

# Astronomická společnost v Hradci Králové

PŘEDNÁŠKY

č.1

**Život z hvězd ?**

Y.J.Pendletonová a D.P.Cruikshank

Přeložil: Dr. J.Bartoška

2.4.1994



*Před miliardami let komety a asteroidy přinesly obrovské množství organické hmoty na Zemi zrovna v době, kdy zde vznikal život. Je to časová a náhodná shoda nebo příčina a následek?*

Y.J.Pendletonová a D.P.Cruikshank:

## Život z hvězd ?

Každým rokem 300 tun organického materiálu bohatého na obsah uhlikatých molekul padá dolů na Zemi jako mikroskopické prachové částice, které pocházejí z vypařujících se komet a rozbitých asteroidů. Při zdůraznění tohoto trvalého přísunu, meteority občas donesou tunu či více těchto sloučenin přímo na povrch naší planety. Zcela nutný závěr je, že organické molekuly z vesmíru si našly svoji cestu a to v kolosálním množství, do prostředí, ve kterém život, známý jako nejuplněnější samokopírující se chemie, se začal rozvíjet na dalších 3,5 miliardy roků. Mohly by organické molekuly z vesmíru výrazně přispět k počátku života? Stěžejní bod odpovědi na tuto otázku souvisí s tím, zda život na Zemi je zcela ojedinělý nebo nějak podobně se vyvinul také ještě někde jinde ve vesmíru. Zatím současní vědci mají za to, že obyvatelé Země pocházejí ze sestav jednoduchých molekul do více složitějších systémů, které pokračovaly vytvořením a formováním biologických systémů. Zatím stále ještě zůstává možnost, kdy pravděpodobná alternativa zahrnuje organickou hmotu z různých kosmických zdrojů (asteroidů, komet, meteoritů, meziplanetárních prachových částíček), padajících neporušeně a právě včas, aby hrály důležitou úlohu v počátcích života. Bohatý kosmický hmec organické hmoty byl již popsán G.L.Verschuurem ve S & T, 1992-4-379 a pokračuje v přetékání, a rozšiřuje uhlikaté molekuly skrze celou galaxii. Pokračujeme v příběhu o původu organického materiálu v mezihvězdném prostoru, následuje doprava na zemský povrch a příklady, kde leží dnešní zásobárny této hmoty a kde se objeví v dnešní sluneční soustavě.

### Mezi hvězdami.

První molekuly zjištěné v rozlehlém mezihvězdném prostředí mezi hvězdami byly jednoduché kombinace uhlíku a vodíku. Byly detekovány již v roce 1937 ve spektru viditelného světla. Samozřejmě radioastronomie zcela revolučně rozšířila tyto studie koncem šedesátých let s objevem vody a čpavku. Ultrafialové záření, pronikající v mezihvězdném prostředí, může snadno zničit tyto složitější molekuly, takže aby přežily, musí zůstat v ochraňujícím prostředí jako jsou interiéry studených a neprůhledných molekulárních oblaků. Takové kosmické útulky jsou považovány za porodnice mnohých mezihvězdných molekul. Skoro 90 různých molekul, v převažující části organické typy, které mají až 13 atomů (HC<sub>11</sub>N), byly nalezeny v tmavé, chladné stojaté vodě naší galaxie. Avšak mnoho a mnoho jich pravděpodobně čeká na objevení. Molekuly, které mají nejpřímější vztah k počátku života jsou hlavně uhlovodíky a nitrily, (uhlík a dusík). Některé nitrily mohou

