jsou tyto molekuly schopny s přesností švýcarských nožů plnit nespočet úkolů, počínaje urychlováním chemických reakcí či působením jako buněčné lešení, až po zajišťování pohybu buňky tím, že se zavinou jako pružiny. I jednoduchá bakterie se skládá z přibližně čtyř tisíc různých proteinů, ačkoli syntéza, neboli exprese některých proteinů, například těch nutných k reprodukci, probíhá jen za určitých okolností. Jejich struktura je zakódována v deoxyribonukleové kyselině (DNA), molekule tvaru dvojšroubovice, která ve formě smyčky volně pluje buňkou v chemické polévce, zvané cytoplazma.

Buněčná struktura je nádherně spleťtá. Předně je zde obal, nazvaný membrána. Ten tvoří mastné kyseliny, tedy molekuly, vyznačující se jak vodomilným, tak vodoodpudivým koncem. Když se takových lipidů sejde mnoho – obvykle kolem miliardy – samy se spontánně uspořádají do dvou vrstev, přičemž jejich hydrofobní konce směřují dovnitř a hydrofilní směrem ven.

Lipidové vrstvy obalující buňku ovšem netvoří pouhou pasivní překážku. Ani zdaleka. Tato dvojvrstva totiž reguluje prostup molekul dovnitř a ven z buňky. Představte si buňku jako starobylé město obklopené hradbami. Podobně jako pro drobná zvířata, například myši, není problém snadno procházet hradbami sem a tam, mohou i malé molekuly jednoduše pronikat buněčnou membránou. Větší tvorové, třeba lidé mohou být vpuštěni za městské hradby pouze branami, a stejně tak je „branami“ v buněčné membráně regulován průchod velkých molekul. Najdeme tu například proteiny ve tvaru duté trubice přes celou šířku membrány, jejichž prostřednictvím mohou dovnitř a ven z buňky pronikat právě větší molekuly. Dále jsou tu transportní proteiny, jejichž úkolem je kyvadlová přeprava velkých molekul z jedné strany membrány na druhou.

Molekuly vstupují do buňky jednak jako zdroj energie, dále jako stavební prvky potřebné k tvorbě bílkovin a také kvůli předání informací z okolního prostředí. Okolní nadbytek molekul nezbytných pro výstavbu nových buněk tak například může v buňce vyvolat reprodukční proces.³ Nedostatek molekul vody procházejících membránou pak může buňku upozornit na nebezpečí vyschnutí. Uvnitř buňky se tím spustí kaskáda chemických reakcí, které vedou k rozvinutí DNA a jejímu opakovanému kopírování do molekul, zvaných ribonukleová kyselina, neboli RNA. Molekuly RNA si najdou cestu k ribozomům, nanoaparátu, který používá tuto RNA matici k tvorbě bílkovin. Tyto bílkoviny jsou pak součástí hlenu, který buňku před vyschnutím ochrání.⁴ Molekuly bílkovin jsou na prostup buněčnou membránou příliš veliké. Z cytoplasmy se ven z buňky vyplavují po milionech v membránových váčcích, takzvaných vezikulech, které

mají schopnost s buněčnou membránou splynout. Membrána se pak otevře, a aniž by došlo k jejímu roztržení či ztrátě strukturální integrity, vyvrhne bílkoviny do okolního prostředí.

Kromě reakce na molekuly v okolním prostředí ale buňky reagují také na molekuly *ostatních buněk*. Objevy fosilií velkých mikrobiálních společenstev, známých jako stromatolity, dokazují, že i ta nejjednodušší a nejstarší prokaryota mezi sebou spolupracovala. Živé stromatolity lze najít i dnes – například v mělkých tropických vodách u západního pobřeží Austrálie – nejstarší z těchto fosilních komunit je 3,5 miliardy let.

Zatímco buňka vytváří bílkoviny ke své ochraně před změnami okolního prostředí, je současně schopna produkovat i proteiny varující ostatní stejného druhu, aby učinili totéž. Tato chemická signalizace je rozhodující pro přežití jednoduchých prokaryot, často žijících v obrovských koloniích, takzvaných biofilmech. Dost možná se jednalo o první organizované struktury, jaké se na Zemi objevily. Buňky na vnitřní straně biofilmu vylučují sladký protein, který jejich membrány přichytí k membránám jiných buněk, zatímco buňky na vnější straně biofilmu produkují proteiny, které je pomáhají chránit před toxiny z okolního prostředí. Některé buňky jsou dokonce za účelem získání drahocenného dusíku pro ostatní svého druhu schopny autodestrukce. Tento druh spolupráce, kdy se buňky v rámci skupiny diferencují, aby mohly plnit různé úkoly, připomíná buňky v lidském těle. Naznačuje, jakým způsobem mohla taková úzká buněčná spolupráce začít fungovat již před miliardami let.

Velikost a složitost prokaryot má své limity. Jednak se bílkoviny sestavené na základě exprese DNA mohou v rámci buňky pohybovat jen pomalým unášením, říkáme o nich, že difundují. Od určité velikosti jsou tedy prokaryota v reakcích na vnější ohrožení nebezpečně pomalá. Vzácná prokaryota *Thiomargarita namibiensis*, k jejichž objevu došlo až v roce 1997, tento problém dokázala vyřešit. Tato obří sirlná bakterie dorůstá délky až 0,75 mm, a je tak snadno viditelná pouhým okem. Její DNA není uspořádaná jen do jedné smyčky, ale do

tisíců smyček, rovnoměrně rozložených po celé cytoplazmě. Znamená to, že ačkoli se bílkoviny vzniklé expresí lokálních řetězců DNA šíří pomalu, přesto jsou schopny rychle se dostat do všech částí buňky.

Je tu však další závažný problém, který udržuje prokaryota malá. Čím více totiž rostou, tím větší jsou totiž jejich energetické nároky. I kdyby použily strategii *T. namibiensis*, rostoucí množství energie by spotřebovaly na manipulaci s velkým množstvím DNA. Jelikož by to bylo na úkor jiných buněčných procesů, cesta k vyšší složitosti tak byla doopravdy a jednou provždy zablokována.

Existuje jiný způsob, jak vyrůst: kanibalismus.

Eukaryota: města ve váčcích

Přibližně před 1,8 miliardy let došlo k pozření jednoho prokaryota druhým. Mezi prokaryota patří bakterie a také exotičtější archea, mikroorganismy přežívající v extrémních podmínkách, jako jsou vroucí sirné prameny, které tak byly pravděpodobně jednou z prvních forem života na Zemi.⁵ A před 1,8 miliardy let došlo k tomu, že *archeon spolkl bakterii*.

K něčemu takovému muselo do té doby dojít už nesčetněkrát. Ve všech případech však byla bakterie buď sežrána, tedy usmrcena, anebo vyplivnuta. Tentokrát však bakterie z jakéhosi neznámého důvodu přežila. Víc než to. *Prospívala*. Polykající i polykaný si byli navzájem prospěšní. Polykaný získal ochranné prostředí, a ocitl se tak v bezpečí před nepřátelským okolním světem, polykající pak nový zdroj energie.

Důkazy o tom, že k něčemu takovému skutečně došlo, nashromáždila americká bioložka Lynn Margulisová (první manželka televizního popularizátora astronomie Carla Sagana). Takové důkazy jsou ostatně kolem nás patrně dodnes. Mitochondrie, zdroj energie uvnitř eukaryotických buněk všech živočichů, jsou nejen stejně veliké jako samostatně žijící bakterie, ale *stejně jako ony i vypadají*.⁶ Ještě pozoruhodnější je jejich vlastní DNA, odlišná od DNA mateřské buňky a uspořádaná do smyčky, přesně jako u prokaryot.

Eukaryota mohou mít ve skutečnosti stovky či dokonce tisíce takových mitochondrií. Jsou to neúnavné, soběstačné elektrárny, neustále slučující vodík z potravy s kyslíkem za vzniku energetického oběživa, adenosin trifosfátu, neboli ATP.⁷ Americký biolog Lewis Thomas napsal: „Moje mitochondrie zaujímají velmi značnou část mne samého. Předpokládám, že jich je co do čisté váhy tolik, kolik je mého ostatku. Když se tak na sebe dívám, mohl bych se právě tak dobře pokládat za obrovskou, zvolna se pohybující kolonii dýchajících bakterií.“⁸

Když začaly buněčné mitochondrie pracovat částečně nezávisle, nebylo nutné, aby nadále obětovaly tolik ze své DNA k výrobě energie. DNA byla volná ke kódování jiných věcí, jiných proteinových nanoaparátů. Tím, že buňky před 1,8 miliardami let získaly mitochondrie, mohly najednou růst do mnohem větších rozměrů a mnohem složitějších struktur.

Srovnání velkých eukaryot s typickými prokaryoty je jako postavit vedle sebe kočku a blechu. Taková eukaryotická megabuňka může obsahovat stovky, ba dokonce tisíce membránou obalených váčků, neboli organel. Tyto organely zastanou práci celé buňky, lze si je tedy představit jako ekvivalent továrny, poštovní třídírny či jiného specializovaného střediska v moderním velkoměstě.

Například lysozomy mají v buňce funkci kontejnerů na tříděný odpad. Rozebírají bílkoviny a jiné molekuly na jednotlivé stavební prvky, které se pak dají znovu upotřebit. Důvodem, proč vám v hamburgeru zvadne salát, je teplo z hovězího masa, které poruší membránu lysozomu v jeho buňkách. Tím se aktivují enzymy, které salát ničí. Součástí ostatních organel je drsné endoplazmatické retikulum, které funguje jako buněčná kancelář DHL. Drsné endoplazmatické retikulum, stejně jako ribozomy na základě RNA přicházející z jádra, vyrábí bílkoviny pro odeslání do zahraničí, tedy s určením mimo buňku. Další organelou je Golgiho aparát, který má funkci balicího centra. Má schopnost bílkoviny modifikovat, opatřit je například cukerným povrchem, který absorbuje vodu. Tyto proteiny mohou být určeny k obalení krevních buněk, které jsou pak díky nim kluzké a snadněji se pohybují.⁹

Spíše než samostatným organismem je ve skutečnosti eukaryotická buňka kolonií organismů, z nichž každý již dávno ztratil schopnost samostatného přežití. Richard Dawkins řekl: „V první polovině celého geologického času byli našimi předky bakterie. Stále tvoří většinu organismů na Zemi a kolonií bakterií je v podstatě i každá z bilionů buněk v našem těle.“ A k tomu všemu došlo pouhou náhodou. „Mitochondrie, jež poprvé vstoupila do jiné buňky, neuvažovala o budoucích přínosech takové spolupráce a integrace,“ tvrdí Stephen Jay Gould. „Byla motivována výhradně snahou přežít v tvrdém Darwinovském světě.“¹⁰

Organely jsou podřízeny buněčnému jádru. V něm je obsažena DNA, a z jádra se tak řídí veškerá aktivita buňky. V roce 1833 rozpoznal jádro jako běžnou součást všech komplexních buněk anglický botanik Robert Brown.¹¹ Jádro obalené dvojitou membránou připomíná hrad obehnaný hradbami uvnitř opevněného města, tedy ohraničené buňky. Membrána řídí vstup molekul do jádra a průchod bílkovin vzniklých expresí DNA z jádra ven.

