

Znamená metan na Marsu také život na Marsu?

Mars, planeta blízka a podobná Zemi, vzbuzovala zájem již v dávné historii. Už tehdy vědci uvažovali, že by na ní mohl existovat život. Postupně lidstvo na Mars vyslalo mnoho automatických sond, které se pohybovaly jak na jeho oběžné dráze, tak i na povrchu (robotická vozítka). Díky tomu máme o Marsu, především o jeho chemickém složení, velmi konkrétní informace. Když byl na Marsu detekován biogenní plyn metan, rozhořela se mezi vědci vzrušená diskuse o významu tohoto faktu. Protože metan známe ze Země jako produkt živočišného původu, hledal se jeho možný zdroj. Uvažovalo se o něm jako o možném produktu sopečné činnosti, ale ve skrytu duše vědci doufali, že by marsovský metan mohl signalizovat i život – být zřejmě pouze na mikroskopické úrovni.

O tom, že by mohlo existovat i jiné, abiogenní vysvětlení původu metanu na Marsu, jsme hovořili s fyzikálním chemikem prof. RNDr. Svatoplukem Civišem, DSc., z Ústavu fyzikální chemie J. Heyrovského Akademie věd České republiky.

Chemické složení Marsu je díky datům z marsovských automatických sond a robotických vozítek poměrně dobře zmapované. Jaké informace jsme se díky nim mohli dozvědět?

„Všechny tyto mise přinesly úžasné informace o složení povrchu Marsu, který je pokryt tzv. regolitem – tedy oxidickými materiály typu Fe_2O_3 , TiO_2 , SiO_2 , jež dávají planetě Mars její typické zabarvení. Víme také, že povrch Marsu, na rozdíl od planety Země, obsahuje poměrně velké koncentrace chloristanů, chlorečnanů, alkalických kovů nebo kovů alkalických zemin včetně síry.“

Nakolik nepřátelské jsou tyto podmínky pro organické látky na Marsu?

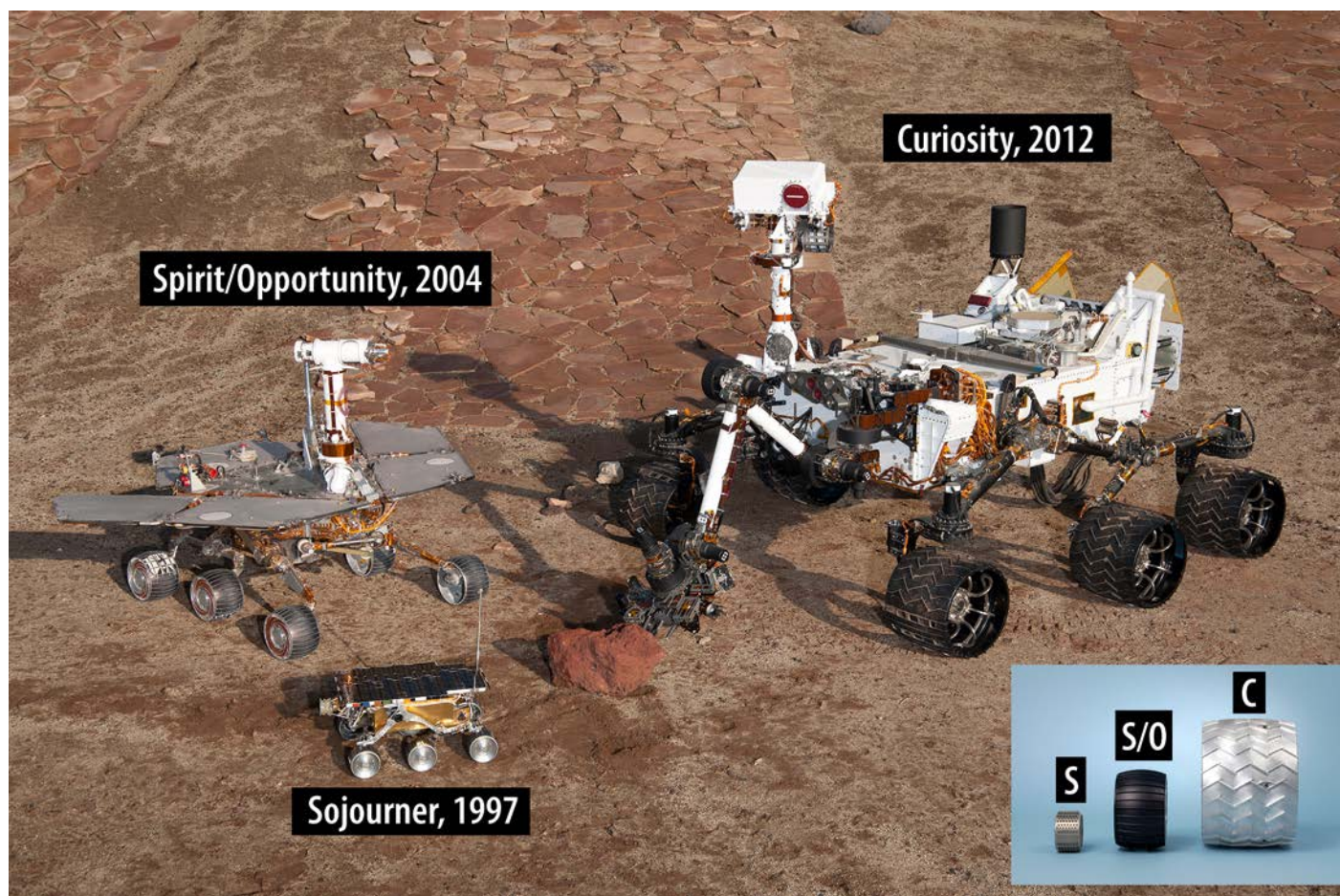
„Reaktivita zmíněných chemikálií v kombinaci s marsovskými horninami představuje pro vědu jednu velkou neznámou. Experimenty zabývající se detekcí (a vůbec zjistitelností) přítomnosti organických látek a života na Marsu, se potýkají s kombinovaným působením tvrdého záření, fotochemických procesů a reaktivních látek, jako jsou zmiňované chlorečnany a chloristany na jeho povrchu. Udává se, že takto nepřátelský může být povrch planety až do hloubky několika metrů.“

