

Příběh vody

Po stopách možného života ve Sluneční soustavě s prof. Ondřejem Čadkem

Je voda ve vesmíru spíše vzácná, nebo se zde vyskytuje běžně? A kolik vody je vlastně ve Sluneční soustavě? Pojďme se společně s profesorem Ondřejem Čadkem z Matematicko-fyzikální fakulty Univerzity Karlovy porozhlédnout po naší Sluneční soustavě a zmapovat výskyt vody ve všech jejích skupenstvích.

Vážený pane profesore, co Vás k pátrání po vodě ve vesmíru přivedlo a proč?

„Jako geofyzik jsem se řadu let zabýval především studiem hluboké Země. Když na přelomu tisíciletí začaly přicházet zprávy o možné existenci vody pod povrchem ledových měsíců Sluneční soustavy, uvědomil jsem si, že tento problém je třeba primárně řešit geofyzikálními metodami. Díky kolegům ve Francii se mi podařilo na novou problematiku rychle přeorientovat a využít přitom svých zkušeností se studiem zemského nitra. Dnes náš vědecký tým v Praze vytváří komplexní počítačové modely ledových měsíců, které umožňují posoudit dlouhodobou stabilitu vodních rezervoárů v jejich nitru a jejich habitabilní potenciál. O naše výsledky je ve světě zájem, takže myslím, že u vody ještě pár let zůstanu.“

S vodou se ve vesmíru setkáváme často. Ale jak je to v naší Sluneční soustavě?

„Voda je zřejmě jedna z nejčastějších sloučenin ve vesmíru. Je to dáno tím, že vodík je nejběžnější prvek ve vesmíru vůbec a kyslík je co do četnosti na třetím místě. Voda se ve vesmíru vyskytuje většinou v podobě ledu či vodní páry, ale také v kapalném skupenství. Teploty, se kterými se ve vesmíru setkáváme, jsou totiž často blízko teplotní oblasti, ve které se voda chová jako kapalina.“

Vodu chápeme jako ideální rozpouštědlo pro možný průběh chemických reakcí. Je tedy nezbytná pro vznik života?

„Je podmínkou pro existenci života tak, jak jej známe ze Země, ale samozřejmě jde jenom o podmínku nutnou, nikoliv postačující. Život ke své existenci potřebuje také zdroj energie a chemicky bohaté prostředí. Posledně uvedené podmínky jsou ale splněny prakticky všude, kde se s kapalnou vodou setkáváme.“

Mohl by vodu nahradit kupříkladu metan, o němž se často mezi vědci hovoří?

„O tom, že jako rozpouštědlo mohl fungovat kupříkladu metan, se diskutuje poměrně často, v poslední době hlavně v souvislosti se Saturnovým měsícem Titanem a jeho velkými uhlovodíkovými jezery. Znamenalo by to ale, že by všechny chemické reakce probíhaly odlišně – v případě metanu rozhodně při nižších teplotách, a tudíž i mnohem pomaleji než ve vodě.“

Nicméně by to byla nejspíš také možnost, že?

„Možná ano, ale ve Sluneční soustavě je opravdu dostatek vody, jistě víc než metanu. Protože známe život založený na bázi vody, který využívá několik ve vesmíru běžně dostupných prvků, přičemž tento život funguje skvěle, vlastně ani nemusíme hledat jiné, podstatně složitější a nevyzkoušené varianty.“

Analýzy naznačují, že mnohá tělesa Sluneční soustavy mohou obsahovat až 50% vody oproti Zemi s cca 0,12% vody. Co k tomu dodat?

„Terestrické planety obsahují opravdu málo vody, což souvisí s tím, že vznikly blízko Slunce, kde byly poměrně vysoké teploty. I na Zemi, jejíž povrch je ze dvou třetin pokryt oceány, je vody mnohem méně než ve vnější Sluneční soustavě nebo Kuiperově pásu, kde při vzniku Sluneční

soustavy panovaly mnohem nižší teploty. Vodní led je v této oblasti Sluneční soustavy mnohem častější než silikátové horniny, které tvoří vnější obaly terestrických planet.“

Jak se vlastně přítomnost vody ve vesmíru zjišťovala dříve?