Přítomnost jádra spolu s množstvím organel je jednou z definujících charakteristik eukaryot. Prokaryota nemají jádro ani organely. Již samotný termín *prokaryota* znamená „před jádrem“, zatímco výraz *eukaryota* znamená „skutečné jádro“. Přítomnost jádra ve složité eukaryotické buňce je velmi pravděpodobně nutností, drahocennou DNA je totiž třeba chránit před divokými procesy probíhajícími v každém jejím koutku.¹²

Kromě jádra a velkého množství organel se eukaryota liší od prokaryot tím, že mají cytoskelet. Celá buňka je protkána systémem dlouhých vláken proteinů, zejména tubulinu. Tyto mikrotubuly vyztužují měkký obal buňky, která díky tomu drží svůj tvar. Dále připevňují organely k membráně. Tím je zajištěno, že jsou organely všech eukaryot uspořádány podobným způsobem, paralelně s podobným uspořádáním vnitřních orgánů u všech lidí. Kromě zajištění podpůrného systému vláken působí mikrotubuly i jako interní železniční síť, díky které lze rychle transportovat materiál po buňce.

Síť vláken funguje tak, že roste na jednom konci, zatímco se rozpadá na druhém, je tak paradoxně *spíše transportním pásem než samotným vlakem, který by zajišťoval hybnou sílu*. Nově vyrobené proteiny, zabalené ve váčcích, neboli vezikulech, jednoduše naskočí na blízký mikrotubulus, odkud jsou okamžitě transportovány ke vzdálenému místu určení v buňce.

Buněčná železniční síť umožňuje eukaryotům překonat jednu z největších překážek, které brání v růstu prokaryotům: pohyb materiálu po buňce. Eukaryota nemusí čekat, až se bílkovinám podaří pomalu samovolně proplout cytoplazmou, díky své rychlé tranzitní síti mohou jejich pohyb urychlit.

Ačkoli však mají eukaryota oproti prokaryotům obrovské výhody, i ona jsou limitována. Řízení organel je složité. Pokud by jich buňka obsahovala více než několik tisíc, taková organizace by byla nad schopnosti jejího jádra. Eukaryota, stejně jako prokaryota, končí ve slepé biologické uličce. Cesta ke vzrůstající složitosti vede jiným směrem – spočívá ve spolupráci nebývalého rozsahu.

Mnohobuněčné organismy

Eukaryota již od okamžiku svého vzniku zcela jistě hledala stále důmyslnější způsoby vzájemné spolupráce. Ten klíčový okamžik nastal přibližně před 800 miliony let. Už jednou příroda spojila symbiotická prokaryota v kolonie, čímž vznikla eukaryota. Teď tedy stejný trik zopakovala. Vytvořila kolonie symbiotických eukaryot, a tak došlo ke vzniku mnohobuněčných organismů.

Skutečnost, že život na Zemi probíhal celé 3 miliardy let v jednobuněčné fázi, než udělal krok k mnohobuněčným organismům, vypovídá o tom, že nešlo o krok snadný. Nepřímo tím naznačuje vyhlídky na objev mimozemského života. Navzdory padesátiletému výzkumu astronomové neobjevili nikde v naší galaxii ani náznak mimozemské inteligence. Jednou z možností je, že život je v Mléčné dráze běžný, avšak pouze ve formě jednobuněčných mikroorganismů.

Lidé – stejně jako zvířata, rostliny a houby – jsou mnohobuněčnými organismy. Každý z nás je kolonie složená z přibližně 100 milionů milionů buněk. Existuje jich asi 230 různých typů od buněk mozkových a krevních až po buňky svalové či pohlavní. A všechny jsou uzavřeny v obalu složeném z kožních buněk, který se ničím neliší od membrány jediné buňky.

Každá buňka má vlastní kopii své DNA (kromě dospělých krevních buněk, ty jsou natolik spotřebním materiálem, že jim dokonce chybí jádro). To, zda se buňka stane ledvinovou, pankreatickou či kožní, však závisí na konkrétním úseku DNA a jeho rozkódování, neboli expresi. Exprese zase závisí na regulačních genech – úsecích DNA, které dokážou vypnout a zapnout čtení DNA například v závislosti na koncentraci určité chemické látky v dané oblasti.

Každá ze 100 milionů milionů buněk tvořících lidskou bytost je mikrosvět svou složitostí podobný velkému městu, bzučícímu nepřetržitou aktivitou miliard nanopřístrojů. Jsou zde sklady, dílny, administrativní centra a ulice plné provozu. Slovy amerického novináře Petera Gwynneho: „Elektrárny vytvářejí buněčnou energii, továrny produkují bílkoviny, životně důležité jednotky pro chemický obchod. Složité dopravní systémy zajišťují transport specifických chemických látek z místa na místo v buňce i mimo ni. Hlídky na barikádách kontrolují export a import a monitorují dění v okolním světě pro případ nebezpečí. Disciplinované biologické armády jsou připraveny se utkat s útočníky. Centralizovaná genetická vláda udržuje pořádek.“¹³

A to vše probíhá v každém okamžiku každého našeho všedního dne, zatímco my o tom nemáme ani ponětí. Jak řekl biolog a spisovatel Adam Rutherford: „Každý pohyb, každý úder srdce, myšlenka a emoce, každý záchvěv lásky či nenávisť, nuda, vzrušení, bolest, frustrace nebo radost, každá opilost i kocovina, každá modřina, kýchnutí, zasněžení nebo vysmrkání, vše, co jste kdy slyšeli, viděli, cítili či ochutnali, je *vzájemná komunikace vašich buněk mezi sebou a se zbytkem vesmíru.*“¹⁴

Život každého z nás začíná jedinou buňkou, když spermie, nejmenší buňka v těle, splyne s vajíčkem, největší buňkou v těle, viditelnou pouhým okem. Než se tato jediná buňka rozdělí na dvě, každý z nás stráví přibližně půl hodiny jako jednobuněčný organismus. Pak začíná naprosto fenomenální proces. Za pouhých třicet minut musí buňka nejen vytvořit kopii své DNA – proces, ke kterému z časových důvodů dochází současně na více místech DNA – je však také třeba vytvořit něco kolem 10 miliard složitých bílkovin. Tedy více než 100 000 za sekundu.

Během následujících šedesáti minut jsou dvě buňky rozděleny na čtyři, později na osm a tak dále. Po několika děleních dochází z důvodu chemických rozdílů v různých oblastech vyvíjejícího se embrya k diferenciaci buněk. Tento proces je završen ve chvíli, kdy si buňky „uvědomí“, že mají být ledvinové, mozkové či kožní. V průběhu let se z jedné jediné buňky stane galaxie buněk – nebo spíše *tisíc buněčných galaxií*.

Žádná z buněk v lidském těle – kromě buněk mozkových – nežije natrvalo. Buňky lemující stěny žaludku se koupou v kyselině chlorovodíkové tak silné, že by byla schopna rozpustit žiletku, není tedy divu, že musí být neustále obnovovány. Novou žaludeční stěnu získáte každé tři nebo čtyři dny. Krevní buňky vydrží déle, ale i u nich dojde asi po čtyřech měsících k autodestrukci. Přibližně každých sedm let jste skoro nový člověk, což by možná mohlo vysvětlovat sedmiletou kopřivku. Díváte se na svého partnera a najednou si říkáte „To není ten člověk, do kterého jsem se zamiloval/a“!

Buňky v našem těle umírají v tak obrovském množství, že na jejich náhradu je nutné vytvořit každý den přibližně 300 miliard buněk nových. To je víc buněk, než je hvězd v naší galaxii. Není divu, že i nicnedělání člověka unaví.

Cizorodé organismy

V lidském těle může být astronomické množství buněk, přesto však nejsou schopny vykonávat všechny funkce potřebné pro přežití. Ne

bez pomoci legií cizorodých buněk jako jsou prokaryota, houby a jednobuněční živočichové, zvaní prvoci.¹⁵ Například v žaludku neustále pracují na extrakci živin z potravy stovky druhů bakterií. Pokud některé z těchto „hodných“ bakterií zabijí antibiotika, obvykle to vyústí v nějakou zdravotní komplikaci, například průjem.

Cizorodé bakterie chrání lidské tělo před onemocněním už jen tím, že vyplňují některé mezery, které by jinak mohly obsadit patogeny způsobující nemoci. V roce 2012 byly zveřejněny výsledky pětileté studie Human Microbiome Project (HMP) financované americkou vládou. Na nosní sliznici přibližně 29 procent lidí byla prokázána přítomnost bakterie *Staphylococcus aureus* (zlatý stafylokok) – známé jako superbakterie MRSA. Jelikož tito lidé netrpěli žádnými příznaky, má se za to, že u zdravých lidí tento druh působí jako užitečná bakterie, která drží škodlivé patogeny na uzdě.

Podrobné je, že výsledky Human Microbiome Project prokázaly v lidském těle přítomnost více než 10 000 druhů cizorodých buněk – což je čtyřicetinasobek počtu buněčných typů, které jsou lidskému tělu vlastní. Lidmi jsme tedy jen z 2,5 procenta. Každý čtvereční centimetr naší kůže ve skutečnosti obývá asi 5 milionů bakterií. Mezi nejhustěji osídlené oblasti patří uši, zátylek, obě strany nosu a pupík. Jakou funkci mají všechny tyto cizorodé bakterie, je záhadou. Díky projektu HMP bylo například zjištěno, že 77 procent druhů bakterií v nose se zde nachází z naprosto neznámých důvodů.

Obrovské množství cizorodých bakterií v těle by mohlo vést k podceňování jejich významu. Projekt HMP odhalil, že mikroorganismy, které obývají lidské tělo, mají dohromady nejméně 8 milionů genů, přičemž každý z nich kóduje protein s konkrétním účinkem. Lidský genom naproti tomu disponuje pouhými 23 000 geny.¹⁶ V důsledku toho lidské tělo ovlivňuje asi 400krát více mikrobiálních genů než genů lidských. V jistém smyslu tedy nejsme lidmi ani z 2,5 procenta – jsme jimi z pouhých 0,25 procenta.

Vzhledem k tomu, že cizorodé buňky v našem těle tvoří zejména prokaryota, která jsou mnohem menší než eukaryota, celkově

nám přidávají jen několik kilogramů, pouhé 1 až 3 procenta celkové hmotnosti. Nejsou zakódované v naší DNA, jsme jimi však infikováni ihned po narození prostřednictvím mateřského mléka nebo přímo z okolního prostředí. Osídlení lidského organismu je víceméně dokonáno do tří let věku. Rodíme se jako stoprocentní lidé, dalo by se však říci, že umíráme z 97,5 procent jako úplně jiný druh.

Biologický horizont událostí

Každá buňka se rodí z jiné buňky. „*Omnis cellula e cellula*“, zjistil v roce 1825 François-Vincent Raspall. To znamená, že původ každé buňky v našem těle – každé buňky na Zemi – je možné vystopovat jako souvislou linii vedoucí v historii zpět až k první buňce, která se na Zemi vyskytla asi před 4 miliardami let. První buňka vůbec bývá obvykle označována jako poslední univerzální společný předek (last universal common ancestor, LUCA). Nikdo přesně neví, jak k tomu všemu došlo. Než příroda trefila ten správný design, nepochybně proběhlo obrovské množství pokusů, mnoho preevolucí.

Chyby v genech, takzvané mutace, vznikají v průběhu času stabilní měrou. Pokud má tedy jeden druh dvakrát více mutací určitého genu než druhý, dá se usuzovat, že se od linie společného předka oddělil před dvojnásobně dlouhou dobou. Na tomto principu je založen strom života, poprvé navržený Charlesem Darwinem. Bakterie mají nicméně nepříjemný zvyk rekombinovat úseky DNA, kterou pak předávají svým potomkům. Strom života tak v blízkosti posledního univerzálního společného předka není tak úplně stromem, jako spíše neproniknutelným houštím.