Co tedy o složení Marsu dnes víme a jaké důležité informace různé marsovské mise přinesly?

„O červené planetě a jejím povrchu je toho již známo hodně. Na Zem dopadly meteority, vykazující marťanský původ. Na planetě Mars úspěšně přistály americké pozemní sondy Viking již v roce 1976, s nimi i sonda Pathfinder, která na Mars v roce 1997 dopravila dvanáctikilové vozítko Sojourner. Následovala robotická vozítka Spirit a Opportunity v roce 2004. Obrovské množství informací předal robot Curiosity, v únoru 2021 přistála na povrchu Marsu sonda Perseverance.“

Jaké vědecké přístroje nesou marsovská robotická vozítka?

„Důležitou roli hrají spektrometry (infračervené a hmotnostní), schopné analyzovat jak pevný povrch Marsu, tak i složení atmosféry. Pro analýzu povrchu se používá kamerový komplex ChemCam. Jde o metodu LIBS, anglicky laser induced breakdown spectroscopy, kdy se laserem odpaří kousíček horniny, který může být vzdálen až 7 metrů, a následně je detegováno emisní spektrum v širokém pásmu viditelného spektra; toto spektrum pak slouží



k identifikaci složení odpařené horniny nebo minerálu. Pro účely mineralogie a chemie se využívá práškový difraktometr a fluorescenční spektrometr. Další systém, Sample Analysis at Mars (SAM) se skládá z kvadrupolového hmotového spektrometru, plynového chromatografu a laditelného laser diodového spektrometru. Slouží k analýze pevných organických sloučenin či atmosférických plynů.

Co nám tyto přístroje mohou o Marsu sdělit?

„Poskytují precizní diagnostiku kyslíku, oxidu uhličitého, vodní páry a metanu v marsovské atmosféře s cílem rozlišit jejich buď biologický, nebo geochemický původ. Tím výčet nekončí. Zařízení nainstalovaných na robotickém vozítku Curiosity je mnohem více a jejich seznam přesahuje možnosti tohoto rozhovoru, proto doporučuji čtenářům návštěvu internetové stránky <https://mars.nasa.gov/msl/spacecraft/instruments/summary/>.“

Při pozorování vesmírných objektů vědci pátrají mimo jiné i po biogenních sloučeninách, jež by mohly signalizovat přítomnost života. Metan je považován za prvek živočišného původu. Co by však jeho výskyt mohl signalizovat na Marsu?

