



Při vzniku života hrály významnou roli časté dopady asteroidů na povrch mladé Země

O chemii života

Touha rozluštit hádanku vzniku života provází lidstvo od nepaměti. Víru ve vyšší moc a legendy však postupně nahradilo vědecké poznání. Touto zcela zásadní otázkou se zabývá i Martin Ferus, který se ve svém výzkumu věnuje chemii mladých planet

Ptala se Jana Žďárská

? Zabýváte se podstatou vzniku života. Můžete jednou větou naznačit, co pro vás tento výzkum znamená?

Čím déle se dané otázce věnuji, tím pevněji jsem přesvědčen, že život lze považovat za vrcholné stadium chemické evoluce hmoty v kosmu. Myslím, že z hlediska metod vědeckého poznání jeho vzniku vyjádřil cíl jasně americký teoretický fyzik Richard Feynman: „Co nemůžu stvořit, to nepochopím.“

? Myslíte si, že dopady planetek a komet mohly zásadně ovlivnit chemii rané Země v době těsně předcházející vzniku života?

Ano, myslím, že vliv impaktů byl zcela zásadní. Jeden z faktorů představuje „doprava“ tekavých chemických látek z vnějších, chladnějších částí mladé Sluneční soustavy. Předpokládá se, že

bez toho by na Zemi neexistovala voda ani atmosféra. Velmi časté impakty asteroidů, probíhající stovky milionů let, vnímám také jako zdroj energie pro chemické přeměny. Jednoznačně o tom vypovídají velmi sofistikované chemické modely planetárních atmosfér. V neposlední řadě impakty měnily povrch: Tvořily nový reliéf, minerály, horniny a obohatily povrch o těžké kovy.

Domnívám se, že raná Země v době takzvaného těžkého bombardování, tedy těsně před vznikem života, byla místem plným lokálních extrémů. Vyskytovaly se zde vodou erodované horké impaktní struktury a sopečná pole. Ale vzhledem k zaprášení atmosféry vlivem nukleární zimy po dopadech asteroidů (viz *Slovníček*) byla naše planeta na jiných místech naopak velmi chladná. Tvořily se tak vrstvy těžké oblačnosti s významným

výskytem blesků a fotochemickou svrchní vrstvou. Extrémní přechody mezi širokou škálou fyzikálních a chemických podmínek se podle mého názoru staly klíčem k úspěšné prebiotické syntéze a následnému vzniku života. A protože chemické reakce běží často poměrně rychle, mohl život jako následek dlouhodobých procesů vzniknout ve vhodnou chvíli za vhodných podmínek klidně během několika hodin. Mohl vznikat kontinuálně, opakovaně, velmi rychle a na více místech najednou.

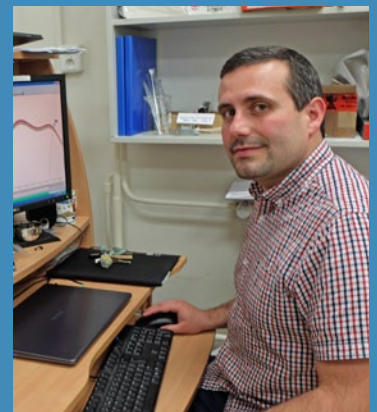
? Může současný výzkum exoplanet přinést nové poznatky o chemii mladé Země?

Myslím, že pozorování exoplanet otevírá okna minulosti dokořán. Tato tělesa představují svého druhu stroj času. Jakmile se nám podaří pozorovat exoplanetu stejnou jako Země, avšak ve chvíli, kdy bude

Kdo je...

RNDr. Martin Ferus, Ph.D.
(*1983)

Český fyzikální chemik. Vystudoval Přírodovědeckou fakultu Univerzity Karlovy v Praze, nyní působí jako vědecký pracovník a vedoucí Oddělení spektroskopie Ústavu fyzikální chemie J. Heyrovského. Věnuje se výzkumu chemie planet, spektroskopii exoplanet, studiu meteorů a materiálové chemii. **Za výsledky v oblasti simulace chemických následků dopadu asteroidů na rané planety obdržel několik akademických cen.**



procházet érou těžkého bombardování asteroidy v době několika set milionů let po svém vzniku, uvidíme obraz rané Země.