Ve fyzice vědci v souvislosti s černou dírou hovoří o „horizontu událostí“ – bodu, za kterým pro hmotu padající do černé díry není návratu. Horizont událostí černou díru zakrývá, z jejího nitra tak není nic vidět. Analogicky biologové hovoří o biologickém horizontu událostí, za kterým není nic známo. Tam se bohužel nachází i LUCA.

Od dob LUCA byla Země, ačkoli koketovala s mnohobuněčností, bakteriálním světem. Na naší planetě je podle všeho asi 10 000 miliard miliard miliard bakterií. Miliardkrát více, než je hvězd v pozorovatelném vesmíru. To však nemusí být věrný obrázek zemské biologie. Uvažme viry. Lewis Thomas napsal: „Žijeme v tančící základní hmotě virů; vrhají se, vystřelují jako včely od organismu k organismu, z rostliny na hmyz, z hmyzu na savce, ze savce na mne a zase zpátky do moře, vlekouce s sebou kusy tohoto genomu, vlákna genů z onoho genomu, transplantují štěpy DNA, podávají dědičnost kolem stolu jako při velké hostině.“¹⁷ Viry, neschopné samostatné reprodukce, aniž by k tomu zneužily buněčný systém, obecně za prekurzory buněčného života považovány nejsou. Ale kdo ví?

2:

DÍTĚ NA RAKETOVÝ POHON

Dýchání

Všechna naše energie je osvobozeným paprskem světla, který byl v jídle polapen.

Nick Lane, *Vývoj života*

Naše povolání je chytat elektrony v okamžicích, kdy jsou vzbuzeny slunečními fotony, odrážet energii uvolněnou v okamžiku každého přeskoku a ukládat je ve spleťtých smyčkách nás samých.

Lewis Thomas, *Životy buňky*

Raketa stoupá na oblaku bílého kouře a oranžových plamenů. Dítě skáče radostí. Dvě věci, které zdánlivě nemají nic společného. Zdání však klame. Energii oběma dějům dodává principiálně stejná chemická reakce. Oba pohání raketové palivo.

Stačí se jen na moment zamyslet a přestane se nám to zdát překvapivé. Vyzvednutí těžké rakety do vesmíru vyžaduje to nejvýkonnější palivo, ten nejefektivnější zdroj energie. Život na Zemi byl po 3,8 miliardy let veden experimenty na principu pokus-omyl. Bylo by přinejmenším podivné, kdyby ve svém úsilí o dodání energie živým organismům nenarazil na ten nejúčinnější dostupný zdroj.

Tímto zdrojem energie je chemická reakce mezi vodíkem a kyslíkem. Veškerá fauna na Zemi získává vodík z potravy a kyslík čerpá ze vzduchu. Raketa využívá kapalný vodík a kapalný kyslík.

Jak je to tedy s reakcí vodíku s kyslíkem? A odkud přesně se bere tak ohromné množství energie? Na to je potřeba trocha odborné průpravy.

Součástí všech atomů, včetně vodíku a kyslíku, je malé jádro a ještě menší elektrony. Elektrony obíhají kolem jádra, lapeny jeho mocnou elektrickou silou v podstatě stejným způsobem jako planety kolem Slunce pod vlivem jeho gravitace. Způsobů, jakým mohou elektrony v daném atomu kroužit, existuje mnoho. Obecně nejspokojenější jsou však co nejbliže k jádru, kde se nacházejí ve stavu s minimální energií.

Tento obecný princip platí napříč celou fyzikou. Například pro míč vysoko na kopci platí, že má velkou gravitační energii. Při sebemenší

příležitosti se pokusí svou energii minimalizovat, čili skutálí se dolů do údolí, kde bude jeho gravitační energie nízká. Elektrony v atomu se snaží svou energii zminimalizovat úplně stejně jako míč koulejší se z kopce dolů.

Když dojde ke spojení dvou atomů, jejich společné elektrony se uspořádají novým způsobem. Pokud má vzniklá konfigurace nižší celkovou energii, než byla energie dvou samostatných atomů, pak – stejně nevyhnutelně jako míč, který se daleko raději skutálí z kopce dolů – dojde ke vzniku molekuly. V tom spočívá celá ta chemie: ve znovuspořádání elektronů.

Energie molekuly je nižší než energie jednotlivých atomů, jejichž spojením molekula vznikla. To znamená, že po této reakci zůstává zbytková energie. Základní fyzikální princip praví, že energie nemůže vznikat ani zanikat, jen se přeměňuje z jedné formy na druhou – například z energie elektrické na světelnou. V důsledku toho je nadbytek energie k dispozici pro *vykonání práce*.¹

V raketovém motoru se například reakcí mezi atomy vodíku a kyslíku uvolňuje velké množství energie. Každý atom kyslíku reaguje se *dvěma* atomy vodíku za vzniku vody (H_2O). Uvolněná energie vodu ohřívá a ze zadní části rakety je velkou rychlostí vypuzován bílý oblak páry. Každá akce vyvolá stejně velkou reakci opačného směru, rychlý výfuk plynu tedy žene raketu kupředu.

Uvolněním tak obrovského množství energie reakcí vodíku s kyslíkem lze raketu vyzvednout až na samý okraj vesmíru.² Ze stejného důvodu dokáže maratonec na misku těstovin uběhnout 26 mil a 385 yardů. A právě proto tuto reakci využívá i ten nejposlednější tvor na Zemi.

Slučování vodíku s kyslíkem není jedinou reakcí, při které dochází k uvolňování energie. Ještě než se kyslík začal v zemské atmosféře vyskytovat ve větším množství, organismy získávaly energii mnohem méně efektivními procesy, například kvašením. Buňky kvasinek vyrábějí alkohol fermentací. Prostřednictvím fermentace získávají kyselinu mléčnou i svaly sprinterů, když se jim nedostává kyslíku. Při fer-

mentačním procesu je však k dispozici pro vykonání práce přibližně pouhé jedno procento přebytečné energie. Oproti 40 procentům při reakci vodíku s kyslíkem je to nesrovnatelné množství.

Tato dvě čísla v biologickém světě svědčí o leccčems zajímavém a důležitém. Aby na světě byli masožravci, musí být v potravinovém řetězci k dispozici nejméně tři trofické úrovně: rostliny, dále živočichové, kteří se rostlinami živí, a pak živočichové, kteří se živí organismy živícími se rostlinami. Pokud je však živočichům, kteří se živí rostlinami, z těchto rostlin k dispozici pouhé 1 procento energie, pak je pro živočichy o úroveň výš k dispozici pouze 1 procento z 1 procenta, tedy jen 0,01 procenta a tak dále.

Dokud se tedy asi před 580 miliony let nestal kyslík dostupným víceméně v současném množství, nemohli existovat masožravci (bakterie se kyslíkový trik naučily ve skutečnosti již před více než 2 miliardami let, tehdy však bylo kyslíku k dispozici jen velmi malé množství). Odhaduje se, že tento kyslíkový fígl asi tisíckrát zvýšil množství biomasy na Zemi. Namísto dvou stupňů potravinového řetězce, neboli trofických úrovní, jich bylo najednou možných pět nebo šest. Za ohromnou rozmanitost dnešního života na Zemi vděčíme výhradně rozšíření kyslíku.

Biologie na baterky

Jak přesně kyslíkový trik funguje? U raketového pohonu dochází ke slučování vodíku a kyslíku za vzniku vody se současným prudkým uvolněním velkého množství tepelné energie. V živých organismech k tak násilnému procesu samozřejmě nedochází. Explodovaly by. Místo toho uvolňují energii postupně, krok za krokem, a to mnohem jemnějším a decentnějším způsobem.

Při slučování vodíku s kyslíkem v raketovém motoru dochází ke stejnému ději jako ve všech chemických reakcích – elektrony hrají „škatulata, hejbejte se“. Konkrétně atom kyslíku popadne elektrony ze dvou vodíkových atomů.³ Atomy kyslíku a vodíku v rámci tohoto

procesu splynou v molekulu vody.⁴ Řekněme však, že atomy vodíku poskytnou své elektrony kyslíku, ale *vodík s kyslíkem se ve skutečnosti vůbec nepotkají, co pak?* Pak se jedná o obrat směrem k nevybušené reakci kyslíku s vodíkem, která probíhá u organismů.

Prvním požadavkem je získání vodíku. Ve volném stavu tento plyn na Zemi neexistuje. Ať by byl vytvořen v jakémkoli množství, jako nejlehčí ze všech plynů by se ihned vznesl do vesmíru. Uvnitř buňky však probíhá úžasně rafinovaný a energeticky efektivní proces zvaný Krebsův cyklus, který dokáže využít vodíkové atomy z potravy – čili buď z molekul cukru (glukózy – $C_6H_{12}O_6$) nebo z lipidů. Dva atomy vodíku pak své elektrony darují atomu kyslíku. Tento proces však neprobíhá přímo jako v raketě. Mezi atomy vodíku a kyslíku se táhne dlouhý řetězec proteinových komplexů.⁵ Darované elektrony překypující přebytečnou energií po tomto řetězci přeskakují z místa na místo.

Zaměříme se nyní na jednotlivý elektron. Jak přeskakuje po řetězci směrem ke kyslíku (stejně jako míč kutálející se dolů z kopce), vede jádra vodíku, čili protony⁶, skrz kanály, neboli póry v buněčné membráně.⁷ Jelikož protony nesou elektrický náboj – opačný než elektrony – dojde k nabití jedné strany membrány. K něčemu podobnému dochází u baterie; mezi svorkami baterie se vytváří elektrické silové pole. A téhož výsledku dosáhne i superenergetický elektron, když se řítí po bílkovinném řetězci směrem k atomu kyslíku: přemění buněčnou membránu v nabitou baterii. Výsledné elektrické pole na membráně je překvapivě silné. Ve skutečnosti je srovnatelné s elektrickým polem, které při bouřce štěpí atomy ve vzduchu a rozpoutává blesky o síle několika milionů voltů.⁸

Mohli byste si představovat, že takový výboj buňky ve vašem těle zničí. Obrovské elektrické silové pole však působí pouze na malou tloušťku buněčné membrány – přibližně 5 miliontin milimetru – než se mu do cesty postaví další molekuly a zastaví je. Při jevu zvaném programovaná buněčná smrt, neboli apoptóza, se však kupodivu tento ochranný mechanismus vypne a buňky jsou v podstatě zničeny svými vlastními vnitřními výboji.

Výkonné elektrické silové pole membrány řídí chemickou reakci vedoucí ke vzniku adenosintrifosfátu, neboli ATP. Molekuly ATP fungují jako zásobárna energie – můžeme si je představit jako přenosné baterie. Tím, jak elektron přeskakuje po bílkovinném řetězci, postupně svou energii ztrácí a ta se ukládá ve formě energií nabitých molekul ATP. Rozkladem ATP se tato energie opět snadno uvolní a může pak v případě potřeby sloužit jako zdroj pro jakékoli buněčné procesy.

Dalo by se tedy v podstatě říci, že fungujeme na baterie. V lidském těle je asi miliarda molekul ATP, které se každou 1–2 minuty spotřebují a obnoví. Hračky spotřebují několik baterií, které se většinou vybijí během pár hodin. V porovnání s tím lidské tělo využije až 10 milionů baterií za sekundu. Naštěstí jsou v případě lidského těla baterie součástí balení.