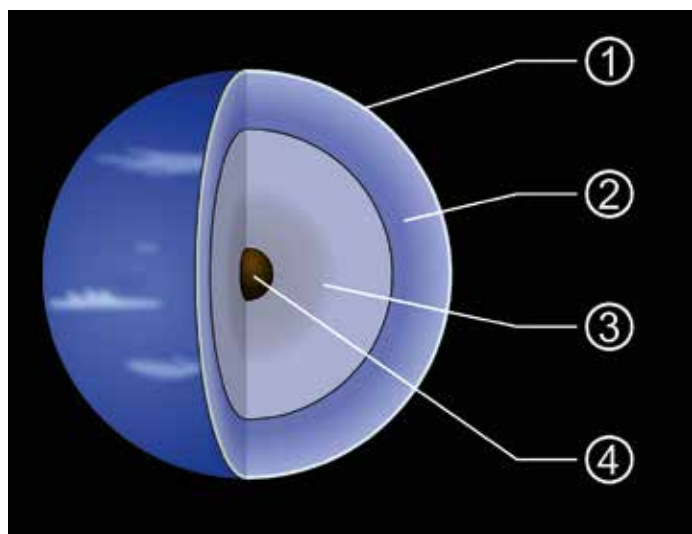
„Bylo to značně obtížné, protože průzkum planet a jejich měsíců probíhal pouze dalekohledy ze Země. Na základě astrometrických pozorování se však podařilo určit například hmotnost satelitů Jupiteru a tato skutečnost naznačovala, že by tyto měsíce mohly obsahovat velké množství vody či ledu.“

A jak se zjišťuje voda ve vesmíru nyní?

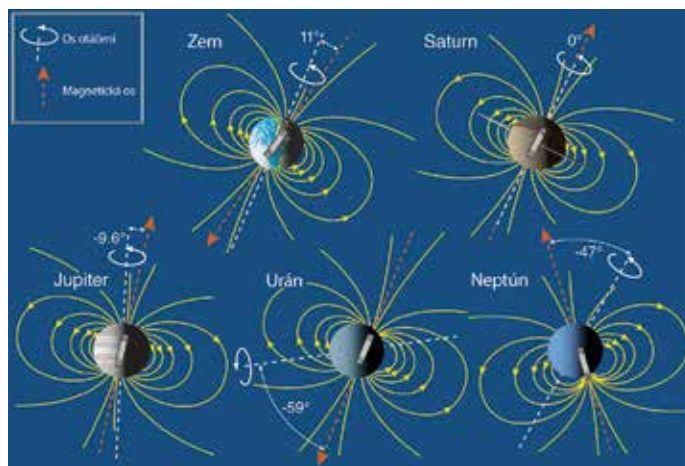
„Nyní je to mnohem jednodušší, protože umíme určovat přítomnost vody spektroskopicky. To znamená, že nyní víme velice přesně, která tělesa mají povrch tvořený vodním ledem a kde tvoří povrch kamenné horniny. Tato metoda nám ale nic neřekne o tom, zda v hloubce pod povrchem může existovat kapalná voda. Zásadní informace o vnitřní struktuře ledových těles nám dnes poskytují především družicová měření.“

Mohl byste prosím tato měření specifikovat?

„Jde o detailní snímkování povrchu tělesa, měření fyzikálních polí v jeho okolí, ale také analýzu jeho pohybu a tepelných zdrojů. O podpovrchovém oceánu na Enceladu jsme se například dověděli z měření jeho librace a spektroskopické analýzy částic, které vylétávají z gejzírů u jeho jižního pólu. U Evropy, Ganymedu a Callisto byla přítomnost podpovrchového oceánu potvrzena z magnetických měření, která ukazují, že pod jejich povrchem musí existovat elektricky vodivý materiál. Magnetická a gravitační měření potvrzují existenci oceánu také na Titanu, zatímco v případě Pluta naznačuje možnou existenci oceánu neobvyklá poloha kráteru Sputnik a modelování jeho rotační dynamiky.“



Vnitřní struktura Neptunu: 1 – horní vrstva oblaků, 2 – atmosféra složená z vodíku, helia a metanu, 3 – plášť tvořený směsí vodního a amoníkového ledu s příměsí metanu, 4 – jádro (silikáty, železo a nikl).



Srovnání magnetického pole planet ve Sluneční soustavě. Úhel mezi rotační a magnetickou osou je u ledových obrů výrazně větší než u ostatních planet.