Musíme však být na takové pozorování teoreticky připraveni. Proto se v současné době věnují otázce, zda je možné pomocí spektroskopického studia exoplanet rozpoznat v jejich atmosférách molekuly, které by bylo možné označit za takzvané markery pro určité typické procesy planetární chemie. Rádi bychom odhalili, co dopady asteroidů pro rané planety skutečně znamenají: Zda například tvoří typické produkty, pozorovatelné v jejich spektrech. Pátráme po tom, jestli lze na základě kvantifikace těchto produktů zpětně spočítat frekvenci impaktů a odhalit tak, zda dopady asteroidů skutečně přispěly ke vzniku života.

? Možná se stanete tím, kdo rozluští původ života na Zemi...

Nemyslím si, že my budeme přímo ti, kdo rozluští tajemství vzniku života. Tato problematika totiž již hraničí s biochemií a pro výzkum chemismu větších prebiotických molekul či polymerů není naše laboratoř dostatečně vybavena. Nicméně bych byl rád u toho a do případné průlomové studie, jež na danou otázku odpoví, přispěl alespoň jako spoluautor, který třeba odhalí kontext poznání prostředí a podmínek, za jakých k tomu mohlo dojít.

? Kdo tedy hádanku vzniku života rozluští?

Rozluštění hádanky vzniku života na Zemi jistě nebude možné bez mezioborové spolupráce biochemiků, fyzikálních a organických chemiků, astronomů, fyziků, geochemiků, geologů a dalších. A pozorování exoplanet bude hrát v uvedeném výzkumu stěžejní roli. Existuje totiž jen velmi málo přímých

důkazů, jak Země vypadala v době vzniku života před 4,3 a 3,8 miliardy let, a pozorování mladých exoplanet nám v poměrně blízké budoucnosti poskytnou informace o chemickém prostředí na rané Zemi. Na tématu nyní intenzivně pracujeme, a myslím si, že díky tomu zvládneme být dobrými partnery biochemikům a evolučním biologům. Společně pak snad zjistíme, jaké scénáře vzniku prvního funkčního živého chemického systému připadají v úvahu v kontextu rané planetární chemie.

? K horkým favoritům patří jistě i formamid, že?

Je pravda, že zkoumání formamidu (*viz Slovníček*) jako startovní molekuly pro prebiotickou syntézu přineslo pozoruhodné výsledky, zejména co se týká široké škály sloučenin vznikajících z něj takzvaně v jednom hrnci, tedy za jedné podmínky a v jednom systému. Zvyšuje to pravděpodobnost, že takový proces může nastat jednoduše přímo v přírodě. Ostatní scénáře chemické evoluce vyžadují průběh za velmi specifických podmínek, ale výtěžky daných reakcí jsou pak větší. Jednou z variant tedy zůstává vznik prebiotických chemikálií a snad i složitějších základů živých struktur – polymerů – v roztoku formamidu.

Pokud tedy na exoplanetách uvidíme svět zahalený mlhou organických

Exoplanety tvoří svého druhu stroj času. Pozorování objektu zemského typu v éře těžkého bombardování nám poskytne obraz rané Země



látek, jako třeba v případě Saturnova měsíce Titanu, nemusíme nutně uvažovat o vzniku života pouze ve vodných roztocích jako na Zemi, ale i v roztocích organických látek typu formamidu či v kapalných uhlovodících. Jestliže bychom však sledovali raný svět s atmosférou oxidu uhličitého beze stop organických látek, pak je popsaný scénář málo pravděpodobný.

Život na Zemi vznikl za poměrně nehostinných podmínek

Fyzikální chemik Martin Ferus se svými kolegy pracuje na rozluštění hádanky vzniku života

? Ve svém výzkumu se zabýváte zásadní otázkou vzniku života.

Zajímá vás se o tuto problematiku již v dětství?

Lze říct, že ano. Trošku jsem se vrátil do klukovských let. Od malička jsem se zajímal o vesmír a v jednu dobu mě moc bavili dinosauři, takže jsem se chtěl stát paleontologem. Vesmír mi vydržel, ale jelikož mě už na základní škole významně zaujala i chemie, představovala astronomie vždy jen pouhé hobby. Teď se k ní vracím



Na exoplanetách zahalených mlhou organických látek nemusíme nutně uvažovat o vzniku života pouze ve vodných roztocích jako na Zemi

odborně – ačkoliv tentokrát z pozice chemika či, chcete-li, astrochemika. Souvislost se vznikem života mě opět přivedla k zájmu o prehistorii Země, i když do doby předcházející téměř o čtyři miliardy let výskytu mých oblíbených dinosaurů.

? Poté jste se doslova zamiloval do chemie. Byly to především chemické pokusy, které vás zaujaly?