reagovat s kapalnou vodou a vytvářejí aminokyseliny, základní kameny, které jsou přítomny v proteinech a nukleových kyselinách. Poněkud jasnější obraz dává vznik a vývoj organických molekul v mezihvězdném prostředí. Tento proces začíná, když gravitační síly uvnitř hustých molekulárních mraků podporují kondenzaci chomáčů plynu a prachu, které vytvářejí mladé hvězdy. Ultrafialové záření z těchto horkých zdrojů světla (zrovna tak jako jiných zdrojů) zapříčiňuje chemické reakce nebo procesy na prachových zrnkách uvnitř obklopujícího oblaku. Výtrisky z protohvězda rázové vlny přicházející za nimi mají snahu roztrhat a rozdělit oblak. Jakmile se rozdrtí, zrnka jsou vystavena ultrafialovému záření z dalších zdrojů, způsobující velmi rychle další procesy a vývoj složitějších molekul na povrchu zrníček. Některá tato zrníčka jsou spotřebována novými hvězdami, ale většina se navrácí do rozptýlené mezihvězdné hmoty ISM prostředí. Tam se ledové obálky zrníček odpaří a uvolní složité molekuly do vesmíru. Vývoj organických molekul je ovlivněn nejenom narozením hvězdy, ale také událostmi při konci jejího života. Jestliže velice masivní hvězdy (takové, které mají osmkrát větší hmotnost než naše Slunce, nebo dokonce větší) se vyvíjejí, vyhoří jejich vnitřky takovým způsobem, že produkují všechny těžké prvky známé ve vesmíru, včetně křemíku, uhlíku a dalších, které vytvářejí prachové částice, na kterých se později organické molekuly formují. Případně hvězdy explodují jako supernovy na konci jejich života, uvolňující při tom tyto prvky do vesmíru. Na druhé straně, méně hmotné hvězdy jako je Slunce, se vyvíjejí do rudých obrů. Zbavují se vnějších obálek méně dramatickou cestou než supernovy, takže nejsou schopny produkovat těžké prvky. Jejich role je rovněž důležitá, poněvadž prachové částice se formují v jejich chladné vnější obálce a jsou případně vystřelovány do mezihvězdného prostředí, snad aby doletěly až do hustých mezihvězdných oblaků, kde pokračují v cyklu. Dnešní infračervená astronomie je důležitá pro mezihvězdnou chemii stejně jako to pro ni provedla radioastronomie v 60. letech.

Y. Pendletonová a její kolegové v NASA Amesově výzkumném středisku našli podporující důkaz pro nepřetržité uvolňování těchto organických molekul do mezihvězdného prostředí. Využili blízkou infračervenou spektroskopii od 3 do 5 mikronů, aby ukázali všudypřítomnou existenci uhlovodíkových komplexů v mezihvězdném difuzním prostředí. Další podpora přichází od L.J. Allamandoly a S.A. Sanforda z NASA Ames, kteří získali organické zbytky ozařováním jednoduchých jako-mezihvězdných ledů ultrafialovým světlem. Když jejich kosmické lektvary jsou zahřáty na teploty typické pro mezihvězdné prostředí, těkavé složky se vypaří a mišurník uhlovodíkového komplexu zůstává. Laboratorní zbytek vykazuje pozoruhodnou spektrální podobnost s pozorováním v blízké infračervené oblasti kosmického prachu v mezihvězdném prostředí. Tato spektra jsou také zcela úchvatně podobná takovým uhlíkatým (uhlík obsahujícím) meteoritům, které podporují myšlenku, že některé organické materiály mezihvězdného prostředí se uchovaly a byly dopraveny na Zem jednoduchými tělesy slunečního systému.