„Curiosity pomocí laser diodové vysoce rozlišitelné spektroskopie detekovala v atmosféře metan s proměnou koncentrací 1-8 ppm během marsovských ročních období. Samozřejmě to je pro astronomickou obec úžasná informace, za detekcí metanu by se mohl skrývat marsovský život. My víme z pozemských měření, že na Zemi je velká část celkového množství metanu v atmosféře produkována živými organismy, bakteriemi, tedy procesy, kdy v přírodě dochází k odbourávání živočišné organické hmoty. Detekce metanu

na Marsu by tak mohla být signálem života, ukrytého někde pod jeho povrchem. Myslím, že my všichni se shodneme na tom, že náleží životu někde mimo naši planetu by byl úžasným objevem, který by si zasloužil toho největšího uznání. O tom přece lidstvo po celou dobu své existence sní a po tom touží.“

Metan na Marsu je měřen v místech přistání robotických vozítek. Nachází se tento plyn ještě v některých dalších oblastech planety?

„Naše informace o koncentraci metanu je dána polohou a časem těchto robotických vozítek. Mluvili jsme o sondě Curiosity. Ta přistála 6. srpna 2012 v Aeolis Palus uvnitř kráteru Gale. Ten se nachází na jižní polokouli planety, těsně pod rovníkem Marsu. Tento kráter byl vybrán zcela úmyslně, je to místo se zvláštními, pro život specifickými podmínkami, které dávají předpoklad životu na Marsu. Důležitou roli zde hraje i voda a její atmosférická detekce. My víme, že velká část vody je uložena na marsovských pólech ve formě ledu společně se suchým ledem, tvořeným oxidem uhličitým.“

Co by mohl znamenat výskyt metanu na Marsu – mohlo by se jednat o výsledek sopečné činnosti?

„Opět jednoduchá otázka, na kterou je však složitější odpověď. Ve stručnosti uvolňování metanu na Marsu může předcházet celá řada dějů. Například regolit v Gale kráteru, tedy v místě, kde se pohybovalo vozítko Curiosity, může adsorbovat v určitém ročním období metan (suché období) a k jeho uvolňování dochází za vlhčích podmínek marsovského léta. Další variantou, která předpokládá existenci života na Marsu a kterou bychom rádi potvrdili, je schopnost určitých organismů konvertovat organickou hmotu na metan, podobně

jako na Zemi to dokáží např. *Hydrogenobacter thermophilus* nebo *Helicobacter pylori*. Další alternativu představují podzemní zdroje metanu a jejich povrchová zřídla. Jsou to děje obdobné procesům ukládání metanu a jeho uvolňování v arktické tundře na Zemi.“

Potom se tedy nabízí otázka, zdali by mohl být metan na Marsu důsledkem života?

„Tato rozporuplnost se vysvětluje chemickým složením povrchu. Experimenty zabývající se detekcí (a vůbec zjistitelností) přítomnosti organických látek a života se potýkají s kombinovaným působením tvrdého záření, fotochemických procesů a reaktivních látek, jako jsou peroxid vodíku, chlorečnany a chloristany na povrchu Marsu. Tyto podmínky jsou nepřátelské pro jakékoliv organické látky a reaktivita zmíněných chemikálií v kombinaci s marťanskými horninami představuje pro vědu jednu velkou neznámou. Udává se, že takto nepřátelský může být povrch planety až do hloubky několika metrů. Přesto, první organickou látkou detekovanou na Marsu se stal v roce 2015 chlorbenzen.“

Data, která poskytla Curiosity, vykazují kolísavé hodnoty metanu na Marsu. Dá se tedy jeho výskyt považovat spíše za sezónní?