Když elektron konečně dorazí na konec proteinového řetězce, je zcela bez energie. Zde se spojí s čekajícím atomem kyslíku. Po připojení dalšího elektronu z vodíku dosáhne kyslík vysoce žádoucího stavu zaplnění vnějšího elektronového obalu. Ani to však ještě není konec. V případě, že atom kyslíku předá elektrony atomu uhlíku – zbylém po uvolnění vodíku z potravy v Krebsově cyklu – výsledkem je velmi stabilní molekula oxidu uhličitého. A oxid uhličitý je spolu s vodní parou tím, co kyslík vdechující živočichové vydechují jako odpad.

Dýchání

Tolik k chemii dýchání, ale co jeho fyziologie? Dýcháme vzduch, který tvoří z dvaceti procent kyslík. Využijeme jej jen ze čtvrtiny, takže i vydechovaný vzduch stále obsahuje asi 15 procent kyslíku. Díky tomu jsme schopni oživit člověka v bezvědomí dýcháním z úst do úst.

Vdechnutý vzduch je nasáván hluboko do plic, jejichž vnitřní plocha má v tom nejmenším měřítku strukturu podobnou rozvětvenému stromu. Jeho větvičky, známé jako plicní sklípky, probíhají podél jemných krevních cév a molekuly kyslíku z nich přecházejí do

červených krvinek. Rozvětvená struktura plicních sklípků maximalizuje plochu pro přenos kyslíku. Množství kyslíku, které může vstoupit do krevního řečiště, je tak co nejvyšší. Pozoruhodné je, že plocha lidské plíce je přibližně tak velká jako plocha tenisového kurtu.

Po přestupu molekuly kyslíku z plic ji v krevní buňce zachytí obrovská bílkovina, zvaná hemoglobin. Ta ji přepraví do buňky, ve které je kyslík sloučen s vodíkem získaným z potravy, čímž tato buňka získá energii. Zásadní je, že hemoglobin mění své chování v závislosti na kyselosti prostředí, v jakém se nachází. Nízké pH v buněčné destinaci rafinovaně změní tento protein tak, že své pasažéry začne *odpuzovat*. Protein zde proto drahocennou molekulu kyslíku vysadí. Tento změněný hemoglobin však nyní *přitahuje* molekuly oxidu uhličitého. Jakmile se nějaká chytí, je ihned přepravena zpět do plic, kde přestoupí z krevních cév do plicních sklípků, odkud je vydechnuta z těla ven.

Kyslík, který dýcháme a který pohání veškeré biologické procesy v našem těle, je pro náš život nepostradatelný. Zatímco bez jídla můžeme přežít po dobu jednoho měsíce a bez vody jeden týden, bez přísunu kyslíku jen asi tři minuty.⁹ V každém okamžiku našeho života nás tedy od smrti dělí pouhé tři minuty. Skutečnost, která velmi zřetelně dojde zejména člověku s infarktem, jehož srdce se zastavilo a přestalo tak pumpovat kyslík do tepen a orgánů v těle.¹⁰

Fotosyntéza

Odkud se ale bere kyslík, který dýcháme? Správná odpověď samozřejmě zní: z rostlin. Místo vdechování kyslíku a vydechování oxidu uhličitého přijímají oxid uhličitý a produkují kyslík.

Téměř veškerá energie potřebná k životu na Zemi je tak nakonec energií ze slunečního záření, kterou rostliny zachycují přímo ze Slunce.¹¹ Celý trik je neskutečně důmyslný – jinak bychom jistě museli již dávno najít způsob, jak jej napodobit, a získávat tak energii pro celou lidskou civilizaci ze slunečního záření přímo. Energie částice světla – fotonu – je převedena na elektron v obří bílkovině zvané chlorofyl.

To je molekula zodpovědná za zelenou barvu rostlin, ačkoli existuje i druhá, nezelená varianta chlorofylu. Elektron překypující energií je pak schopen dodat energii chemickým procesům. Fotosyntéza je ohromně složitý proces, výsledkem je však v podstatě přesný opak dýchání.

Zatímco při dýchání dochází k uvolnění vodíku z potravin, například z cukrů, a k předání jeho elektronu kyslíku, přičemž je vylučován odpadní oxid uhličitý, při fotosyntéze dochází k oddělení vodíku z vody a jeho využití společně s uhlíkem z oxidu uhličitého na tvorbu cukrů, přičemž zde je odpadním produktem přebytečný kyslík. Na chvíli se nad tímto úžasným kouzlem pozastavme. Rostliny jsou schopné syntetizovat energeticky bohatou potravu pouze z obyčejné vody, oxidu uhličitého ze vzduchu a slunečního záření.

Cukry vytvářené rostlinami jsou v podstatě ztělesněním zachyceného slunečního záření. Kdykoli je jíme, vlastně tím uvolňujeme energii zachyceného slunečního záření. Tím však celý zázrak nekončí. Některé rostliny, zejména stromy, když odumřou, mohou být hluboko v zemi působením tepla a tlaku přeměněny ve fosilní paliva, například uhlí. Topíme-li uhlím, uvolňujeme tím včerejší sluneční záření. energii všemu na Zemi tak dodává zachycený paprsek slunečního záření.

Fotosyntéza je ve skutečnosti poměrně neefektivní proces. Ve většině rostlin činí podíl převedení dopadající energie světelného záření na cukry jen asi 1 procento. Vědci se tedy nesnaží pouze o umělou fotosyntézu, ale i o *výrazné zefektivnění* tohoto přírodního jevu – přeměnit na vodík řekneme 20 procent dopadajícího slunečního záření.

Sloučením vodíku s kyslíkem – ať už v raketovém palivu nebo při dýchání – se uvolní ohromné množství energie. To by proto mohlo být použito do palivových článků a pohánět tak nejrůznější stroje od aut až po počítače. K umělé fotosyntéze vedou tři základní kroky. Nejprve musíme umět zachytit světlo a převést jeho energii na elektron, čímž jeho energii zvýšíme. Dále je třeba osvobodit elektron z mateřského atomu. Nakonec musíme tímto vysokoenergetickým

elektronem bombardovat vodu a uvolnit z ní to nejcennější, vodík. Umělá fotosyntéza, schopná vyrábět vodíkové palivo ze slunečního záření, by dokázala zbavit lidstvo závislosti na rychle se ztenčujících zásobách fosilních paliv, jako je ropa. Šlo by o převratnou technologii, která by mohla změnit svět.

3:

CESTA ZPĚT DO BUDOUCNOSTI

Evoluce

Evoluce je jako dráteník.

François Jacob, *Evolution and Tinkering*

Prasata na nás pohlížejí jako na sobě rovné.

Winston Churchill

Co mají společného letadla, televize a pouliční lampy s žábami, velrybami a lidmi? Ve všech těchto případech jde o vysoce nepravděpodobná uspořádání hmoty a to, co dělají, dělají extrémně dobře. Technologické záležitosti z první skupiny navrhli lidé. Z podobnosti mezi oběma skupinami se proto nabízí zřejmý závěr, že živé věci z druhé skupiny byly navrženy také. Tento evidentní závěr je však nesprávný.

Iluze designu v přírodě je tak silná, že až do devatenáctého století nebyla za iluzi vůbec považována. V Evropě té doby panovalo obecné přesvědčení, že živé organismy byly dílem stvoření a na Zemi je v jejich současných formách přenesla nějaká vyšší moc. Tehdejší vědci byli povětšinou věřící a to poslední, co měli v úmyslu, by bylo zpochybňovat toto přesvědčení, a seslat tak na sebe hněv církve. Vědci nicméně nemají jinou možnost, než pracovat s důkazy. A na světě existují nepopíratelné důkazy, že ta neskutečná rozmanitost života na Zemi – vše od bakterií po plejtváky, od hub po kaloně, od goril po obří sekvoje – je čistě dílem přírodního mechanismu.

Důležité poznatky přinesly fosilie. Ukázalo se, že jde o pozůstatky dávných tvorů, pohřbených pod sedimenty usazenými na dně jezer a moří, které nějakým způsobem – nikdo přesně nevěděl jak – zkameněly. Fosilie jasně ukazují, že tvorové, kteří Zemi obývali dnes, nejsou stejní jako ti, kteří ji obývali kdysi. Někteří její starověcí obyvatelé, například dinosauři, zcela vymizeli, zatímco jiní vyhynulí tvorové jsou příbuzní těm současným. Nejjednodušší a nejprimitivnější

organismy byly nalezeny v těch nejstarších sedimentech. Jak postupně mládlý vrstvy hornin, fosilie představovaly stále složitější a sofistikovanější organismy.

Vědcům svitlo. Fosilní záznam je v podstatě časovou posloupností života na Zemi. Prozrazuje nám, že jednotlivé druhy v rámci velmi dlouhých časových období pozvolna mění svůj vzhled, jeden druh se přeměňuje v druhý, aby se z nich nakonec staly druhy, které kolem sebe vidíme dnes. Není pravda, že první den Bůh stvořil život na Zemi a ten zůstal již navždy neměnný a statický. Život se naopak postupně vyvíjel od jednodušších předků.

Evoluci lze vysvětlit nápadné podobnosti mezi současnými tvory, například lidmi a šimpanzi. Pokud se celý život na Zemi vyvinul z dávného společného předka, je zřejmé, že všechny dnešní organismy jsou příbuzné. Co však evoluci řídí? Co způsobuje, že se jednotlivé druhy po generace mění? A jak došlo k tomu, že všichni tvorové nakonec dělají to, co dělají, tak dobře, že tím vytvářejí dokonalou iluzi, že pro to byli stvořeni? Na tyto otázky našel odpověď Charles Darwin.

V roce 1831 se Darwin nalodil na brigu *HMS Beagle*. Během pěti let, které strávil na lodi jako přírodovědec, učinil několik zajímavých poznámek, týkajících se biologického světa. Zjistil například, že pěnkavy na různých ostrovech souostroví Galapágy, vzdáleného tisíc kilometrů od západního pobřeží Jižní Ameriky, měly různě tvarované zobáky. Zobáky všech pěnkav byly perfektně tvarované pro svůj účel, tedy rozlousknutí ořechů, které kolem nich byly k dispozici: krátké a silné zobáky pro otevření velkých ořechů, štíhlé zobáky na měkká semena.

V Darwinově mysli se již začalo formovat vysvětlení tohoto úkazu, když si všiml, že ptáci a zvířata na Galapágách se jen nepatrně lišili od druhů běžných na pevnině Jižní Ameriky. Jak se zdálo, Galapágy byly osídleny druhy z nedalekého kontinentu. Nepřítomnost některých ptáků a zvířat Jižní Ameriky, které by na Galapágách mohly pohodlně žít, však byla nápadná. Jen malá část z nich totiž dokázala překonat oceán pomocí vzdušných proudů nebo koberců plovoucí vegetace. Pouze ti nejvytrvalejší tvorové se na Galapágách rozšířili

a vyplnili všechny volné kouty – příkladem je právě jediný druh pěnkyvy rozšířený na všech ostrovech se zobáky přizpůsobenými pro co nejhodnější zpracování místních semen.

Darwin měl v tu chvíli v ruce nové a důležité informace o evoluci. Nevěděl však, co tyto druhové změny řídí – co nutí jednotlivé tvory do okolního prostředí perfektně zapadnout. Po návratu do Anglie se tehdy jen sedmadvacetiletý Darwin posadil ke stolu, shrnul veškerá fakta, která se mu podařilo nasbírat, a začal přemýšlet.