## Organické molekuly v naší sluneční soustavě.

Když mlhovina, která vytvořila naši sluneční soustavu, zkondezovala, zformovala malá tělesa z hornin a ledu nebo planetisimály, částečně vně organické hmoty obsahující prachové částice. Tyto planetisimály se pospojovaly během 100 milionů roků a vytvořily planety a jejich měsíce, zrovna tak jako planety a komety. Gravitační pole čtyřech největších planet zorganizovala planety mezi Jupiterem a Marsem. Tam většina povrchu asteroidu s ledovým obalem se odpařila slunečním teplem. Některé z těchto ledových planetisimál byly uloženy v plochem pásu za Plutem (Kuiperově pásu) a astronomové věří, že bilion dalších se naakumuloval ve vzdáleném sférickém halovém útvaru, zvaném a známém jako Oortův oblak (viz S&T, 1987-3-238), kde extrémní chlad zachoval jejich ledy nedotčené. Srážkami mezi planetkami se vytvářejí odštěpky a úlomky, které potom padají jako meteority na povrch naší planety. Asi 5 % těchto tělísek jsou uhlíkaté meteority a ukazují se jako nejprimitivnější nejméně zmíněné meteority na Zemi. V těchto černých chuchvalcích rozličného materiálu jsme našli zachovaná zrníčka karbidu křemíku SiC a mikroskopické diamanty s průměrem 50 mikronů. Zrníčka SiC jsou vytvářena v atmosférách uhlíkatých hvězd třídy rudých obrů, zatímco diamanty vznikají v molekulárních oblacích, kdy uhlík je prudce stlačen rázovou vlnou z explodující supernovy. Tyto materiály nevysvětlují příliš hmotu uhlíkatých meteoritů, ale jsou důležité, poněvadž ukazují, že mezihvězdný materiál je uchován ve sluneční soustavě dnešních dnů. Organický materiál a makromolekulární uhlík jsou velice hojné, představují asi 5 % hmotnosti. Velký pokrok ve studiu formování a vývoje sluneční soustavy se dostavil po analýze uhlíkatých meteoritů, které dopadly v září 1969 poblíž Murchisonu v Austrálii. Meteorit obsahoval širokou řadu více jak 400 organických složek, dokonce zahrnující takové, které ještě nebyly nalezeny na Zemi. Mezi nimi byly aminokyseliny, které měly vyšší podíl deuteria (izotopu vodíku) vzhledem k vodíku, který se vyskytuje na Slunci a na Zemi, dokonce až sedmkrát tolik. Toto zjištění spolu s pozorovaným obohacením uhlíku 13 a dusíku 15, velice silně naráží na to, že materiál pocházel někde z vnějšku sluneční soustavy. Je také důležité poznamenat, že ačkoliv aminokyseliny samotné nebyly nalezeny v molekulárních mracích nebo v mezihvězdném prostředí, kandidáti předchůdců jako jsou kyanovodík, čpavek a různé další formy byly nalezeny a to ve velkém množství a rozmanitosti. Tito předchůdci mohou formovat aminokyseliny, jestliže je přítomna tekutá voda a nevhodnější prostředí pro tuto přeměnu, aby se pak vyskytovaly v mateřských tělesech uhlíkatých meteoritů. Vzorky meteoritů samotné ukazují na přímý důkaz pro tekutou vodu: žily bohaté na soli jimi jsou protkány a jílovité materiály se formovaly z jiných krystalických silikátů -procesů vyžadujících vodu. Ačkoliv výzkumníci pokračují v debatách o různých původech organické hmoty v meteoritech, určitý podíl tohoto materiálu, zvláště pak předchůdci molekul aminokyselin, pocházející zcela zřetelně z mezihvězdné hmoty.