Dlouhodobě udržitelný oceán může existovat také na Tritonu, kde zřejmě velmi dobře funguje slapové zahřívání, a na Dione, kde pro to svědčí analýza topografických a gravitačních dat. Samotné snímky povrchu nám mohou naznačit, že v nitru tělesa existoval v minulosti oceán, ale tuto informaci většinou nelze extrapolovat do přítomnosti. Příkladem takového tělesa je například Uranův měsíc Miranda.“

Jak je to s přítomností vody na ledových obrech Uranu a Neptunu?

„Uran a Neptun jsou skutečně nazývány ledovými obry. Tato tělesa byla schopna při vzniku Slněční soustavy nasbírat poměrně velké množství prachových a ledových částic, ale přesto nikdy nedorostla do velikosti Saturnu nebo Jupiteru, tvořených především vodíkem a heliem. Dnes se ukazuje, že ledoví obři mohou existovat i v jiných slunečních soustavách.“

Jaké je tedy složení těchto těles a mají vůbec pevný povrch?

„Uran a Neptun jsou tvořeny převážně vodou a částečně také amoniakem a metanem. Naproti tomu jejich atmosféra je z vodíku a hélia. U těchto těles vlastně ani nemůžeme mluvit o nějakém pevném povrchu. To, co v tomto případě označujeme jako *led*, je vlastně horká tekutina, tvořená vodou, amoniakem a metanem. Klasický pevný led, který vidíme na povrchu ledových měsíců, bychom u těchto planet nenašli.“

Je vskutku poměrně těžké si takovou sloučeninu představit, mohl byste tuto směs blíže popsat?

„Ano, skutečně je poměrně obtížné si takový 'led' představit. Za vysokých tlaků a teplot, které panují v pláštích ledových obrů, se molekuly vody rozpadají na tzv. iontovou vodu, jakousi polévku tvořenou vodíkovými a kyslíkovými ionty. Ve větších hloubkách navíc dochází k tomu, že kyslík krystalizuje, ale vodíkové ionty se mohou volně pohybovat v kyslíkové matici. Této fázi ledu se říká superiontová voda a někdy se také označuje jako led XVIII, tedy osmnáctá známá fáze ledu.“

Není tedy označení ledoví obři poněkud zavádějící?

„Je to skutečně velmi zvláštní led. Když jej hodně stlačíte, začne se chovat jako elektricky vodivá kapalina, tedy podobně jako kovová jádra terestrických planet. Proto mají Uran

a Neptun magnetické pole. Až donedávna jsme toho o superiontové vodě věděli velmi málo, protože laboratorní experimenty za tak vysokých tlaků jsou extrémně obtížné. Že taková fáze ledu skutečně existuje, bylo definitivně dokázáno teprve v letošním roce, kdy skupina amerických vědců dosáhla tlaků vyšších než 100 gigapascalů. Víme také, že extrémně vysoké tlaky mohou ovlivnit chování dalších sloučenin. Podobně jako voda se rozpadá i metan, přičemž uhlíkové atomy kondenzují a vytvářejí diamanty, které pak volně propadávají pláštům ledových obrů, podobně jako kroupy při bouřce na Zemi. Někteří vědci se domnívají, že přítomnost těchto diamantů by mohla vysvětlit, proč má Uran a Neptun tak anomální magnetické pole.“

Je známo, co vychýlení jejich magnetického pole způsobuje?

„V případě Země, Jupiteru a Saturnu svírá rotační osa s osou magnetického dipólu jen malý úhel. Na Zemi je to dnes zhruba 10°, na Saturnu dokonce méně než půl stupně. V případě Uranu a Neptunu je to naopak – rotační osa s osou magnetického dipólu svírá zhruba 60° a navíc magnetický dipól neleží ve středu planety. Vysvětlením by mohla být právě existence nerovnoměrně rozložených diamantových usazenin, které by mohly lokálně měnit elektrické vlastnosti ledového pláště.“

Bylo by možné porovnat měsíce Uranu a Neptunu s měsíci Saturnu a Jupiteru?