Na základní škole mě chemie zpočátku spíš děsila svými vzorečky a složitým názvoslovím, ale když jsem v osmé třídě viděl výbuch vodíku, hoření síry v kyslíku a sodík poskakující na vodní hladině, věděl jsem, že chemie bude moje.

? Následně jste se jí věnoval i na vysoké škole. Měl jste tehdy již jasnou představu o svém dalším vědeckém směřování?

Život podle Millera

V roce 1953 uskutečnil chemik Stanley Miller laboratorní experiment, při němž **napodobil podmínky panující na rané Zemi zhruba před 3,5 miliardy let.** Uzavřel směs vody, amoniaku a vodíku do skleněné trubice, v níž přeskakovaly elektrické jiskry. Už po dvou dnech se v reakční směsi objevily aminokyseliny, základní stavební jednotky bílkovin. Po týdnu se až 15 % uhlíku přeměnilo na organické molekuly.

Podle některých názorů ovšem atmosféra mladé Země nemohla být tak reduktivní jako při Millerově pokusu. Je však možné, že se podobné podmínky vyskytovaly v některých lokalitách, zvláště v okolí vulkanických oblaků vzniklých během sopečných erupcí, kde by **takovou prebiotickou syntézu spustily elektrické výboje blesků.** Případně mohlo k popsáným procesům dojít v meteoritech, jež by přinesly takto vzniklé sloučeniny s sebou.

Vysokou školu jsem si vybíral s vědomím, že chci studovat především chemii. Jelikož mě bavila také biologie a zajímala mě příroda kolem, zvolil jsem si průřezový obor environmentální chemie na Univerzitě Karlově.

? Po studiích jste začal pracovat na experimentech simulace dopadu asteroidů. Jak vnímáte vztah moderních poznatků a starých prací, například pokusy Stanleyho Millera a teorie Alexandra Oparina? Podářilo se vám jejich výsledky potvrdit či vyvrátit?

Vědecké poznání jde po klikatých cestách a někdy se věda obrací k prastarým teoriím a narovnáva historické křivdy. Oparinovy teoretické práce jsou podle mého názoru poučné i dnes a badatelé se k nim ve svých úvahách často vrací: například k teorii vzniku ložisek acetylidů. Na základě výzkumu doktora Millera jsme simulovali účinek dopadu planety na jednoduché směsi plynů, které sám použil (*viz Život podle Millera*). Zjistili jsme, že formamid – výchozí látka pro vznik bázi genetického kódu – se takto syntetizuje z amoniaku a oxidu uhelnatého, a tím pádem v prototypu Millerovy atmosféry vznikají i základní molekuly dědičné informace.

Právě jednoduchá vlásenka genetického kódu ribonukleové kyseliny má být podle současných představ první chemickou formou schopnou projevit znaky života. Jenže Millerovi se v původním experimentu syntéza nukleových bázi dědičné informace nepodařila, detekoval jen aminokyseliny. My jsme ukázali, že za určitých podmínek je možná. Důležité je, že se původní

chemické podmínky Millerova pokusu v současné době opět označují za vysoce relevantní k tomu, co lze očekávat na rané Zemi. Původně kritizovaný experiment se tak vrací do hry.

? Existuje nějaká cesta vedoucí ke vzniku bázi genetického kódu bez příspěvku formamidu?

Ano, zjistili jsme, že v řadě směsí vzniká kyanovodík, a zdá se, že kyanovodíková chemie stojí také za syntézou základních bázi genetického kódu po dopadu mimozemského tělesa nebo za účinky elektrických výbojů. Problémem zůstává, co bylo dál. Podle teorie našich brněnských kolegů, manželů Šponerových, představuje formamid také příhodné nevodné prostředí pro polymerace vedoucí ke vzniku vlásenky genetického kódu. Dle mého názoru je vysoce pravděpodobné, že hrál formamid nějakou úlohu v prebiotické chemii.

? Myslíte tím syntézu základních bázi genetického kódu – hlavních stavebních prvků vzniku života?

Ano, jedná se o základní cihly genetického kódu. Například na Saturnově měsíci Titanu probíhají procesy vhodné pro vznik právě těchto základních komponent života. Zcela jistě jsou tam přítomny jmenované báze nukleových kyselin, tedy hlavní cihly genetického kódu. A přece se tam život nejspíš nevyskytuje. Je vidět, že samotné cihly k postavení domu nestačí.