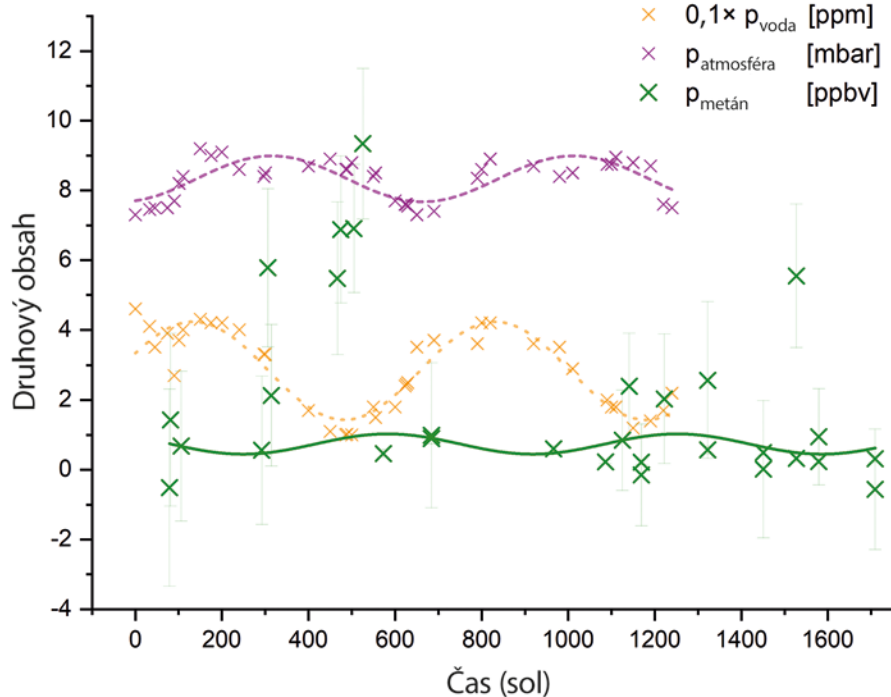
„Když jsme vedle sebe zobrazili koncentrace vody, CO₂ a metanu, data pro vodu jednoznačně oscilovala podle marsovských ročních období. To nás vedlo k myšlence oscilace metanu. Data publikovaná v naší stati v Nature Astronomy na tuto závislost ukazují. Půl roku po zveřejnění našeho článku publikovali zcela identický graf sezónní závislosti kolísání metanu v marsovské atmosféře i vědci z NASA a Jet propulsion Laboratory v časopise Science, kterým jsem přeposlal náš článek v Nature Astronomy ihned po jeho otištění. Musím s povzdechem říci, že naše prognostická studie nebyla citována a američtí vědci si nechali objev pro sebe.“

Co podle vás stojí za oscilací metanu v atmosféře Marsu.

„Ani na toto není lehká odpověď. Zabýváme se již řadu let studiem vlastností nanomateriálů. Máme k tomuto výzkumu osobitý přístup, jiný, než se běžně používá. Většina výzkumných týmů studuje pouze pevný nanomateriál a sleduje, co se s tímto materiálem děje za různých specifických podmínek. My se zaměřujeme převážně na katalytické vlastnosti pevné fáze a sledujeme plynné produkty reakce nanomateriál – plynná fáze. Protože máme k dispozici ojedinělou techniku FT spektroskopie s vysokým rozlišením, můžeme sledovat i molekuly s odlišným izotopickým zastoupením.“

Jaké chemické reakce jste takto zaznamenali?

„Ve spektru od sebe můžeme snadno rozlišit – na základě rotačně vibračních spekter – například molekuly ¹²C¹⁶O₂ od ¹²C¹⁸O₂. Tato technika nám umožňuje pracovat s různými izotopickými substancemi a můžeme si molekuly podle potřeby 'obarvovat'. Když si tímto způsobem molekulu izotopicky označíme, můžeme pak vysledovat, co se s ní během reakce děje. Na základě těchto studií jsme například objevili, že řada pevných oxidických minerálů si dynamicky velice rychle vyměňuje kyslík s plynným oxidem uhličitým. Po-



Sezónní kolísání metanu, CO₂ a vody na Marsu v počtu částic na jeden milion [ppm], počtu částic na jednu miliardu objemu [ppbv], tlaku atmosféry v milibarech [mbar]. Marsovský rok je přibližně dvakrát delší než pozemský.

dobně při ozařování těchto směsí UV zářením v prostředí kyselého vodíku vzniká z CO_2 metan, my tuto reakci nazýváme metanogenezi.“ Uvádíte, že jedním z možných vysvětlení přítomnosti metanu na Marsu by mohla být metanogeneze, tedy abiotická syntéza organických molekul – jakási obdoba fotosyntézy, ale bez přítomnosti živé hmoty. Jak by mohla probíhat v marsovských podmínkách?