„Určitě zde vidíme některé podobné rysy, ale i velké odlišnosti. Jupiter má tři velké ledové měsíce, srovnatelné co do velikosti s Merkurtem nebo našim Měsícem. Saturn má jen jeden velký měsíc, Titan, který jako jediné ledové těleso má hustou atmosférou, a pak skupinu středně velkých měsíců. Podíváme-li se na Uran, uvidíme 27 měsíců, přičemž 7 z nich se podobá středně velkým měsícům Saturnu. Jde o ledové měsíce, které ale mají větší hustotu než měsíce Saturnu, což naznačuje, že obsahují více silikátových hornin. Na jejich povrchu v minulosti probíhaly významné tektonické procesy a některé z nich, například Miranda, mohly mít i podpovrchový oceán. Neptunův Triton je jen o něco menší než Europa, jeho povrch je rovněž tvořen vodním ledem, ale ostatním měsícům se příliš nepodobá.“

Zastavte se prosím na chvíli u Tritonu. Proč jej vědci tak často přirovnávají k Plutu?

„Triton je mimořádně zajímavý v řadě ohledů. Je to jediný velký měsíc ve Slněční soustavě, který obíhá retrográdně. To naznačuje, že se nejedná o měsíc, který vznikl společně s Neptunem, ale o trpasličí planetu, kterou Neptun zachytil zřejmě v období, kdy planety migrovaly, tak jak to předpovídá nicejský model. Co do velikosti a vzhledu povrchu se Triton podobá Plutu. Voyager 2 získal snímky, které dokládají, že Triton je stále geologicky aktivní. Nízká četnost kráterů svědčí o tom, že Tritonův povrch je relativně mladý a neustále se obnovuje, takže Triton musí mít vydatné zdroje tepla i nyní.“

Domníváte se, že by na Tritonu mohla být voda?

„Ano, zdá se, že na Tritonu voda je. Počítačové modely ukazují, že pokud tam podpovrchový oceán někdy v minulosti vznikl, pak je velmi stabilní, neboť je udržován slapovým teplem,

kteří se v oceánu uvolňuje díky velmi neobvyklé rotaci Tritonu. To by také vysvětlovalo, proč na povrchu vidíme tolik známek tektonické a kryovulkanické aktivity. Na měsících Uranu se zřejmě voda ve větším množství nevyskytuje, i když tam mohla být v minulosti. Nezdá se, že by malá velikost měsíce nějak limitovala přítomnost vody. Saturnův Enceladus má průměr jen 500 km, a přesto polovinu jeho objemu tvoří voda udržovaná v kapalném skupenství slapovým zahříváním. Měsíce Uranu ale mají malou excentricitu, což znamená, že slapové zahřívání je tam velmi slabé. Pokud by v nitru některého z Uranových měsíců byl oceán, muselo by v něm být hodně nemrznoucích příměsí tak, jak to předpokládáme v případě Pluta, kde se teplota oceánu pohybuje kolem minus 100 °C.“

Když už hovoříme o podpovrchových oceánech ledových těles, mohl byste shrnout, na kterých tělesech by se mohly vyskytovat?

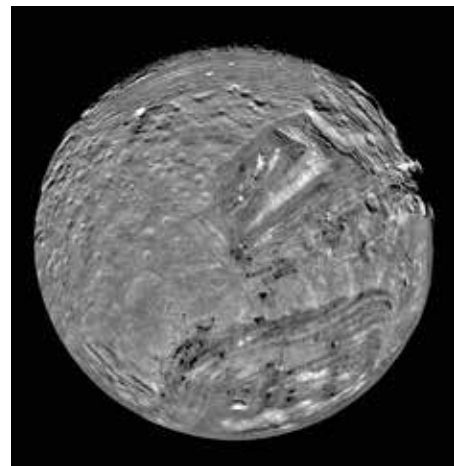
„Známe pět těles, která s jistotou obsahují podpovrchový oceán. Jde o tři galileovské měsíce Jupiteru, Europu, Ganymed a Callisto, a dva měsíce Saturnu, Enceladus a Titan. O tom, jakými metodami v nich byla přítomnost podpovrchového oceánu potvrzena, jsme již hovořili. Uvažuje se také o Saturnově měsíci Dione, ale tam zatím zůstáváme na úrovni spekulací. O Tritonu a Plutu již byla řeč – v obou případech bychom ale potřebovali více přímých dat, zatím se opíráme hlavně o numerické modely. Pokud by vodní oceán skutečně existoval i na Plutu, znamenalo by to, že v Kuiperově pásu zřejmě existují desítky dalších těles, která pod svým povrchem ukrývají kapalnou vodu.“

Skutečně je možné, aby na takto chladných tělesech mohl existovat tekutý podpovrchový oceán?