? Mohlo by se zdát, že je vznik základních komponent života

poměrně jednoduchý. Proč jsme se tedy s mimozemským životem dosud nesetkali?

Arthur C. Clark, britský spisovatel sci-fi, vynálezce a podmořský průzkumník, v uvedené souvislosti rád říká: „Existují dvě možnosti – buď jsme ve vesmíru sami, nebo ne. A obě jsou stejně děsivé.“ Zmíněný citát s oblibou používá i nestor české astronomie doktor Jiří Grygar, když se ptá, kde tedy všichni mimozemšťané jsou. Každopádně na tuto otázku zatím nedokážeme uspokojivě odpovědět.

? Domníváte se, že by mohl život vzniknout i na jiné chemické bázi?

S vysokou pravděpodobností nikoliv. Někteří autoři uvádějí, že sloučeniny podobné těm organickým vytváří například křemík, cín nebo germanium. Jenže tyto sloučeniny jsou za normálních podmínek velice nestabilní. Naopak, jediný prvek tvořící myriády stabilních

sloučenin různých struktur představuje uhlík – král kosmické chemie.

? Zdá se tedy, že uhlíkový koncept nebude v blízké budoucnosti

Slovníček

Nukleární zima označuje hypotetickou situaci, kdy dochází ke globální změně klimatu v důsledku jaderných výbuchů. Podobně jako po dopadu asteroidu na planetu či po obrovské sopečné erupci **se do atmosféry dostane velké množství popela, úlomků a kouře**, jež poté brání pronikání slunečních paprsků na povrch tělesa. Teplo se tak odráží už ve stratosféře či troposféře a **planeta se ochlazuje**.

Formamid je běžná chemikálie, která se pravděpodobně vyskytovala na rané Zemi. Jde o čirou kapalinu mísitelnou s vodou, s podobným zápachem jako amoniak. Celá série experimentů za různých podmínek ukázala, že **lze z molekuly formamidu získat základní složky genetické informace**.

Mohlo by se zdát, že je vznik základních komponent života poměrně jednoduchý. Kde tedy všichni mimozemšťané jsou?

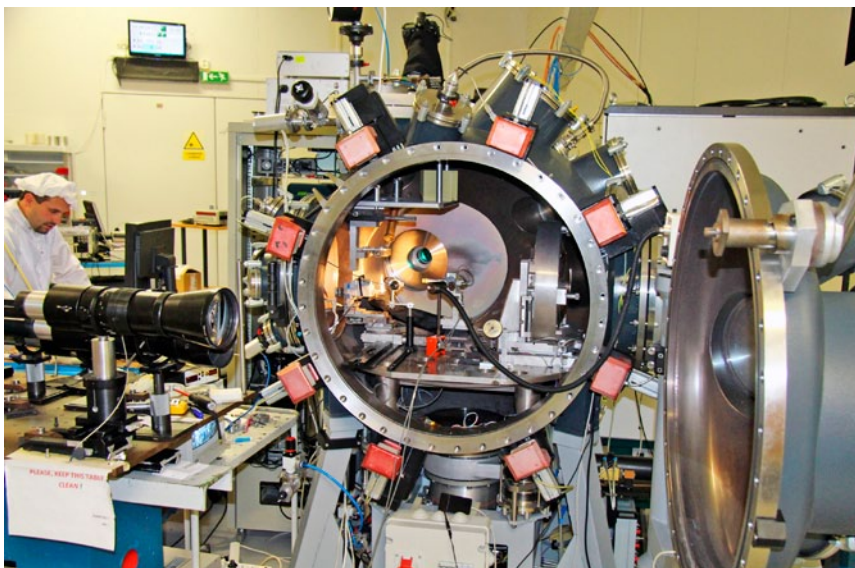
překonán. A o životě na bázi křemíku uvažovat nelze?

Je možné spekulovat o různých formách života, ovšem nám známá realita kosmické chemie pravděpodobně přeje uhlíku. Křemíkový život by mohly vytvořit pouze mechanismy pro současnou vědu naprosto neznámé.

? Takže to, co běžně vidíme v okolní přírodě, představuje zatím tu nejstabilnější variantu – takové energetické a evoluční optimum?

Je tu ještě otázka různých variant organické chemie a života na odlišných biochemických principech. Přesto se zdá, že to, co vidíme v přírodě, je nejstabilnější varianta. Přece jen měl

Výkonný laser v badatelském centru PALS (Prague Asterix Laser System) dokáže vytvořit podmínky, které vládou například při impaktu asteroidu



» fakta

A BYL ŽIVOT...