Byl si vědom jednoho běžného způsobu, díky kterému mohou organismy měnit v rámci několika generací svou podobu: záměrným šlechtěním. Rostliny a domácí zvířata dědí fyzické znaky svých rodičů, přičemž tyto vlastnosti se mohou vylepšovat. Chtějí-li například chovatelé vyšlechtit stádo ovcí s co nejhustší vlnou, vyberou ovce s hustou srstí, spáří je a celý postup opakují po několik generací.

Zatímco lidé volí při šlechtění rostlin nebo živočichů znaky pro ně výhodné, příroda volí vlastnosti, které maximalizují šance organismu na přežití v jeho prostředí. Tento přírodní výběr nemusí být tak rychlý jako cílený „výběr umělý“, aplikovaný chovateli, je však stejně účinný.

Po osmnácti měsících intenzivního soustředění to Darwinovi došlo. Najednou tomu těžko postižitelnému mechanismu přírodního výběru porozuměl. A bylo to úžasně jednoduché.

Na přírodním světě je pozoruhodné, jak jsou organismy rozmařilé. Živočichové bez výjimky rodí velké vrhy mláďat, rostliny produkují obrovské množství semen. Pro tolik potomků ale na světě jednoduše není dostatek potravy a většina těchto tvorů tak nevyhnutelně zemře hladu. Darwin si uvědomil zásadní věc. Přežijí a rozmnoží se jediné organismy s takovými vlastnostmi, které jim umožňují co nejlépe v okolním prostředí přežít.¹ A právě tyto vlastnosti zdědí i následující generace. Prevalence prospěšných znaků tak časem v populaci roste na úkor vlastností, které se s přežitím neslučují.

Konečně tedy přišel na ten chybějící kousek skládačky. Evoluce *přírodním výběrem*. „Jak hloupý jsem byl, že mě to nenapadlo,“ řekl

Darwinův přítel a zastánce Thomas Huxley. Darwin však samozřejmě musel prohlédnout hlubokou spleťtostí přirozeného světa až k jejímu samotnému původu, k mechanismu tikajícímu v jeho srdci. A to nebyla žádná maličkost.

Richard Dawkins nazval evoluci přírodním výběrem tou nejlepší myšlenkou v historii vědy. Určitě má zcela mimořádnou vypovídací hodnotu. Moderní biologie je doslova příběhem přírodního výběru. „Nic v biologii by nedávalo smysl bez souvislosti s evolucí,“ napsal v roce 1937 Theodosius Dobzhansky.

Tehdejší učení církve spočívalo v tom, že Bůh stvořil všechny živé tvory v jejich konečné podobě. Darwin si tedy byl dobře vědom toho, že jeho objev by byl církvi fackou do tváře, proto podle životopisců nevyvíjel žádné snahy o zveřejnění své evoluční teorie. Až v roce 1858, kdy v něm celých dvacet let jeho zásadní objev zrál a tikal jako časovaná bomba, ho vyburcoval k akci dopis od muže jménem Alfred Russel Wallace. Během pozorování přírody v Indonésii a Malajsii došel ke zcela totožné sjednocující teorii o evoluci přírodním výběrem.² Ohromený Darwin se zamkl ve své pracovně a začal zuřivě psát.

Darwinovo epochální dílo, publikované v roce 1859, je všeobecně známé pod názvem *O vzniku druhů*, ačkoli se v podstatě vůbec netýká vzniku života jako takového, který je dodnes obestřen velkým tajemstvím. Daleko výstižnější je název knihy i s jejím podtitulem, i když je poměrně dlouhý: *O vzniku druhů přírodním výběrem, neboli uchováním prospěšných plemen v boji o život*.³

Podle Darwina se veškerý současný život na Zemi vyvinul v průběhu věků procesem přírodního výběru z jediného organismu, společného předka. Jeho teorie byla nejen v rozporu s biblickým pojetím stvoření jako výjimečné a jednorázové události, ale i s tvrzením církve, že lidé byli stvořeni výhradně k Božímu obrazu. Podle Darwina lidé nebyli žádným vrcholem stvoření, nebyli výjimeční ani jakýmkoli jiným způsobem. Byli a jsou zkrátka jen dalším živočišným druhem.

Stejně jako polský astronom Mikuláš Koperník v šestnáctém století ukázal, že Země není v centru dění a ani nemá ve vesmíru žádné

zvláštní postavení, navázal na něj Darwin poznatkem, že ani lidé nejsou v centru dění a jejich postavení ve světě živých organismů taktéž není ničím zvláštní.⁴

Darwin předložil velmi odvážnou teorii, která vlepila políček pevně zakořeněnému a obecně přijímanému náboženství. Byl však natolik upřímný, že přiznal i nedostatky své práce a otevřeně připustil, že není kompletní. Požádal veřejnost, aby předem neodsuzovala základní principy celé myšlenky, o jejichž správnosti nepochyboval. Věřil, že drobné detaily, kterými si nebyl zcela jist, určitě doplní budoucí generace biologů.

Teorie měla dvě očividná opomenutí. Prvním z nich byl mechanismus evoluční proměnlivosti. Lidé zjevně dědí vlastnosti po obou svých rodičích: dítě má stejně zrzavé vlasy jako jeho matka či výraznou čelist po otci. Co však způsobuje vznik nových vlastností, z nichž přírodní výběr, řekneme, *vybírá*?

Druhým nedostatkem Darwinovy teorie byl mechanismus dědičnosti. Darwin se zpočátku domníval, že informace o vlastnostech se přenáší z generace na generaci smícháním určitých tekutin obou rodičů. Avšak stejně jako smícháním červené a žluté barvy získáme barvu oranžovou, zatímco o červenou a žlutou navždy přijdeme, kombinací těchto biologických tekutin by mělo dojít k prolnutí rysů, přičemž se některé navždy ztratí. Teoreticky bychom měli potkávat pouze lidi s modrohnědýma očima, nikdy čistě modrooké či hnědooké, což ale rozhodně realitě neodpovídá. Následkem prolínání těchto biologických tekutin by časem mělo dojít k podobnosti všech tvorů v populaci a variabilita potřebná pro fungování přírodního výběru by se tím dramaticky snížila. Když si Darwin tento nedostatek své teorie tekutin uvědomil, byl hluboce deprimován.

Mechanismus dědičnosti a proměnlivosti

Tím, kdo poprvé spatřil náznak stále unikajícího mechanismu dědičnosti, byl starobrněnský mnich Gregor Mendel. V letech 1856 až 1863

se Mendel věnoval křížení řádově desítek tisíc rostlin různých odrůd hrachu a vypořádal řadu vlastností dědičných v plném rozsahu. Když například zkřížil rostliny hrachu s fialovými květy s bělokvětými rostlinami, výsledkem nebyly rostliny s narůžovělými květy, ale určité předvídatelné množství bělokvětých a fialokvětných rostlin. Mendel přišel na to, že charakteristické rysy se dědí rovným dílem, jeden od každého z rodičů, přičemž některé znaky jsou dominantnější než jiné. Důležité však je, že jednotlivé vlastnosti se dědí jako částice, které již nelze dále dělit, nikoli jako tekutiny, které lze smíchat. Ačkoli to Mendel netušil, objevil to, co dnes nazýváme geny.

Mendel se rozhodl publikovat své poznatky v roce 1866 ve vědeckém magazínu *Proceedings of the Natural History in Brünn*. Šlo však o lokální a téměř neznámý časopis, takže jeho práce zůstala až do dvacátého století neobjevena. Často se vypráví, že jeden ze 115 výtisků Mendelova článku o šlechtění hrachu si našel cestu až k samotnému Darwinovi. Byl objeven po Darwinově smrti v jeho knihovně – neotevřen, nepřečten. Pokud by to byla pravda, šlo by o strašnou tragédii. Ten příběh je však jen romantickým mýtem. Darwin žádnou Mendelovu práci ve své rozsáhlé sbírce neměl. Dva biologičtí géniové, z nichž každý měl v ruce rozhodující dílek skládačky, který tomu druhému chyběl, se minuli nikoli o vlasek, ale s poměrně výrazným časovým rozpětím a na velkou vzdálenost.

Mendelova práce byla znovuobjevena teprve v roce 1900, dlouho po Darwinově smrti. Krátce poté začal americký biolog Thomas Hunt Morgan křížit octomilky. Zjistil, že octomilky dědí charakteristické znaky velmi podobným způsobem, jako tomu bylo u Mendelových hrachů. Morgan navíc přišel na to, že fyzikální elementy odpovědné za zděděné znaky – geny – spočívají na drobných vláknitých strukturách zvaných chromozomy. Tehdy se zrodila nová vědecká disciplína: genetika.

Kompletní představa o dědičnosti byla doplněna až ke konci dvacátého století. Základními stavebními kameny veškerého života jsou buňky, maličké váčky plné chemického nanoaparátu.⁵ Uprostřed kaž-

dé buňky je minibuňka, neboli jádro. A každé jádro obsahuje chromozomy tvořené DNA.

Molekula DNA svým tvarem připomíná dvě propletená schodiště. Jádro, neboli páteř této dvojšroubovice sestává ze sekvence pouhých čtyř molekul, zvaných báze – adeninu (A), guaninu (G), cytosinu (C) a thyminu (T) – které jsou vždy spojeny do dvojic. A, G, C a T jsou 4 písmena tzv. genetického kódu.⁶ Každý triplet bází kóduje konkrétní aminokyselinu. Aminokyseliny jsou základními stavebními jednotkami bílkovin, zázračných molekul schopných vykonávat nejrůznější biologické úkoly, například urychlovat chemické reakce, detekovat v lidském oku sluneční záření či sloužit jako opora, která udržuje naše tělo dostatečně pevné na to, aby se z něj nestala pouhá louže rosolu a vody.

Úsek DNA kódující bílkovinu se nazývá gen. A právě zde najdeme spojení s Mendelem. Vlastnosti, které identifikoval jako zděděné, souvisely s geny. Jeden z genů je například zodpovědný za tvorbu proteinu, který rozhoduje o tom, zda se vyvine hrách vrásčitý či hladký.

V řetězci lidské DNA existují asi 3 miliardy písmen, což představuje asi 23 000 genů. Na vytvoření lidské bytosti se toto číslo zdá žalostně nízké a biologové byli zjištěním, že jich není víc, skutečně šokováni. Nezbyvá však než si s nimi vystačit – zkrátka existuje pouze 23 000 genů a ani o jeden víc.

Některé geny se podílejí na regulaci jiných. Dokáží například aktivovat či deaktivovat svou schopnost vytvářet, neboli exprimovat bílkoviny v různých obdobích vyvíjejícího se embrya. Aktivace závisí na různých faktorech, například na koncentraci určité chemické látky v buňce.⁷ Tyto kontrolní geny způsobují, že se v různých typech buněk aktivují různé úseky DNA. Ačkoli každá lidská buňka obsahuje kopii zcela identické DNA, díky kontrolním genům se z některých buněk vyvinou krvinky, z jiných jaterní nebo mozkové buňky a podobně.

DNA však nevysvětluje pouze mechanismus dědičnosti, ale i mechanismus variace. Pokud má potomek zdědit vlastnosti svých rodičů,

musí dojít ke zkopírování jejich DNA. Při neskutečných 3 miliardách písmen nutných k věrné reprodukci v případě lidské DNA je úžasné, jak spolehlivě tento proces kopírování funguje.⁸ Není však dokonalý. Přibližně jednou v každé miliardě párů bází dojde k omylu. Někdy se písmenko nezkopíruje správně. Nebo je sekvence DNA smazána či dojde k její duplikaci. V jejím přepisu existuje bezpočet možných chyb. Kromě toho mohou změny v genech způsobit i rakovinotvorné látky, viry a ultrafialové či jaderné záření.