## Meziplanetární prach a komety

Jsme spokojeni s kometami skrze důležitý vliv, který měl na historii naší planety, od možné příčiny vyhynutí dinosaurů až po dodání materiálu z kosmu na Zem. Díky mnohým dopadům komet bohatých na ledy, které přinesly vodu, plyny a uhlík, ze kterých se skládá běžný oceán, atmosféra a biosféra, jelikož naše původní vybavení těchto těkavých složek by se brzy vytratilo vyvařením z povrchu Země po tom, co se povrch Země dotvořil. Potom ale jsem a jsme vytvořeni atomy přinesenými sem kometami a asteroidy. Kometární jádro je přibližně napůl ledové (ledy různých druhů), a napůl směs křemičitých minerálů a organické hmoty. Když kosmické lodě Giotto a Vega se setkali s Halleyovou kometou v r. 1986, jejich data odhalila, že celá jedna třetina hmoty komety je organická. D.L.Mitchell z University v Berkeley v Kalifornii a jeho kolegové zjistili, že uvnitř jádra komety jsou reakce příliš pomalé pro tuto hmotu, aby se formovala za dobu od vzniku sluneční soustavy před 4,5 miliardami let, takže se musela vyvíjet v mezihvězdném prostoru dlouho před tím, než byla začleněna do komet. Koncem 80.let Ch.Chyba (později v Cornelově Universitě) a jeho kolegové zkoumali přisun organických molekul na Zemi kometami a jejich prachem. Komety velikosti více jak 100 metrů se sráží se současnou Zemí při rychlosti alespoň 10 km/sec a jsou sterilizovány samy sebou, protože dopadová energie zničí všechny kometární organické složky. Ale zemská atmosféra mohla být dříve asi 10x hustší, takže dovolila některým kometám se dosti zpomalit při vstupu do atmosféry a umožnit tak přežití mnohým organickým složkám. Konečně velmi mladá Země by mohla získat asi 10 000 tun organické hmoty za rok, ačkoliv se tato hodnota pravděpodobně velmi rapidně snižuje podle zmenšujícího se počtu komet, které byly k dispozici. Ačkoliv komety naráží na naši Zemi nyní velice vzácně podle měřítka délky lidského života, meziplanetární prachové částice ztrácené kometami jemně prší dolů na Zemi. Meziplanetární prachové částice jsou vysoce pórovité mikroskopické seskupeniny různých minerálů a uhlíku v rozličných formách zahrnujících i organické látky bohaté na deuterium. Některé meziplanetární prachové částice, sebrané letadlem v stratosféře, jsou kousičky asteroidů, rozbitých vzájemnými srážkami. Ale většina porézních částic, někdy vyhlížejících jako chuchvalce drobných zrníček, jsou odvozeny z aktivních komet. J.M.Greenberg v Leidenské observatoře v Holandsku a jeho kolegové prohlašují, že tyto úlomky komet jsou prachové částice povlečené organickým obalem, které vznikly a vyvinuly se v meziplanetární hmotě. Nepochybně prodělaly další přeměny při obíhání kolem Slunce během tisíců roků následujících po jejich uvolnění z komety.

## Tělesa slunečního systému, bohatá na organické látky.

Asi před 25 lety asteroid 324 Bamberga vzbudil pozornost badatelů, hledajících původ uhlíkatých meteoritů, neboť u něj bylo nalezeno albedo (odrazivost) pouze 6 %. Nyní víme, že většina komet a některé planetární měsíce také mají velice tmavé

povrchy a že většina planetek s malým albedem je soustředěna ve vnější části hlavního pásu (a skupina Trojanů v dráze Jupitera). Ale jinak přímý a konkrétní důkaz týkající se těchto velice tmavých objektů slunečního systému a spojených s organicky bohatými meteority je velice nedostatečný kvůli spektroskopii, mocného diagnostického nástroje, která ukazuje, že mají málo určitých známek organických molekul. Převážně jsme se museli spolehnout na "barvu" (množství slunečního světla, odraženého tělesem v různých vlnových délkách) a albedo jako hlavní rys důkazu spojujícího uhlíkaté meteority se známými tělesy ve sluneční soustavě. Jak je vidno z diagramů zachycujících relativní odraz v závislosti na vlnové délce, ne všechna tělesa ve sluneční soustavě s nízkým albedem jsou černá či neodrazivá v rozsahu měřitelného spektra. Důležitá třída těchto těles jsou rudá tělesa, která odrážejí více v delších vlnových délkách než ve viditelné nebo fialové oblasti spektra. Jak černá, tak i červená tělesa - planetky s nízkým albedem jsou spojeny s pevnou organickou hmotou. V roce 1987 R.H.Brown z Kalifornského technologického institutu a D.P.Cruikshank z NASA-Ames publikovali původní první určení uhlovodíků ve spektru planetky 130 Elektra, velkého tmavého asteroidu, který měl rozpuštěné minerály ve vodě v jeho povrchových horninách. Jiné planetky mohou přinášet podobný výsledek pro pevnou organickou hmotu podobnou druhu nalezenému v uhlíkatých meteoritech, ale to musí být potvrzeno dříve, než můžeme pochopit rozdělení těchto organických znaků mezi typy asteroidů. Nitrily obecného typu byly nalezeny v hustých molekulárních mračích a také se objevují na pevném povrchu těles ve sluneční soustavě. V roce 1991 Cruikshank a několik jeho kolegů oznámili detekci právě takových složek ve spektrech dvou nových komet, tří rudých asteroidů a též možná prstence u Uranu. Pevné povrchy komet mají obecně malé albedo, ačkoliv některé jsou rudé a některé černé a částice odhozené pryč jako prach, který vytváří komu a ohon, mají podobnou barvu. Navíc částice Uranova prstence a tmavá strana měsíce Japeta mají stejně nízké albedo a rudou barvu jako mnoho asteroidů. Tělesa, která jsou ještě dostatečně bohatá na pevné nitrily pravděpodobně nikdy nevešla ve styk s kapalnou vodou: ačkoliv mohou obsahovat vodu ve formě ledu, který nebyl nikdy dostatečně zahřátý, aby se rozpustil a přeměnil se chemicky směrem k více složitým organickým chemikáliím.