„Ledový oceán je v kapalném skupenství udržován zpravidla dvěma způsoby: slapovým zahříváním nebo rozpadem radioaktivních prvků v silikátovém jádře měsíce. Měsíce, které obsahují velké množství ledu, musí spoléhat hlavně na slapy, zatímco měsíce s velkým silikátovým jádrem, jako třeba Titan, získávají teplo hlavně z radioaktivního rozpadu. Omezený význam mohou mít také chemické reakce vody se silikáty. K udržení oceánu v kapalném skupenství mohou významně přispět některé



Povrch Neptunova měsíce Tritonu, tak jak jej spatřila sonda Voyager 2 v roce 1989.



Uranův měsíc Miranda. Snímek je sestaven ze záběrů pořizovaných sondou Voyager 2 v roce 1986.



Trpasličí planeta Pluto (New Horizons, 2015). Oblast Sputnik planitia se nachází ve středu obrázku.

příměsí, například amoniaku nebo metanu, které snižují teplotu tání oceánu a zlepšují izolační vlastnosti ledové slupky.“

Jak lze popsat teplotní bilanci na měsících velkých planet?

„Aby byl podpovrchový oceán dlouhodobě stabilní, tedy aby nezamrzal, musí být teplo, které uniká přes povrch tělesa do vnějšího prostoru, kompenzováno tepelnými zdroji uvnitř měsíce. Stabilního stavu dosáhneme buď tak, že snížíme tepelné ztráty, například tím, že část ledu nahradíme metanovými klatráty, které mají výrazně nižší tepelnou vodivost než čistý led, nebo do oceánu přidáme nemrznoucí příměsí, a snížíme tak teplotní kontrast mezi teplotou povrchu a teplotou oceánu. Co se týče vnitřních zdrojů, naše možnosti jsou poměrně omezené. Slapové zahřívání je významné pouze tehdy, pokud se měsíce navzájem gravitačně ovlivňují, což nastává v případě tzv. orbitální rezonance. V rezonanci jsou dnes například tři měsíce Jupiteru (Io, Europa a Ganymed), ale třeba také Saturnovy měsíce Enceladus a Dione.“

Zmínil jste, že oceán může existovat i pod povrchem trpasličí planety Pluto. Je to při povrchové teplotě nižší než 40 K z termální hlediska reálné?

„Předpokládá se, že podpovrchový oceán na Plutu existuje velmi dlouho právě díky tomu, že může být velmi chladný. Pluto není slapově zahříváno, ale protože obsahuje velké množství nemrznoucích příměsí, může být jeho nitro kapalné. Izolační vlastnosti ledové kůry navíc výrazně zlepšují metanové klatráty, které se ukládají na rozhraní mezi kůrou a oceánem. Z hlediska chladnutí oceánu představují něco podobného jako polystyren nebo minerální vatu, které se používají k zateplení budov.“

Jaké nové informace o Plutu přinesla sonda New Horizons?

„Zajímavé je, že povrch Pluta je velmi mladý a pozorujeme na něm známky nedávné geologické aktivity. Pluto má řídkou atmosféru, která se zřejmě neustále doplňuje plyny unikajícími z nitra tělesa. Velmi zajímavým útvarem je tzv. ‘Sputnik Planitia’, velký impaktní kráter v blízkosti rovníku. Pokud by na Plutu neexistoval oceán, měla by se ledová slupka postupně natočit tak, aby kráter ležel v blízkosti rotačního pólu.“

Vědci často hovoří o Uranově měsíci Mirandě. Čím je zajímavá?

„Geologické útvary na povrchu Mirandy připomínají struktury Saturnova měsíce Enceladu. Toto malé těleso, ještě menší než Enceladus, jehož dráha je dnes prakticky kruhová, nemůže získávat teplo ze slapové deformace. Malá tělesa chladnou velmi rychle a bez pomoci slapového tepla by oceán na Mirandě zamrzl za pár desítek milionů let. Proto tam dnes asi podpovrchový oceán není, i když to zcela vyloučit nelze.“

Pokud by na těchto tělesech byla voda, co by to znamenalo z astrobiologického hlediska?

„Znamenalo by to, že máme vodu v prostředí, které je poměrně stabilní a bohaté na organické sloučeniny. Na Tritonu i v nitru Pluta jsou zřejmě podmínky, v nichž by mohly existovat jednoduché formy života. Zda tam život mohl vzniknout, nebo tam mohl být zanesen zvenčí, je jiná otázka. To zatím nevíme.“

V souvislosti s Plutem jsou zmiňovány tzv. tholiny. O jaké látky se jedná?