Výsledkem je, že *geny se časem postupně mění*.

Řetězce DNA jsou nadbytečně schválně, minimalizuje se tím totiž možnost kopírování chyb. Spousta jednotlivých změn tak způsobí jen velmi malý rozdíl – protein kódovaný takovým genem stále funguje. Některé změny jsou však škodlivé a způsobují dědičná onemocnění, například cystickou fibrózu. Velmi zřídka může být změna DNA pro organismus i prospěšná – například tím, že mu zajistí zvýšenou odolnost vůči malárii. Konečné slovo, zda určitá změna pro organismus je či není *prospěšná*, má samozřejmě jeho okolní prostředí. Změna v genu, která má za následek vytvoření silného, teplého kožichu, je výhodná pro živočicha žijícího v ledovém prostředí, nikoli však pro organismus vyskytující se v tropickém pásu.

Je třeba zdůraznit, že ke změnám, neboli mutacím, dochází v DNA všech organismů. Zatímco však jednoduché organismy, například bakterie, vytvářejí při rozmnožování pouze své kopie, neboli klony, při pohlavním rozmnožování ostatních tvorů vzniká potomstvo s polovinou genů od každého rodiče. Taková směsice různých znaků předávaných v mateřské a otcovské linii výrazně zesiluje nové genové kombinace, které má přírodní výběr k dispozici.⁹

Mutace vysvětlují existenci *druhů* – skupin zvířat, které se mezi sebou, obecně řečeno, nemohou plodně křížit. Druhy mohou vznikat několika způsoby. Populaci může například rozdělit na dvě části geografická bariéra jako řeka nebo pohoří. Nebo může příbuzné tvory na ostrově a na pevnině rozdělit oceán, stejně jako v případě zmiňovaných Galapág. V DNA každé skupiny takto oddělených organismů

v prostředích s odlišnými tlaky na přežití se opakují různé mutace a populace se postupně rozcházejí. Takové dvě skupiny se spolu nakonec nemohou nadále křížit.

Důvodů pro to může být mnoho. Je možné, že kombinace jejich genů jednoduše nevede k fungujícímu organismu. Princip je v podstatě stejný, jako kdybychom vložení motoru z motocyklu pod kapotu Rolls-Royce očekávali vznik fungujícího vozu. Nebo jde o to, že představitelé jednoho druhu čekají na vhodného partnera na určitém druhu ovoce, zatímco tento člen jiné skupiny preferuje jiný ovocný druh. Ačkoli by k jejich spojení mohlo dojít snadno, míjejí se jako lodě uprostřed noci. V případě hmyzu, který má složité genitálie, se nemohou dvě skupiny pářit kupříkladu proto, že mezi pohlavními orgány obou druhů je jednoduše morfologický nesoulad. Vypadá to asi stejně, jako kdybyste chtěli strčit hradní klíč do bezpečnostního zámku.

Ať už se od sebe skupiny organismů liší z jakéhokoli důvodu, díky přírodnímu výběru došlo k osídlení světa neskutečným množstvím rozličných druhů, přičemž jejich schopnost se mezi sebou rozmnožovat je stejná jako pravděpodobnost, že se spolu zkříží lidé a duby.

Vypovídací schopnost Darwinovy teorie

Darwinova teorie objasňuje řadu aspektů našeho světa. Vysvětluje například ohromnou rozmanitost života na Zemi, pyšníciho se více než pět milionů druhů živých organismů. Vysvětluje také, proč sdílíme přibližně 99 procent DNA se šimpanzi – a třetinu dokonce s houby. Pokud jsme se skutečně vyvinuli ze společného předka, dá se to předpokládat. Mutace v genech se v průběhu času hromadí, z rozdílů v DNA se tedy dá odhadnout, že společný předek lidí a šimpanzů žil relativně nedávno, zatímco společný předek lidí a hub ve velmi vzdálené minulosti.

Zřejmě nejvýznamnější sekvencí DNA na Zemi je GTG CCA GCA GCC GCG GTA ATT CCA GCT CCA ATA GCG TAT ATT AAA GTT GCT GCA GTT AAA AAG.¹⁰ Najdeme ji v každém živém organismu – a to

i v organismech, které nejsou technicky klasifikovány jako živé, například velké mimiviry. Tato posloupnost byla součástí DNA společného předka veškerého života na Zemi, což vysvětluje její všudypřítomné rozšíření. Zodpovídá za klíčový proces, proto zůstala beze změny po celé 3 miliardy let. Je tedy tou nejstarší fosilií v našem těle.

Darwinova teorie dokáže přinést odpověď i na to, proč se časem snižuje účinnost našich antibiotik. Zpočátku jsou v nakaženém lidském těle schopna zneškodnit drtivou většinu bakterií. Část bakterií však vlivem genetických variací mezi jejich jednotlivými populacemi nevyhnutelně přežije, schopna reprodukce. Každá následující generace pak obsahuje vyšší podíl rezistentních bakterií, až je nakonec antibiotikum téměř nepoužitelné. „Evoluce je... tou nekonečně dlouhou a namáhavou biologickou hrou, při níž u stolu zůstávají jen vítězové,“ říká Lewis Thomas.¹¹

Nejvíce ze všeho však Darwinova teorie vysvětluje iluzi designu – proč jsou organismy tak dokonale přizpůsobeny svému prostředí. Pěnkavy na ostrově Galapág mají zobáky ideální k louskání tamějších semen, protože jejich předkům se dařilo a zanechávali více potomků než pěnkavy s méně účinnými zobáky. Ukázalo se, že tvar zobáku má na svědomí jediný gen, jehož nepatrné odchylky způsobí expresi odlišných bílkovin a tím změny v rostoucí čelisti pěnkaviho embrya.

Pozoruhodné je, že toto dokonalé utkáání mezi organismem a prostředím nenavrhuje žádný designér. Přírodní proces objevený Darwinem přitom není náhodný. „Mutace je o náhodě,“ říká Richard Dawkins. „Na druhou stranu přírodní výběr je pravým *opakem* náhody.“¹² Přednostně pečlivě redukuje všechny varianty kromě těch, které propůjčují jejich hostitelům schopnost přežít pro reprodukci. Postupně, generace za generací, se kumulují výhodné změny, pomalu ale jistě se sestavují organismy mnohem dokonalejší a složitější než jakýkoli stroj, který kdy navrhl člověk. Americký biolog Gilbert Newton Lewis napsal: „Celý životní trend, celý proces budování rozmanitějších a složitějších struktur, který nazýváme evolucí, je pravým opakem toho, co by se dalo očekávat od zákonů náhody.“¹³

Evoluce přírodním výběrem však má své limity. Mohou vzniknout jen ty organismy, které jsou výsledkem dlouhé řady výhodných změn. „Evoluce couvá do budoucnosti,“ říká britský biolog Steve Jones. „Netuší, co bude následovat.“¹⁴ To přivedlo některé lidi k tvrzení, že Darwinova teorie nemůže vysvětlit existenci složitých orgánů, jako je oko, složené z několika součástí. Dokud nejsou na místě všechny jeho komponenty – čočky, světlocitlivý povrch a další, pokračují polemiky – nepředstavuje oko pro organismus žádnou výhodu. K čemu je 50 procent oka? Nebo pět?

Ukázalo se však, že veškeré kroky na cestě k oku byly skutečně výhodné. Příklady primitivních očí můžeme spatřit napříč celou živočišnou říší. Někteří tvorové mají jen pár buněk citlivých na světlo, díky kterým poznají, kde je nahoře a kde dole. Jiní, například chřestýš, mají světlocitlivé – respektive teplocitlivé – buňky na dně jamky v kůži, jejich „zrak“ má tedy směrové schopnosti. Odtud už je jen krůček k uzavření jamky průhlednou bílkovinou a k vytvoření čočky, která dokáže na obraz objektu zaostřit.

Kromě toho, že neví, co bude následovat, evoluce přírodním výběrem nemusí nutně vést ke vzniku složitějších forem. Může, ale ne vždy tak učinit. Po vzniku první buňky opravdu nebylo kam jinam se vydat než směrem k větší velikosti a složitosti. Ale jakmile se vyvinuli větší tvorové, bylo možné vrátit se ve vývoji zpět k jednodušším formám. To je případ parazitů, žijících na úkor svých složitějších hostitelů.

Darwinova teorie evoluce přírodním výběrem – slovy Dawkinse „největší myšlenka v dějinách vědy“ – prošla všemi testy. „Pokud by se jediná fosilie objevila ve špatném datovém pořadí, tato teorie mohla být velmi snadno vyvrácena,“ napsal Dawkins.¹⁵ Pouhý nález králíka z prekambriického období před 500 miliony let by všechno změnil. K ničemu takovému však dosud nedošlo.

4:

VELKÝ SEXUÁLNÍ TŘESK

Pohlavní rozmnožování

Připouštím, že mám obrovský sexuální apetit. Můj přítel žije čtyřicet mil daleko.

Phyllis Dillerová

Sex je špatný, mačká oblečení.

Jackie Kennedyová

Britský biolog Richard Dawkins ve své knize *Slepý hodinář* z roku 1986 popisuje krásnou, emotivní scénu. „Venku prší DNA. Na břehu Oxfordského kanálu ve spodní části mé zahrady stojí velká vrba a vysílá do okolního vzduchu ochmýřená semínka... rozšiřuje... DNA, pomocí kódovaných znaků vydává přesné pokyny pro růst dalších vrb, které zasejí novou generaci ochmýřených semínek... Z toho stromu se sypou instrukce; sypou se z něj programy; pokyny k pěstování stromů, rozsévání pápěří, prší z něj algoritmy.“

DNA v každém z nespočtu těchto ochmýřených semínek samozřejmě nezůstane ničím víc než inertním chomáčem chemikálií – nefunkčním počítačovým programem – dokud se nestřetne a nesplyne s jiným kouskem DNA, čímž se nastartuje zrod nového stromu. Jak Dawkins výmluvně poukazuje, pohlavní rozmnožování je všude kolem nás. Vládne světu. Oddávají se mu skoro všichni tvorové – od mravenců po hledíky, od borovic po luskouny, od slunečnic po plachetníky. Přesto, vypůjčíme-li si slova Winstona Churchilla, pohlavní rozmnožování je „hádanka zahalená do tajemství uvnitř hlavolamu“.¹

Není těžké umět hlavní tajemství pohlavního rozmnožování ocenit. Kdysi dávno se v prehistorickém rybníku na novorozené Zemi vyskytly molekuly, které dokázaly zkopírovat samy sebe.² Z těch nejúspěšnějších se staly nejpočetnější, méně úspěšné byly vytlačeny, použity jako základní chemické stavební jednotky a pak zmizely úplně. Nakonec – a nepochybně k tomu vedl nepředstavitelně obrovský počet kroků, nesmírně obsáhlá *preevoluce* – začal jeden typ molekuly

nad ostatními vyčnívat pro svou schopnost stavět molekulární ústrojí, které dokázalo zužitkovat energetické zdroje k podpoře své vlastní reprodukce. Tím byla DNA – náhrdelník genů, z nichž mnohé kódovaly jednotlivé části proteinového nanoaparátu. „Všechna dnešní DNA, vetkaná do všech buněk na Zemi, je prostě prodloužením a propracováním její úplně první molekuly,“ prohlásil americký biolog Lewis Thomas.³

Přírodní výběr v průběhu miliard let způsobil, že určité genové sekvence využily jiné jako svůj zdroj a na jejich úkor pokračují do budoucna, zatímco jiné se ocitly na vedlejší koleji. Došlo k vytvoření úžasně propracovaných prostředků pro šíření genů. Ale to je v podstatě vše, čím jsou. Ať jde o houby či lachtany, *E. coli* nebo slony, hydry nebo lidi, jsou pouhými nosiči pro šíření genů. „Slepice je pro vejce jen prostředkem, jak vytvořit další vejce,“ jak se vyjádřil Samuel Butler.⁴ Nejúspěšnějšími nosiči jsou pak ty, které dostanou své geny do další generace. Nikoli jen některé z nich, ale všechny.