### Noví hráči na scéně.

Zatímco jsme velice zeneprázdněni uvažováním o konvenčních tělesech ve sluneční soustavě, v posledních dvou letech se objevily tři skutečně neobyčejné objekty poblíž vnějšího okraje planetárního systému. Pomocí dalekohledu Spacewatch na Kitt Peak u D.L.Rabinowitz našel objekt 5145 Pholus (původně nazvaný 1992 AD), putující na vysoce excentrické dráze mezi 8,7 a 32,3 astronomické jednotky od Slunce. Je to nejvzdálenější známé těleso planetkového typu. Další tělesa podobného typu byla 1992 QB<sub>1</sub>, 1993 FW a čtyři další. Fotometrie brzy ukázala, že Pholus je také nejčervenějším pevným planetárním

tělesem doposud objeveným. Uhlíkaté meteority se nemohou rovnat v barvách Pholusu, poněvadž pravděpodobně obsahují podstatný uhlík a podobně černý a na vodík chudý komplex organických pevných látek, zvaný kerogen, oba mají zcela neutrální barvy. Kromě toho, barva Pholusu je srovnatelná pouze s organickými materiály, vyrobenými v laboratoři omezeným ultrafialovým zářením, působícím na plyny nebo ledy, obsahující různé kombinace metanu, dusíku, vody a jiných jednoduchých sloučenin. Příliš mnoho záření odstraňuje vodík, vytváří se černé a neutrální pevné látky, ale právě potřebné množství dává vyjimečnou barvu Pholusu. Tyto simulace nabízejí názor, že povrch Pholusu je pokryt koncentracemi organických pevných látek méně vyvinutých, než které byly nalezeny na většině těles sluneční soustavy vně tohoto systému, poněvadž pravděpodobně se Pholus nikdy nedostal těsně dostatečně blízko Slunce, aby se karbonizovaly organické látky. Právě měsíce po objevení Pholuse domluvené hledání vzdálených těles D.Jewittem z University na Havaji a J.Luu z University v Kalifornii, Berkeley ulovili dva neobyčejné objekty na vnějším okraji sluneční soustavy. Předběžně označení je 1992 QB<sub>1</sub> a 1993 FW a jsou prohlášeny také jako rudé objekty, takže mohou mít bohatou zásobu přechodových organických látek. Zatím neexistují žádná přímá měření velikostí 1992 QB<sub>1</sub> a 1993 FW, ale jejich jasnost a předpokládané malé albedo ukazují na velikost kolem asi 200 km v průměru. Mohlo by to být několik tisíc planetisimál této velikosti a mnohem více menších kusů, které vytvořily to, co je známé pod názvem Kuiperův pás. Ale kam Pholus, 1992 QB<sub>1</sub> a 1993 FW se zařazují mezi tělesa sluneční soustavy? Jsou to opravdu vzdálené asteroidy nebo to jsou ledové planetisimály, unikající pozornosti jako obrovské, neaktivní komety na okraji planetární soustavy? Navrhujeme, že to jsou skutečně planetisimály, které, jestliže jsou vrženy poblíž Slunce, mohou vyvinout charakteristické rysy komet. Objekt 2060 Chiron, objevený Ch.Kowalem v r. 1977 a původně označený jako nejvzdálenější asteroid, v poslední době vykazuje kometární aktivitu, včetně ohonů, objeveného v listopadu 1992. Pak je tedy Chiron opravdu největší známá kometa, která je aktivní, má průměr alespoň 180 km, takže její objem je zhruba 5000 krát větší než objem jádra Halleyovy komety. Co se týče barvy je Chiron typický jako většina komet, čili je černý, nikoliv červený. Potom jakékoliv organické hmoty na jeho povrchu se zdárně vyvinuly na rozdíl od předchodových produktů, které se objevily ve složení povrchových vrstev Pholusu a ledových planetisimál 1992 QB<sub>1</sub> a 1993 FW.