„Tholiny jsou polymerní organické sloučeniny vznikající ozařováním směsi dusíku a jednoduchých organických látek paprsky Slunce. Někteří vědci je spojují se vznikem života na Zemi, i když dnes se s nimi na Zemi nesetkáme, neboť v atmosféře obsahující kyslík jsou nestabilní. Podíváme-li se na Cháron, což je měsíc Pluta, který je tak velký, že s ním vlastně tvoří binární systém, pozorujeme na něm tmavou čepičku tvořenou právě tholiny. S tholiny se setkáváme i na Titanu, kde byl jejich vznik poprvé popsán, a také na řadě dalších těles, například na Tritonu nebo Europě. Složitě molekuly organických látek obsahující desítky až stovky uhlíkových atomů nalézáme i jinde, např. v podpovrchovém oceánu na Enceladu.“

Je tedy Enceladus zatím nejzřetelnějším kandidátem na mimozemský život?

„O Enceladu toho dnes víme opravdu hodně, známe jeho vnitřní strukturu a víme, že jsou tam organické látky potřebné pro udržení života. Poměrně velké množství tamního molekulárního vodíku by mohly využít jako zdroj energie jednoduché organismy konzumující vodík a produkující metan. Enceladus má na dně svého oceánu útvary podobající se černým kuřákům, které známe z moří na Zemi a které někteří badatelé spojují se vznikem života. Co nás ale znepokojuje, je skutečnost, že jde o velmi malé těleso, jehož termální stabilita je zcela závislá na slapovém zahřívání. Mnohem nadějnějším kandidátem je z astrobiologického hlediska Europa; je mnohem větší než Enceladus a teplo potřebné k udržení oceánu získává také z rozpadu radioaktivních prvků v silikátovém plášti, což je velmi stabilní zdroj zahřívání.“

Jak víme, že jsou na Enceladu organické látky? Jakým způsobem byly detekovány?

„Při pečlivé analýze částic vyvržených z gejzírů Enceladu byly v rámci mise Cassini detekovány fragmenty složitých polymerních organických sloučenin. Ukazuje se, že na povrchu Enceladova oceánu, tedy na hranici mezi oceánem a ledovou slupkou, existuje tenoučká emulze tvořená organickými látkami, které se tam dostávají z větších hloubek. Při



Charon, největší měsíc Pluta. Tmavá skvrna v blízkosti pólu, neformálně označovaná jako Mordor, je pravděpodobně tvořena tholiny. Snímek byl pořízen sondou New Horizons v roce 2015.

výtrysku gejzírů tato emulze obalí kapičky vody, které jsou pak vyvrženy do prostoru, kde mohou být po zachytu sondou studovány pomocí hmotnostního spektrometru. Do prostoru je ale vyvržen zřejmě jen velmi malý vzorek organických látek, které dnes v nitru Enceladu existují. Někteří vědci dokonce hovoří o tom, že by jádro Enceladu mohlo obsahovat až 20% organických látek, ale to je zatím čirá spekulace.“

Můžeme z přítomnosti organických látek na Enceladu usuzovat něco o existenci jednoduchých forem života v jeho nitru?

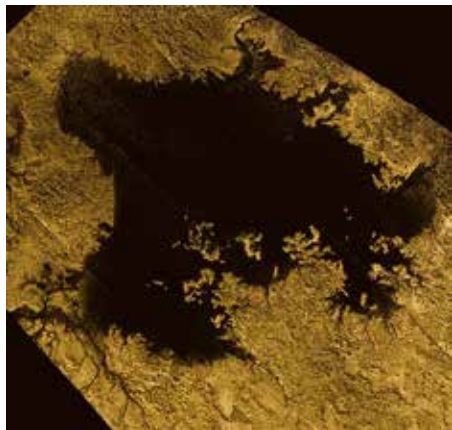
„Tak daleko bohužel zatím nejsme. Skutečnost, že se ve Sluneční soustavě setkáváme s organickými látkami, ještě neznamená, že tyto látky vznikly činností mikroorganismů. Podívejme se například na metan. Ten vzniká jako odpadní produkt při činnosti metanogenních organismů, ale také anorganickou cestou při reakci silikátových hornin s vodou.“

Hovoříme o možném primitivním životě v podpovrchových oceánech. Ale jak by mohl fungovat bez fotosyntézy?