Jednoduchou cestou je pro organismus vytvoření prosté kopie sebe sama, neboli svůj vlastní klon. Nepohlavní rozmnožování je strategií, kterou používá většina jednoduchých organismů, jako jsou bakterie, a dále pár složitějších organismů, například ostružiny. Nicméně velká většina mnohobuněčných organismů ze záhadných důvodů využívá alternativní reprodukční strategie. Spojí *polovinu* svých genů s *polovinou* genů jiného organismu. Řeč je samozřejmě o pohlavním rozmnožování.

Zjevnou nevýhodou pohlavního rozmnožování je, že namísto předání sta procent genů organismu do další generace dojde k přesunu pouhých padesáti procent. „Pohlavní rozmnožování je srovnatelné s hraním rulety, při které hráč v každém kole promarní polovinu svých žetonů,“ říká Dawkins.

Zdravý rozum napovídá, že organismus rozmnožující se pohlavně může konkurovat nepohlavně se rozmnožujícímu pouze v případě, že produkuje *dvakrát tolik potomstva*. To je však z energetického pohledu velmi náročné. A v konkurenčním světě nelítostného boje o potravi-

nové zdroje je energetická účinnost pro přežití zcela nezbytná. V případě zplození dalšího potomka však nejde jen o další energii vynaloženou na pohlavní rozmnožení. Je nutné také najít dalšího partnera vhodného ke sdílení genů. Vraťme se k vrbě na Dawkinsově zahradě, která musí vytvořit a uvolnit do oxfordského vzduchu to obrovské množství ochmýřených semínek. Martin Luther napsal: „Lidská reprodukce je velký zázrak a zároveň tajemství. Pokud by se mě Bůh ptal na můj názor, poradil bych mu, aby ve vzniku druhů pokračoval tak, že je bude dál vyrábět z hlíny.“⁵ Významným rysem našeho světa je však to, že pohlavní rozmnožování je všudypřítomné. Netýká se jen ptáků a včel, ale skoro všech rostlin, plazů i savců. Nejen že se zachovalo, ale evidentně se mu velmi dobře dařilo. Z toho je patrné, že musí mít obrovskou evoluční výhodu. V čem tedy ta výhoda spočívá? Kupodivu to není úplně zřejmé. Není to zřejmé ani trochu.

Náznačkou možné výhody pohlavního rozmnožování by mohla být výsledná variabilita potomstva. Potomek organismu rozmnožujícího se nepohlavně nebude nikdy *přesnou kopií* svého rodiče, protože kopírování DNA není nikdy dokonalé. Rozmanitost vzniklá občasnými chybami při přepisu DNA, neboli mutacemi, je však zcela bezvýznamná v porovnání s různorodostí vzniklou při pohlavním rozmnožování. Představíme-li si genovou výbavu organismu jako balíček hracích karet, každý potomek nepohlavně se rozmnožujícího organismu zdědí stejný balíček karet, přičemž jedna karta bude možná nahrazena kartou divokou. Naopak každý potomek pohlavně se rozmnožujícího organismu dědí polovinu karet ze dvou různých balíčků smíchaných dohromady. A u každého potomka budou navíc tyto dva balíčky zamíchány *jinak*.

Výsledkem pohlavního rozmnožování je potomstvo *velmi* odlišné od svých rodičů.⁶ Pohlavní rozmnožování přináší v každé další generaci maximální originalitu. Tím pádem v době, kdy je životní prostředí namáháno, například při rychle se měnícím klimatu, může pohlavní rozmnožování přinést tak širokou škálu organismů, že alespoň některé z nich ponесou nové vlastnosti nezbytné pro přežití. Naproti

tomu nepohlavně se rozmnožující organismy, uvíznuté v zaběhlých kolejkách, vyhynou. Je to však dostatečná výhoda, aby pohlavnímu rozmnožování zajistila přežití? Tím si biologové nejsou tak úplně jisti.

Díky pohlavnímu rozmnožování lze v jednom organismu zkombinovat výhodné genové mutace *dvou organismů*, což může být dalším důvodem pro jeho přežití v evoluci. Představme si dva nepohlavně se rozmnožující organismy, z nichž každý získá mutaci jednoho ze svých genů, jenž napomáhá k jeho přežití. Tyto dva zmutované geny jsou odsouzeny navždy zůstat oddělené, izolované v jednotlivých liniích. Pohlavní rozmnožování však vše mění. Způsobí, že dva dobré geny dvou různých organismů mohou skončit vedle sebe na jednom vlákně DNA a šance na přežití jejich potomka se tím znásobí. To už se zdá být pořádným přínosem. Pohlavním rozmnožováním se bohužel samozřejmě v jednom organismu nekoncentrují jen dobré geny, ale i ty špatné. Nikdo tak přesně neví, zda zmíněná výhoda dostatečně převáží nad nevýhodou.

Co je tedy tím nesmírným – ačkoli tajemným a nepolapitelným – přínosem pohlavního rozmnožování? Existuje jedno vysvětlení, které získalo na popularitě, ačkoli rozhodně nebylo všeobecně přijato. Je možné, že pohlavní rozmnožování vyvádí z rovnováhy potenciálně smrtelné parazity. Tito tvorové jsou prokletím všech složitějších organismů. Na celém světě žije přes 2 miliardy lidí infikovaných parazity, od prvoků způsobujících malárii až po střevní červy. Evoluce přírodním výběrem na parazity působí stejně jako na všechny ostatní organismy. Životním prostředím parazita je však *jeho hostitel*. Výsledkem je, že úspěšné využití zdrojů životního prostředí parazita je na úkor vyčerpání zdrojů hostitele. Parazité svého hostitele zneužívají a mohou jej dokonce i usmrtit. K tomu může dojít velmi rychle, protože parazité jsou obecně velmi malí a svižní, navíc jsou schopni v průběhu existence svého hostitele mnohonásobné reprodukce.

Jak může hostitelská populace vůbec přežít tak neúprosné a efektivní napadení? Odpověď zní: neustálým nahrazováním svých členů novými, kteří jsou zcela originální a jimž parazit není dokonale při-

způsoben. Přesně toho je možné dosáhnout díky pohlavnímu rozmnožování, jak prohlásil v roce 1973 americký biolog Lee Van Valen.⁷

Ano, parazité se mohou měnit rychle. Hostitelská populace však může přežít, pokud to dokáže *ještě rychleji*, říká Van Valen. Ve volném pokračování románu *Alenka v říši divů* Lewise Carrola *Za zrcadlem* z roku 1871 Alenka běží vedle Královny, zcela zmatená tím, že ačkoli běží, zůstává na místě.

„To v naší zemi,“ Alenka se stále ještě zajíkala, „když se běží tak dlouho, jak my jsme běžely, obyčejně se dojde někam jinam.“

„To je mi nějaká loudavá země!“ řekla Královna. „Jak vidíš, tady musíš *běžet ze všech sil, abys setrvala na jednom místě.*“

Z tohoto důvodu je Van Valenovo parazitární vysvětlení pohlavního rozmnožování obecně známé jako „hypotéza Červené královny.“⁸

V roce 2011 tuto teorii otestovali v kontrolovaném laboratorním prostředí biologové ve Spojených státech.⁹ Geneticky zmanipulovali systém páření půdního červa háďátka obecného (*Caenorhabditis elegans*) tak, že se jeho různé populace mohly rozmnožovat buď nepohlavně – oplodněním svých vlastních vajíček, anebo pohlavně – pářením se samčími červy. Následně *C. elegans* infikovali patogenními bakteriemi *Serratia marcescens*. Bakterie velmi rychle způsobily zánik samooplodňující populace *C. elegans*. K tomu však u pohlavně se rozmnožující populace nedošlo. Tě se podařilo společně se vyvíjející parazity předstihnout – neustále *běžet rychleji* – což zjevně hypotézu Červené královny potvrzuje. Pohlavní rozmnožování je zbraní proti parazitům.

Pohlavní rozmnožování a jeho zákonitosti

Pohlavní rozmnožování kombinuje a míchá geny dvou organismů, přičemž vznikne organismus zcela nový. Je však třeba se zaměřit na

drobný detail. A tento dábelický detail je jednak sotva patrný, jednak složitý.

Abychom jej byli schopni docenit, je nejprve třeba pochopit související informace. Pokud bychom natáhli DNA jediné lidské buňky do rovného vlákna, byla by dlouhá od hlavy až k palci na noze. Zavinutí veškeré této DNA do malé, lidskému oku neviditelné buňky, je tedy biologickým fenoménem. Buňka dosahuje tohoto působivého výkonu zabalením DNA do kratších úseků, známých jako chromozomy. Jmenují se tak, protože byly poprvé odhaleny pomocí takzvaných chromatických barviv.¹⁰ Lidské buňky mají 46 chromozomů – dva v podstatě stejné soubory.

Psi mají 78 chromozomů, koně 64 a kočky a prasata 38. Nezdá se, že by počet chromozomů souvisel s tím, jak je organismus složitý. Například kapradina hadí jazyk obecný (*Ophioglossum vulgatum*) má neuvěřitelných 1440 chromozomů, nejvíc ze všech živých organismů vůbec.¹¹

Zpátky k člověku. Připomeňme si, že lidské tělo vytvoří každý den přibližně 300 miliard nových buněk – více, než je hvězd v naší galaxii.¹² V tomto procesu, známém jako mitóza, buňka nejprve vytvoří kopii všech svých 46 chromozomů. Celkem jich tedy nese 92. Pak se buňka rozdělí na dvě buňky „dceřiné“, z nichž každá dostane 46 chromozomů, přesně jako originál.

Při pohlavním rozmnožování dochází k opačnému procesu. Namísto rozdělení jedné buňky do dvou se dvě buňky – jedna od každého rodiče – spojí do jediné. Pokud má nicméně výsledná buňka disponovat správným počtem 46 chromozomů, musí buňky rodičů – pohlavní buňky, neboli gamety – obsahovat každá pouze 23 chromozomů, čili *polovinu běžného počtu*.

Tvorba pohlavních buněk, jak samčích tak samičích, je proto proces zcela odlišný od mitózy. U meiózy, stejně jako u mitózy, buňka nejprve vytvoří kopii všech svých 46 chromozomů, celkem jich tedy nese opět 92. Pak se však rozdělí *ne jednou, ale dvakrát*. Konečným výsledkem jsou čtyři gamety, z nichž každá obsahuje 23 chromozomů.

Při meióze shodou okolností dochází k určitému promíchání genů, každá gameta je tedy geneticky odlišná od svého rodiče. Toto míchání genů mohlo kdysi vzniknout spíše jako nehoda – výsledek složitého manévrování s chromozomy během meiózy – zůstalo však u ní, protože vytvoření potomka s maximálním množstvím genetické originality má hodnotu z hlediska šancí tohoto organismu na přežití. Toto míchání genů za účelem variability ještě předtím, než se pohlavní buňky sloučí, generuje ještě bohatší rozmanitost.