### Důsledky pro život.

Běžný pohled na původ života pomocí chemických vývoju zahrnuje vytváření primitivních proteinů na Zemi dvoustupňovým procesem. V prvním stupni jsou aminokyseliny syntetizovány z metanu, vody a čpavku v redukční (chudé na kyslík) atmosféře elektrickými výboji (blesky) nebo UV zářením ze Slunce. Tento proces

lze snadno demonstrovat i v laboratoři. V druhém kroku aminokyseliny vytvářejí polymery v průběhu nějakého procesu podobného kondenzaci, a produkují komplexy, které se případně stanou proteiny. V tomto scénáři aminokyseliny syntetizované v asteroidech bohatých na vodu a uložených na Zemi pomocí meteoritů by se mohly připojit k rozmanitým látkám u takových složek, jako jsou vytvářeny v atmosféře. Ale jinak, jak S.L.Miller a Ch.Chyba již diskutovali v těchto studiích, složení prvotní zemské atmosféry nemuselo být vhodné pro přímou syntézu aminokyselin na naší planetě a také zatím neexistuje žádný oficiální souhlas k vlivu organického materiálu pršícího z kosmu. C.N.Matthews z University v Illinois nabízí odlišný přístup k vytváření předchůdců proteinů. Argumentuje s tím, že kyanovodík HCN a jeho polymery vyrábějí pevné látky snadno na planetárních tělesech a vyvolávají základy proteinů přímo a snadno, bez přechodového mezikroku zahrnujícího vytváření aminokyselin, které musí potom nechat vzniknout polymerům. HCN kyanovodíkové polymery jsou s velmi nízkým albedem a mají různé barvy, jež jsou podobné některým na určitých planetárních tělesech pevných. Jestliže detekce pevných nitrilů na kometách, asteroidech a dalších planetárních tělesech je dokázána, Matthewsův spor o tom, že HCN kyanovodík je obecně rozšířený, bude podpořen a výzkumníci budou muset mnohem přísněji nahlédnout na chemické zjednodušeniny, které navrhuje. Komety a asteroidy jsou bohaté na takové prvky, které jsou nezbytné pro život a nosí s sebou komplexní organické molekuly, které vznikly v molekulárních oblacích nebo rozptýleném mezihvězdném prostředí. Ačkoliv tento materiál byl již chemicky vyvinut do různých stupňů, veliké množství této hmoty bylo uloženo na Zemi a jiných planetách od chvíle, kdy se dotvořila sluneční soustava. Tak jak prozkoumáváme dále a více bohatý koberec na známých tělesech ve sluneční soustavě a objevujeme stále ještě více zajímavostí, nakonec dospějeme ke stále více detailnímu pochopení spojení mezi životem na naší planetě a chemií v zaprášeném kosmu mezi hvězdami.

*Yvonne J.Pendletonová a Dale P.Cruikshank jsou výzkumníci v oddělení teoretických studií a astrofyziky, patřící k Výzkumnému středisku NASA Ames, Kalifornie.*

Dr. J.Bartoška