„Tímto způsobem lze oxid uhličitý (obsažený v atmosféře Marsu) redukovat na metan. Jedná se o běžnou syntézu organických látek za určitých specifických podmínek, spojenou s fotochemickými pochody iniciovanými UV zářením Slunce. Hlavním atmosférickým plynem marsovské atmosféry je oxid uhličitý (95,3 %). Redukce oxidu uhličitého probíhá na Marsu obdobně jako na Zemi, ale existují i další atmosférické děje, které posouvají rovnováhu zpět k oxidu uhličitému. Je známo, že metan lze opět lehce spálit na molekulu oxidu uhličitého, čímž je vlastně cyklus oxidu uhličitého uzavřen a vrací se nazpět k primárním složkám cyklu CO_2 v atmosféře. Metanogeneze by tedy mohla být pro výskyt metanu na Marsu dobrým vysvětlením. Zdali na Marsu paralelně vedle těchto jevů existuje i život však zřejmě ukáží až budoucí objevy lidstva.“

Mnoho studií ukázalo, že tímto způsobem lze oxid uhličitý redukovat na metan. Kolik metanu by takto mohlo za celou historii Marsu vzniknout?

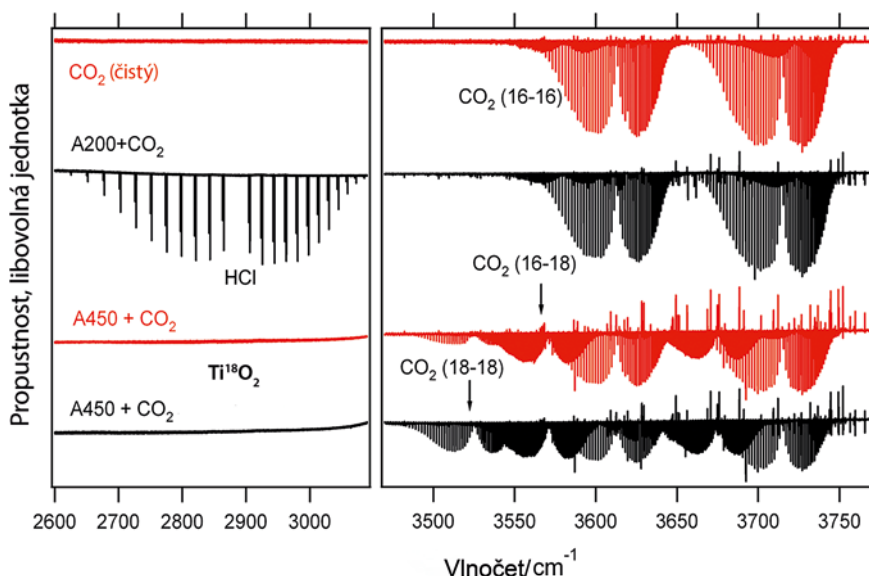
„Jedná se o běžnou syntézu organických látek za určitých specifických podmínek, spojenou s fotochemickými pochody iniciovanými UV zářením Slunce. Vezmeme-li v úvahu složení povrchu Marsu: Al_2O_3 , TiO_2 , Fe_2O_3 , povrch Marsu 144 798 500 km^2 , mohlo za celou historii Marsu, tedy 4,5 miliard let, vzniknout až $1,54 \times 10^{14}$ tun CH_4 .“

Marsovská atmosféra je popisována jako atmosféra silně oxidovaného typu s vysokým obsahem oxidu uhličitého, v níž jsou chemické reakce řízeny především UV zářením ze Slunce. Jaké je její složení?

„Hlavním atmosférickým plynem je oxid uhličitý (95,3 %), objevený již v roce 1947 Gerardem Peterem Kuiperem, když korigoval proti svitu Měsíce spektroskopický záznam záření Marsu v blízké infračervené oblasti. Oxid uhličitý je následován dusíkem (2,7 %), argonem (1,6 %), kyslíkem (0,13 %), oxidem uhelnatým (0,07 %) a vodní párou (do 300 ppm). Tlak na povrchu se pohybuje mezi 600 a 1 000 Pa (s extrémy 30 Pa na vrcholu Olympus Mons až 1 155 Pa v oblasti Hellas Planitia). Je to přibližně 100 až 150krát méně než na povrchu Země; odpovídá to tlaku zhruba ve výšce 30 km nad zemským povrchem (průměrný tlak na povrchu Země je 101,3 kPa). Podobně jako na Zemi ale dochází k sezónním změnám v atmosféře, jak se planeta k Slunci přibližuje a oddaluje se od něj. V zimě 25 – 30 % atmosférického oxidu uhličitého zmrzne na pólech, zatímco v létě opět sublimuje a vrací se do atmosféry.“

Pro možnost života je důležitá chemie oxidu uhličitého v atmosféře. Jak probíhá na Zemi a jak by mohla fungovat na Marsu?