Gamety od každého rodiče mohou samozřejmě být stejně velké. A u některých organismů tomu tak skutečně je. Velmi často je však jedna z nich mnohem větší než ta druhá, protože obsahuje živiny a proteinový aparát pro započetí vývoje v případě, že dojde k jejich spojení. Pro biology spočívá zásadní rozdíl mezi pohlavími právě v gametách. Organismy, které produkují velké, obtížně se pohybuující gamety – neboli vajíčka, latinsky ova – jsou samičí, zatímco organismy, jejichž gamety jsou malé a pohyblivé – spermie – jsou samčí. Všechny ostatní věci, které jsou obvykle s odlišností jednotlivých pohlaví spojovány – penisy, vagíny, prsa či vousy – jsou pouze důsledky rozdílů mezi spermii a vajíčkem.

Biologové se domnívají, že první pohlavně se rozmnožující organismy produkovaly stejně veliké gamety. Zajímavé zjištění. Znamená to totiž, že *pohlavní rozmnožování zde bylo ještě před vznikem odlišných pohlaví.*

Nyní se konečně dostáváme ke spojení dvou gamet – po jedné od každého rodiče – tedy ústředního děje pohlavního rozmnožování. Během něj se tyto dvě gamety, každá s 23 chromozomy, spojí, čímž vznikne jedna buňka, zygota. Zygota se poté znovu a znovu dělí běžnou mitózou, až vznikne asi 100 bilionů buněk, tvořících dospělé lidské tělo.

Zygota obsahuje jednoduše 23 chromozomů od matky a 23 chromozomů od otce.¹³ Obecně řečeno jsou v každé lidské buňce dvě kopie *přesně stejných genů.* Muži a ženy jsou si tedy nakonec geneticky podobnější než například muži a šimpanzi. A to připomeňme, že šimpanzi a lidé spolu sdílí 98 až 99 procent DNA.¹⁴

Ačkoli vám však vaše matka i otec předali stejné geny, mohli vám kvůli náhodným rodovým mutacím předat *různé verze* těchto genů. A právě tyto varianty, takzvané alely, jsou zodpovědné za všechny odlišnosti. Existuje například gen určující barvu vlasů. Kopie od vaší matky může být například varianta, která u vás má za následek zrzavou barvu vlasů, nebo to může být varianta, která dělá vlasy hnědé. K expresi které ze dvou variant genu u vás dojde, závisí na tom, který gen je dominantní a který recesivní.

Existuje mnoho důvodů, proč je kopie, neboli alela genu dominantní či recesivní. Vše závisí na konkrétním genu. Každá alela – jedna od matky a jedna od otce – vede k produkci trochu jiného proteinu. Některé proteiny však nad jinými vítězí. V nejjednodušším případě jedna alela způsobí tvorbu *nefunkčního proteinu*. Vzhledem k tomu, že nefunkční protein nedělá nic, funkční protein je dominantní. Dobrým příkladem recesivní alely jsou zrzavé vlasy. Existuje protein zvaný MC1R, jehož obvyklým úkolem je zbarvit se červeného pigmentu. Pokud je nefunkční, u takového jedince se červené barvivo nahromadí a jeho vlasy mají zrzavou barvu.

Tím, že se dědí verze každého genu jak od matky, tak od otce, zdědíte některé vlastnosti po matce a jiné po otci. Konkrétní mix je dílem náhody. Tímto způsobem pohlavní rozmnožování maximalizuje originalitu v potomstvu.

Vlastně není tak úplně pravda, že máte dvě identické sady 23 chromozomů. Ve skutečnosti máte dva totožné soubory *pouze u 22 z nich*. Chromozomy v 23. páru se u mužů a žen liší. Funguje to následovně. Chromozomy mívají charakteristický tvar písmene „X“, ten třiadvacátý však může mít tvar písmene „Y“. Dvě kopie chromozomu X znamenají ženu, zatímco chromozomy X a Y muže.¹⁵

Všechna lidská embrya se na začátku vyvíjejí stejným způsobem. Až po čtyřiceti dnech se aktivuje gen na mužském chromozomu Y, zvaný sex-determinující faktor Y (také gen SRY). Obsahuje instrukce pro výrobu testosteronu. Z embryonálních gonád se stanou varlata a tím se spustí vývoj mužských pohlavních orgánů. Je-li exprese genu

SRY blokována, z těchto embryonálních gonád se stanou vaječníky a započne vývoj ženských pohlavních orgánů. Rozdíly v hormonech mezi jednotlivými pohlavími způsobuje pouhý jeden ze šesti savčích genů, který exprimuje své bílkoviny přednostně u jednoho pohlaví.

Muži jsou výsledkem produkce testosteronu. Jsou v podstatě ženami s jedním genem navíc. A každý muž na Zemi – i ten nejmoužnější chlap – byl prvních čtyřicet dní své existence ženou.

Velký sexuální třesk

Vzhledem k tomu, že nejjednodušší organismy se rozmnožují nepohlavně a prvními organismy na Zemi byly jednotlivé buňky, většina biologů se domnívá, že nejranější formy života byly bezpohlavní. Tento způsob rozmnožování je nepoměrně jednodušší než u pohlavního rozmnožování. Jak tedy vlastně k vyvinutí pohlavního rozmnožování vůbec došlo?¹⁶

Příroda má často tendenci přizpůsobit novým úkolům věci, které se původně vyvinuly ke zcela jiným účelům. Kupříkladu glutamát, jeden z nejdůležitějších neurotransmiterů v lidském mozku, původně sloužil před téměř 4 miliardami let jedné z prvních bakterií na světě k signálování.¹⁷ U pohlavního rozmnožování tomu nebylo jinak. Jeho základní princip – splynutí dvou buněk, promíchání jejich genů a jejich následné rozdělení – se původně využíval k jiným účelům. Ke změně jeho určení pro účely pohlavního rozmnožování došlo až posléze.

Původně šlo o pozření jednoduché buňky jinou za účelem vytvoření složitější buňky, eukaryota, asi před 1,8 miliardy let.¹⁸ Zahrnovalo to řadu změn uvnitř buňky. Membrána pozřené buňky byla například nahrazena jiným typem membrány, aby se z této buňky mohla stát buněčná organela. Přesné detaily nejsou důležité, podstatné je jen to, že tyto adaptace umožnily *jedné buňce splynout s jinou*.

V určité fázi kdysi dávno – a my o tom můžeme jen více či méně přesvědčivě spekulovat – do sebe vrazily dvě podobné eukaryotické buňky a *nečekané splynuly*. I dnes o některých buňkách víme, že jsou

schopny v těžkých časech, například v období sucha, přejít do stavu nečinnosti, kdy sotva fungují. V takovém případě buňka složená ze dvou splynutých buněk mohla mít z hlediska přežití určitou výhodu. Tyto dvě buňky totiž začaly sdílet své zdroje. Navíc to nemusela být jediná výhoda sloučených buněk. Skutečně obtížné období mohlo mít za následek dokonce i poškození buněčné DNA. Jelikož měla však taková buňka k dispozici dvě kopie svých genů, mohla je snadno porovnat a zjištěné chyby opravit.

Když opět nastane příznivější období, bude znovu ve výhodě buňka s jedinou kopií svých genů. Čím méně má buňka DNA ke kopírování, tím rychlejší reprodukce a rozšíření je schopna. To tedy mohlo vést k rozvoji meiózy, prostřednictvím níž vznikají buňky s jednou jedinou kopií svých genů. Pokud to zní nevěrohodně, vezte, že skutečně dodnes existují jednobuněčné organismy, které na extrémní změny v okolním prostředí reagují střídáním generace s jednou kopií svých genů – generace haploidní – a generace se dvěma kopiemi – generace diploidní.

Tolik k tomu, jak dochází ke sloučení a rozdělování buněk v procesu meiózy. Jak ale došlo k promíchání DNA dvou buněk a vytvoření genetické rozmanitosti, pro pohlavní rozmnožování tak typické? Ukázalo se, že k tomu dochází přirozenou cestou v průběhu opravy poškozené DNA. Když buňka detekuje rozdíl mezi dvěma komplementárními řetězci DNA na chromozomu, nemá tušení, které vlákno je to správné. Nemá tak jinou možnost, než tuto oblast jednoduše z obou řetězců DNA odstranit. Vzniklou mezeru buňka vyplní zkopírováním sekvence ze stejné oblasti párového chromozomu.

K tomu všemu dochází, když se dva chromozomy nacházejí velmi blízko u sebe. Při tomto složitém tanci – zahrnujícím fyzické oddělování částí DNA a jejich opětovné spojování – dochází k výměně těchto úseků. Tento proces zvaný crossing-over zajišťuje, že se každá z nových buněk vzniklých meiózou liší od svého rodiče. Je to šťastná náhoda, která se možná ustálila z toho důvodu, že přírodní výběr upřednostňuje organismy, jejichž potomstvo je nové a rozmanité.

Zdá se tedy, že pohlavní rozmnožování bylo pouhou náhodou, ze které se vyvinula strategie pro přežití. Využily se již existující geny. Příroda tak získala mechanismus, při kterém se bezděčně křížila DNA, což výrazně zvyšovalo genetickou variabilitu, a mělo tak za následek prudký vzrůst rychlosti evoluce.

Při pohlavním rozmnožování složitějších organismů, jako jsou lidé, jde však samozřejmě o mnohem víc než o pouhé rozmnožení. A k tomu došlo jak? Přesné detaily nikdo nezná, dá se nicméně leccos usuzovat. Za prvé došlo k vývoji buněk, které byly schopny se spojit a podstoupit meiózu. Zde hledejme původ – řekněme velký třesk – pohlavního rozmnožování. Následoval vývoj jednotlivých pohlaví. Nevznikl jeden jediný druh buňky, ale hned dva: samčí a samičí.¹⁹ Zpočátku se tyto dva typy buněk byly schopny spojovat ve všech možných kombinacích: samčí-samčí, samičí-samčí i samičí-samčí. Kombinace odlišných typů, neboli křížení nepříbuzných jedinců, však vede k větší genetické variabilitě potomstva, což je výhodné z hlediska přežití. Proto se nakonec ustálil systém pohlaví, ve kterém je životaschopná pouze jediná kombinace buněk, samčí-samčí.

Na počátku byly pohlavního rozmnožování schopny veškeré buňky organismu. Dalším krokem v evoluci byl však příchod mnoho-buněčných organismů, u kterých pohlavní rozmnožování zajišťoval *pouze jediný typ specializovaných buněk*. U jednoho ze dvou typů gamet, spermie, se vyvinula schopnost pohybu, což výrazně zvýšilo jeho šanci na nalezení svého protějšku, vajíčka. Ani to však nebyl konec specializace. Produkce gamet byla nakonec omezena pouze jedinému typu tkáně, a sice pohlavním žlázám, takzvaným gonádám.

Nikdo neví, jak dlouho to všechno trvalo. Dostane-li však evoluce přírodním výběrem dobrý nápad, jde si za ním stůj co stůj. V oceánech, kde život začal, se u jednotlivých pohlaví vyvinulo koordinované chování, kdy k uvolnění vajíčka a spermie do vody dochází současně, s cílem maximalizovat šance na jejich spojení. Tato strategie byla po rozšíření života na souš neproveditelná. Namísto toho se jako