Čeští vědci Judit a Jiří Šponerovi se věnují výzkumu zrodu života na Zemi zhruba před čtyřmi miliardami let. Pomocí chemických modelů se snaží rekonstruovat sérii procesů, jimiž mohly z tehdejších molekul vzniknout molekuly s RNA, které umožnily rozvoj živých forem.

život na dosažení tohoto optima na naší planetě téměř třetinu existence celého vesmíru.

? Dalo by se přesto predikovat, jaký scénář by se mohl odehrát na jiných planetách?

Occamova břitva zatím říká, že nejspíš podobný jako na Zemi – dnes, dřív či v budoucnu. Z pohledu současné astrochemie není život, jaký známe kolem nás, pouhým konceptem. Podle nynějších znalostí je logický, zapadá do známé kosmické chemie přesně

a v současné době zejména s chemií exoplanet a jejich studiem pomocí spektrálních technik.

? Jaký svůj úspěch považujete zatím za největší nebo si jej nejvíc ceníte?

Nejvíc si cením toho, že jsme tým fajn lidí, kteří mají chuť spolupracovat a přes všechny problémy, jež věda přináší, chtějí objevovat a poznávat. Úspěch je rozsáhlá a otevřená spolupráce s partou kolegů, s nimiž si vzájemně pomáháme a bádáme nad společnými tématy. Setkal jsem se ale i s tím, že ve vědeckém světě panuje fevnivost, snaha hrát sám za sebe a „bít se v prsa“. S našimi kolegy tvoříme tým, který to dělá jinak. Asi největší faktický úspěch znamená práce publikovaná ve spolupráci s manžely Šponerovými z brněnského Biofyzikálního ústavu Akademie věd.

? V jejím rámci se vám podařilo prokázat vznik prebiotických molekul, že?

Pomocí unikátních experimentů na výkonovém laseru PALS na Ústavu fyziky

plazmatu Akademie věd se nám tehdy skutečně podařilo dokázat příspěvek impaktů asteroidů ke vzniku prebiotických molekul. Dnes už jsme se však posunuli mnohem dál. Neřešíme ani tak vznik prebiotických molekul účinky dopadů asteroidů, ale procesy následující poté. Impakty vnímáme spíše jako důležitou hybnou sílu v kontextu globální chemie raných planet. Tento výzkum podporuje Grantová agentura ČR a MŠMT.

? V otázkách vzniku života často zmiňujete Mars. Předpokládáte tedy, že bychom odpověď mohli nalézt na rudé planetě?

Myslím si, že kromě exoplanet možná právě Mars pomůže rozklíčovat hádanku vzniku života. Rudá planeta vyschla a zmrzla. Představuje archiv či muzeum rané prebiotické chemie a kromě toho – pokud tam život vznikl nezávisle na Zemi, znamenalo by to, že jde o chemický proces, který může probíhat i na jiných vhodných tělesech všude ve vesmíru. Možná leží odpovědi na hádanku vzniku života mnohem blíž, než si myslíme. Jen co by na Mars kamenem dohodil... ✍

Mgr. Jana Žďárská působí jako místopředsedkyně Kosmologické sekce České astronomické společnosti, pracuje na Fyzikálním ústavu AV ČR. K astronomii ji v dětství přivedl otec, v rámci její popularizace se věnuje především rozhovorům s vědeckými osobnostmi a reportážím z astronomických akcí

Možná leží odpovědi na hádanku vzniku života mnohem blíž, než si myslíme. Jen co by na Mars kamenem dohodil...

jako dílek puzzle a člověk coby myslící bytost, projevující abstraktní vnímání a schopná poznávat racionálními metodami okolní přírodu včetně vesmírných dálek, tvoří vrchol této chemické a biologické evoluce.

? Jakým vědeckým otázkám se kromě výzkumu vzniku života nyní nejvíc věnujete?

Témat je mnoho. U nás v laboratoři trošku platí, že jsme takoví všeučelové a věnujeme se celé řadě problematik. Společným jmenovatelem však nepochybně zůstává spektroskopie. Nyní se zabýváme například vývojem forenzních technik pro analýzu drog, vývojem nových výkonových zdrojů světla či simulací spekter meteorů. Nicméně vlajkovou loď naší laboratoře představuje výzkum související s kosmochemií

Paprsek laseru, nesoucího jméno Asterix, je schopen „zapálit vzduch“, ionizovat jej za vzniku plazmové koule