„Redukce oxidu uhličitého probíhá na Zemi podobně jako na Marsu, ale existují další at-



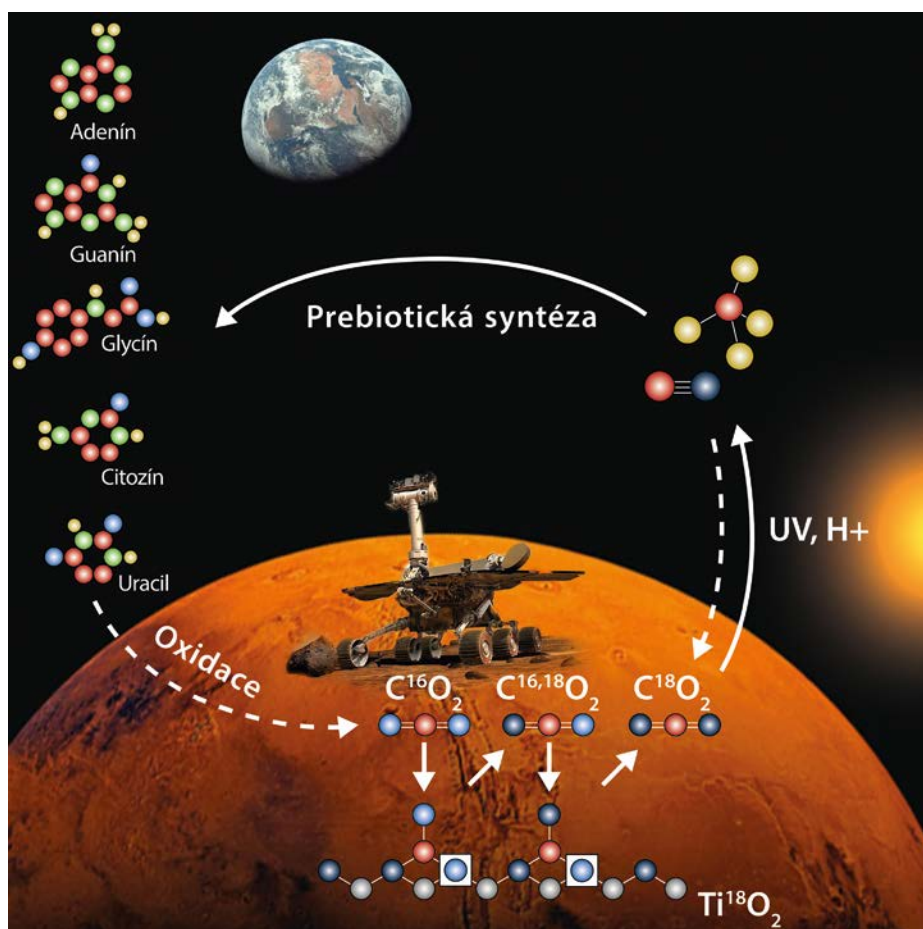
Výměna kyslíku mezi Ti^{18}O_2 a CO_2 . Na základě měření infračervených spekter můžete vidět jak se mění složení plynné fáze v čase. Horní část obrázku zachycuje spektrum C^{16}O_2 s kyselinou před přidáním Ti^{18}O_2 . Při reakci C^{16}O_2 s povrchem Ti^{18}O_2 dojde k výměně kyslíků mezi pevnou a plynnou fází a ve směsi vzniká celá řada molekul oxidu uhličitého s různou kombinací kyslíku ^{16}O a ^{18}O - viz spodní spektrum.

mosférické děje, které posouvají rovnováhu zpět k oxidu uhličitému. Všichni víme, že metan se dá opět lehce spálit na molekulu oxidu uhličitého. Tím je vlastně cyklus oxidu uhličitého uzavřen a vrací se nazpět k primárním složkám cyklu CO_2 v atmosféře. V rámci