„Fotosyntéza má skutečně pro současný život na Zemi klíčový význam. Neznamená to ale, že první život na Zemi fungoval právě takto. V počátcích vývoje bylo na Zemi z dnešního



Povrch Saturnova měsíce Enceladu svědčí o probíhající geologické aktivitě. Snímek byl pořízen v průběhu mise Cassini (2004 – 2017).



Sonda Cassini-Huygens objevila na povrchu Titanu rozsáhlá jezera tvořená uhlovodíky.

hlediska velmi agresivní prostředí, neexistovala například ochranná ozonová vrstva. Podle jedné z hypotéz vznikl život na dně moří, tedy v temnotě a bez přítomnosti molekulárního kyslíku. V takových podmínkách nemohlo k fotosyntéze docházet, a život si tedy musel hledat jiné zdroje energie, než je světlo. **Máte na mysli některé z extrémofilních organismů?**

„Ano, dnes víme, že některé formy života tolerují nebo přímo vyhledávají extrémní podmínky a získávají energii velmi rozmanitým způsobem. Autotrofní výživa, kdy si mikroorganismy vytvářejí vlastní organické látky z anorganických látek ve svém okolí, je poměrně komplikovaná, navíc může být založena na i jiných zdrojích energie, než je světlo. V raném oceánu na Zemi jistě existovaly organické látky a první život mohl být heterotrofní, kdy si mikroorganismy budovaly své skelety z organických látek přítomných v oceánu a získávaly z nich také energii. Ne nutně k tomu potřebovaly světlo.“

V souvislosti s chybějící fotosyntézou se hovořilo i o případném životě na Europě, že?

„Když se v 70. letech 20. století začalo mluvit o životě na Europě, kritici namítali, že život potřebuje ke své existenci světlo. Od té doby ale byla na Zemi popsána řada organismů, jejichž existence je na fotosyntéze nezávislá. Díky tomu dnes víme, že život může existovat velmi rozmanitým způsobem a ve velmi rozmanitých podmínkách. Z hlediska astrobiologie mělo studium extrémofilních organismů zásadní význam, neboť výrazně posunulo naše představy o podmínkách, v nichž může život existovat.“

Od pátrání po vodě jsme se dostali až k otázce vzniku života. Zkoušíte simulovat podobné prostředí vhodné pro vznik života?

„Ano, podílíme se na projektu OASIS (Organics and Aqueous Systems in Icy Satellites), který organizují naši kolegové ve francouzském Nantes. Cílem je simulovat podmínky, které existují v oceánu na Enceladu, zjistit, jak reaguje voda s horninami, které tvoří Enceladovo jádro, a jaké organické látky a na jaké časové škále při tom mohou vznikat. Nezabýváme se tedy vznikem života, ale snažíme se zjistit, zda jsou v oceánu na Enceladu vhodné podmínky pro jeho udržení.“

Přesto se nám vytvořit živé z neživého dosud nepodařilo. Čím to?

„Snad proto, že je mnohem jednodušší hledat stabilní prostředí bohaté na organické látky než zjišťovat, jak z těchto organických sloučenin mohla vzniknout informační molekula typu RNA nebo DNA, která se sama replikuje. Otázka vzniku života je jedna ze základních otázek, které lidstvo řeší, a k jejímu zodpovězení máme, obávám se, ještě velmi daleko. Pokud v budoucnosti zjistíme, že ve Sluneční soustavě existují rozsáhlé oblasti, kde by život mohl existovat, a on tam přitom není, můžeme z toho usuzovat, že vznik života je skutečně komplikovaný a spontánně nevzniká všude, kde má vhodné podmínky. Pokud ale život ve Sluneční soustavě v příštích desetiletích nalezneme, ať už na Marsu nebo na ledových tělesech, bude to znamenat, že život, alespoň ten primitivní, je běžnější, než jsme si mysleli, a pravděpodobně existuje i v jiných planetárních soustavách.“

Proč vznikl život právě na Zemi, když jsou vzdálenější konci Sluneční soustavy jsou podmínky mnohem příznivější?