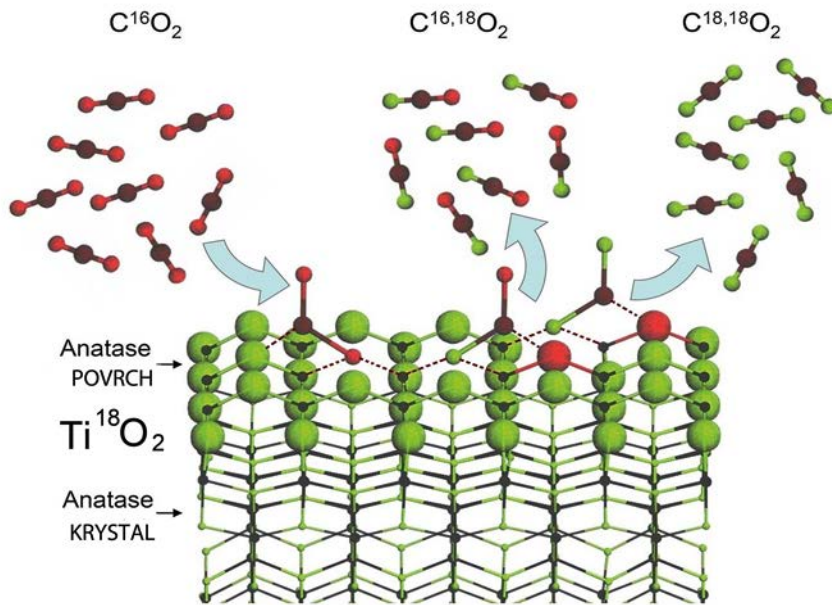
našich experimentů jsme pozorovali interakci mezi plynným CO_2 a polovodičovým minerálním povrchem.“

Jak tato reakce probíhá?

„Atomy kyslíku jsou dynamicky vyměňovány mezi minerály obsahujícími kyslík a plynným



Cyklus oxidu uhličitého na Marsu. Za určitých okolností (Velké pozdní bombardování Marsu před 3,5 miliardami let) mohlo docházet i k syntéze složitějších biogenních molekul (například báze nukleových kyselin).



Dynamická výměna atomů kyslíku mezi plynným oxidem uhličitým a krystalickým povrchem izotopicky značeného (^{18}O) Ti^{18}O_2 .

oxidem uhličitým. Tato překvapivá vlastnost, která je často opomíjena, naznačuje, že hranice mezi plynnou fází a pevnou fází není zcela inertní a i pokojová teplota může být dostatečná pro umožnění této interakce. Kromě toho výměna atomů kyslíku není omezena pouze na oxid titaničitý, jehož vlastnosti jsme detailně studovali v naší laboratoři. Ukazuje se, že na základě dalších studií může celá řada přírodních oxidických minerálů s CO_2 reagovat obdobným způsobem.“

Fotokatalytická redukce oxidu uhličitého na metan, metanol a další sloučeniny obsahující uhlík probíhá v kyselém redukčním prostředí. Je tento proces spojen se štěpením vody, která byla na Marsu detekována?

„V našich laboratorních experimentech jsme testovali přímou fotochemickou reakci pevných oxidů s plynnou molekulou vody. K redukci CO_2 na metan docházelo, avšak velice pomalu a s malým výtěžkem. Daleko lépe se nám osvědčila redukce CO_2 v kyselém prostředí některé minerální kyseliny, např. HCl nebo H_2SO_4 . Tyto reakce probíhaly daleko rychleji a s větším efektivním výtěžkem.“

Co by v tomto případě bylo oxidačními produkty této reakce?

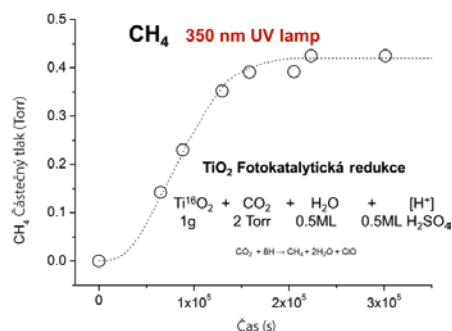
„Vezmeme-li v úvahu naši reakci CO_2 na povrchu TiO_2 , v kyselém prostředí kyseliny chlorovodíkové, pak by mohly být oxidačními produkty již zmíněné chlorečnany a chloristany. Zabývali jsme se tímto problémem skoro dva roky. K řešení jsme použili fotoelektronovou spektroskopii (metodu ESCA) a skutečně jsme v reakčních produktech identifikovali chloristany a chlorečnany.“

Dalo by se to chápat tak, že by tím vaše teorie metanogeneze nabyla dalšího rozměru?

„Myslím, že ano. Vysvětlilo by to i ohromné množství chlorečnanů a chloristanů alkalických zemí na povrchu Marsu a nepřítomnost HCl v atmosféře. Je zajímavé, že o detekci HCl se vědci pokoušeli jak pozemskými

technikami, tak in-situ marsovskými, ale HCl na Marsu identifikována dosud nebyla. Až dnes, právě v době našeho rozhovoru, byla v časopise *Science Advances* prezentována detekce HCl na Marsu v koncentracích obdobných metanu. Bližší informace může čtenář nalézt na <https://advances.sciencemag.org/content/7/7/eabe4386>. Z našeho pohledu molekuly HCl slouží jako donor vodíku při fotokatalytické redukci CO_2 na minerálním povrchu. Jak je vidět, tento proces stále probíhá. Dá se však říci, že většina kyseliny chlorovodíkové (zbylý chlor po redukci) se již přeměnil (oxidoval) do vzniklých alkalických chlorečnanů a chloristanů, které kontaminují marsovský povrch až do hloubky skoro 70 cm. Dnešní informace o detekci HCl na Marsu v téměř totožných koncentracích s metanem je pro mě nesmírně potěšující a je dalším dílkem, který zapadá do celkové skládačky procesů vedoucích k pomyslné abiotické přeměně oxidu uhličitého na metan v marsovských podmínkách.“

Domníváte se tedy, že by byla metanogeneze vhodnějším vysvětlením existence metanu



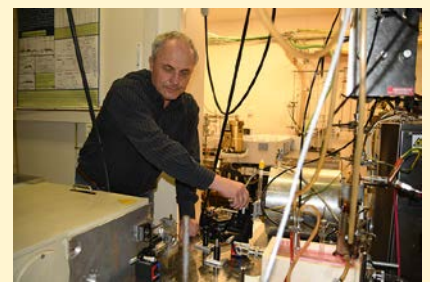
Fotokatalytická redukce CO_2 na metan v kyselém prostředí kyseliny sírové. Graf byl konstruován na základě měření infračervených spekter metanu při ozařování směsí UV lampou.

na Marsu než přítomnost života, ať už v jakékoliv formě?

„Metanogeneze je jedním z jevů, o kterých jsem přesvědčen, že na Marsu probíhá. Pomocí fotochemických reakcí lze vysvětlit jak vznik metanu a organické hmoty jak na Marsu, tak i na Saturnově měsíci Titanu. Zda paralelně vedle těchto jevů ve vesmíru existuje život, to ukážou až budoucí objevy lidstva. Naše teorie metanogeneze pravděpodobně nestačí k úplnému vysvětlení všech planetárních jevů, ale rozhodně hraje svou roli a měla by být zahrnuta do všech modelů planetární chemie. Metanogeneze samozřejmě hraje významnou roli i na Zemi. Při pohledu zpět v čas můžeme dobře sledovat, že k redukčním procesům oxidu uhličitého skutečně muselo v prostředí rané Země docházet, čímž se dynamicky měnil redoxní stav naší atmosféry. V důsledku toho by organická nebo prebiotická syntéza mohla probíhat mnohem snadněji způsobem a mohla sehrát důležitou roli při formování života na naší planetě.“

Děkuji za rozhovor.

Jana Žďárská, Fyzikální ústav AV ČR



Prof. RNDr. Svatopluk Civiš, CSc., narozen v roce 1955, absolvoval Přírodovědeckou fakultu Univerzity Karlovy obor chemie, RNDr. 1980, CSc. 1986, prof. 2012). Od roku 1990 působí na Ústavu fyzikální chemie J. Heyrovského, AV ČR, kde vykonává funkci vedoucího oddělení Spektroskopie. V roce 1988 obdržel prestižní stipendium – Alexander von Humboldt Fellowship a na univerzitě Justuse Liebiga v německém Giessenu se věnoval studiu a experimentální detekci infračervených spekter molekulárních iontů. Po dvou letech v Německu se vrátil zpět do Ústavu fyzikální chemie J. Heyrovského, kde začal rozvíjet laboratorní techniky spektroskopie vysokého rozlišení. V roce 1992 obdržel pozvání od nositele Nobelovy ceny G. Herzberga a dva roky pracoval v Herzbergově institutu pro astrofyziku, NRC, v kanadském městě Ottawa. V roce 1994 se vrátil do mateřského ústavu a jeho současná vědecká činnost je zaměřena především na aplikace využívající experimentální techniky spektroskopie s Fourierovou transformací ve spojení s lasery. Je autorem více než 180 publikací, byl a je řešitelem nebo spoluřešitelem více než 20 mezinárodních (evropské, japonské) a českých grantů. Od roku 2015 zastupuje Českou republiku v Mezinárodní astronomické unii.