„Máte pravdu, ve vnějších oblastech Sluneční soustavy je více vody a zřejmě i více organických látek než na Zemi. Nevíme, proč vznikl život právě na Zemi. Jisté však je, že v porovnání s ostatními tělesy má Země řadu výhod: Měsíc, který stabilizuje její rotaci, magnetické pole, které ji chrání před vysokoenergetickými částicemi ze Slunce, její geologický vývoj určuje pohyb litosférických desek na povrchu, který udržuje na uzdě skleníkový efekt. Díky ideální hustotě atmosféry pak může voda existovat volně na povrchu. Nevíme však, zda třeba Mars, Venuše nebo Europa neměly v dávných dobách podmínky podobně příznivé. Život tam mohl vzniknout, ale v důsledku nějaké závažné změny prostředí mohl později zaniknout.“

Plánují se nějaké další mise ke vzdáleným objektům Sluneční soustavy?

„Takových misí bylo naplánováno v minulosti několik, ale ani jedna nakonec nebyla financována. O Jupiteru a Saturnu a jejich měsících jsme se toho hodně dověděli díky misím Galileo a Cassini-Huygens. O vzdálenějších tělesech máme mnohem méně informací, protože v případě sond Voyager 2 a New Horizons šlo pouze o průlety. Zásadním problémem při plánování sond k Uranu a Neptunu je trvání projektu. Pokud bude nakonec finančně podpořena mise Trident k Neptunu a Tritonu, pak první data z této mise budeme mít nejdříve v roce 2038. Jen málo vědců je ochotno čekat tak dlouho a jen málo politiků má chuť podpořit projekt, který svou délkou mnohonásobně překračuje délku jejich volebního období.“

A o kterých sondách k ledovým obrům či jejich měsícům se nyní uvažuje?

„Sonda Trident k Neptunu by měla odstartovat v roce

2026, ale zatím nemá zajištěno financování. Z úsporných důvodů nebude sonda navedena na oběžnou dráhu kolem Neptunu, ale půjde opět pouze o průlet. K Uranu je plánována mise MUSE (Mission to Uranus for Science and Exploration) agentury ESA, která by měla odstartovat v roce 2026 a na oběžnou dráhu Uranu by se měla dostat v letech 2044 – 2050. Také se hovoří o sondě ODINUS (Origins, Dynamics, and Interiors of the Neptunian and Uranian Systems), což by byla vlastně binární mise, kdy by jedna část sondy letěla k Uranu a druhá k Neptunu. Její start by se měl uskutečnit v roce 2034.“

Je hledání mimozemského života ve Sluneční soustavě pro NASA prioritou?

„Pro NASA jde o jednu z hlavních priorit. V programu středně velkých sond New Frontiers byla nedávno schválena mise Dragonfly (Vážka), která by měla studovat 'prebiotickou chemii a habitabilitu' různých míst na Titanu. Technicky půjde o dron s osmi vrtulemi, který prozkoumá několik lokalit, vytipovaných díky pozorováním z mise Cassini. Už dříve byla schválena sonda Europa Clipper, která bude hledat známky života na Europě. Výhledově se plánuje, že na povrchu Europy bude vysazen také přistávací modul s kryobotem.“

Na závěr bych se ráda zeptala, co si myslíte o možnostech života na měsících ledových obrů vy osobně?

„Mezi svými kolegy patřím spíš mezi skeptické optimisty. Moje skepse pramení z toho, že jsme ve vesmíru, ať už v tom nejbližším nebo vzdáleném, žádnou stopu života zatím neobjevili. Optimismus je pak dán mým osobním založením – abych citoval klasika, snažím se věřit tomu, že vesmír je víc než jen kus bláta. Pokud najdeme známky života ve Sluneční soustavě, bude to pro mě dobrá zpráva.“

Jana Žďárská
Fyzikální ústav AV ČR



Prof. RNDr. Ondřej Čadek, CSc. (*1960) absolvoval Matematicko-fyzikální fakultu Univerzity Karlovy (MFF UK, obor geofyzika, RNDr. 1984, CSc. 1991, prof. 2015). Od roku 1985 působí na katedře geofyziky MFF UK, kde v současnosti vykonává funkci vedoucího pracoviště. Na konci 90. let pobýval jako hostující profesor na École normale supérieure v Paříži, v roce 2004 získal titul Gauss-Professeur na univerzitě v Göttingen. Zabývá se geofyzikálním studiem planet a jejich měsíců. Od roku 2017 je členem Učené společnosti České republiky.