

# Nalezne Perseverance původce metanu na Marsu?

Svatopluk Civiš<sup>1</sup>, Jana Žďárská<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Ústav fyzikální chemie J. Heyrovského AV ČR, Dolejškova 2155/3, 182 28 Praha 8, Kobylisy

<sup>2</sup>Fyzikální ústav AV ČR, Na Slovance 2, 182 21 Praha 8

Mars jako planeta blízka a podobná Zemi vzbuzoval zájem badatelů odedávna. Vědci už kdysi uvažovali, že by na něm mohl existovat život. Postupně lidstvo na Mars vyslalo mnoho automatických sond, které pracovaly jak na jeho oběžné dráze, tak i na jeho povrchu. Díky této skutečnosti máme o Marsu a především o jeho chemickém složení velmi konkrétní informace. Když byl na Marsu detekován biogenní plyn metan, rozhořela se mezi vědci vzrušená diskuze o tom, co by tento fakt mohl znamenat. Protože metan je znám ze Země jako produkt živočišného původu, pátralo se po jeho možném zdroji. Uvažovalo se o něm jako o případném produktu sopečné činnosti, ale ve skrytu duše vědci doufali, že by marsovský metan mohl signalizovat i život – byť zřejmě na mikroskopické úrovni. Nyní po jeho zdroji pátrá rover Perseverance a lidstvo čeká na další zprávy. O tom, co by mohla Perseverance přinést k vysvětlení původu metanu na Marsu, jsme hovořili s významným fyzikálním chemikem prof. RNDr. Svatooplukem Civišem, DSc., z Ústavu fyzikální chemie J. Heyrovského AV ČR.

Chemické složení Marsu je díky datům z „marsovských“ automatických sond a robotických vozítek poměrně dobře zmapované. Všechny tyto mise přinesly úžasné informace o složení povrchu této planety, který je pokryt tzv. regolitem – horninou ze skupi-



**Obr. 1** Klíčovým cílem mise Perseverance na Marsu je astrobiologie, včetně hledání známek starodávného mikrobiálního života. Rover bude charakterizovat geologii planety a minulé podnebí, připraví půdu pro lidský průzkum Rudé planety a bude první misí pro sběr a ukládání marťanské horniny a regolitu (rozbitá skála a prach). Foto: NASA/JPL-Caltech

ny čedičů, avšak s vyšším zastoupením křemičitanů, než mají pozemské čediče – a oxidickými materiály typu 15,5 %  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , 0,76 %  $\text{TiO}_2$  a 6,8 %  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , jež dává jí planetě Mars její typické zbarvení. Za načervenalou barvu povrchu Marsu jsou odpovědné především oxidy železa. Víme také, že povrch Marsu na rozdíl od planety Země obsahuje poměrně velké koncentrace chloristanů, chlorečnanů, alkalických kovů nebo kovů alkalických zemin včetně síry. Experimenty zabývající se detekcí 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. Tyto podmínky jsou vysoce 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.

Skutečnost, že na Marsu metan je, je bezpečně potvrzena. Co je však jeho původcem? Mohl by metan na Marsu znamenat život, podle toho, jak známe původce metanu ze Země? Potvrzení života na naší nejbližší planetě by bylo jistě zprávou století i potvrzením mnoha vědeckých teorií. Existuje však i další vysvětlení přítomnosti tohoto plynu, které o jeho živém původu neuvažuje.

Jedním z možných vysvětlení přítomnosti metanu na Marsu by totiž mohla být metanogeneze, tedy abiotická syntéza organických molekul – jakási obdoba fotosyntézy, ale bez přítomnosti živé hmoty. Tímto způsobem lze oxid uhličitý (obsažený v atmosféře Marsu) na povrchu oxidických minerálů a v kyselém prostředí

dí minerálních kyselin redukovat na metan. Jedná se o běžnou syntézu organických látek za určitých specifických podmínek, která je spojena s fotochemickými pochody iniciovanými UV zářením Slunce.

Hlavním 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 posunují 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  $\text{CO}_2$  v atmosféře. Metanogeneze by tedy mohla být pro výskyt metanu na Marsu dobrým vysvětlením. Zda na Marsu paralelně vedle těchto jevů existuje i život, to zřejmě ukážou až budoucí objevy lidstva.

■ *Jana Žďárská: Vy jste se, pane profesore, po většinu svého vědeckého života zabýval otázkou vzniku „živého z neživého“. Opakoval jste Millerovy pokusy a ve svých výzkumech jste se soustředil i na výzkum vzniku života na Zemi a na Marsu. Nyní se po Marsu pohybuje rover Perseverance mise Mars 2020 agentury NASA, který by mohl přinést důležité odpovědi. Co za zásadní informace od Perseverance očekáváte?*

Svatopluk Civiš: Perseverance bude hledat život. V případě, že život najde, existuje možnost, že za metanem na Marsu jsou bakterie nebo nějaké živé organismy. Pokud život nenajde, je jednoznačně metan pouze produktem abiotické fotochemické redukce  $\text{CO}_2$  na metan. Já osobně se přikláním ke své variantě redukce  $\text{CO}_2$  (viz přítomnost velkého množství chlorchloranů a chloristanů, vznikajících při metanogenezi oxidací chloru, přítomného v kyselině chlorovodíkové na jeho povrchu), i když samozřejmě bych byl nadšený, kdyby se nějaké formy života na Marsu našly.

■ *JŽ: Ještě než se společně vydáme na Mars, mohl byste našim čtenářům sdělit, jak jste se vlastně k fyzikální chemii dostal? Zajímala vás chemie už jako malého kluka, nebo jste měl úplně jiné zájmy?*

SC: Musím říct, že jako kluk jsem se chemii a vědě potažmo vůbec věnovat nechtěl. Zajímal mě především sport, a to opravdu hodně. Dokonce jsem navštěvoval speciální hokejovou sportovní třídu. A čerpám z toho dodnes tím, že jsem si ze sportu odnesl do života jednu velkou morální hodnotu – hrát vždy fér – a také úctu k autoritám. Ovlivněn jsem byl v různých směrech především rodiči a širší rodinou, díky nimž jsem získal určitý cit pro umění a estetické. Jak doma, tak ve škole jsme byli vedeni nejen k exaktním vědám, ale i k umění. Výuka byla více komplexní a všestrannější. Z hlediska výtvarného umění jsem pak byl asi nejvíce ovlivněn právě svým otcem. A tak i když nejsem malíř, jako byl on, dodneška mám dar vidět a rozpoznat dobré výtvarné dílo a o výtvarné umění se stále zajímám.

■ *JŽ: Pocházíte z Českých Budějovic, kde jste prožil své dětství i mládí. Jak na toto své klučičí a poněkud uličnické období vzpomínáte?*

SC: Vzpomínám rád a s potěšením. Narodil jsem se 14. května stejně jako můj dědeček a také jako Karel IV. Byl jsem pěkně divoké dítě. Na všechno jsem měl svůj vlastní názor. V první třídě jsem s kamarády odešel na čundr – první den prázdnin. Došli jsme až do Srubce, 15 kilometrů za Budějovice. Nikdo o nás nevěděl.



**Obr. 2** Brusle a hokejka mě provázejí dosud (Vánoce 1960).  
Foto: Archiv S. Civiše

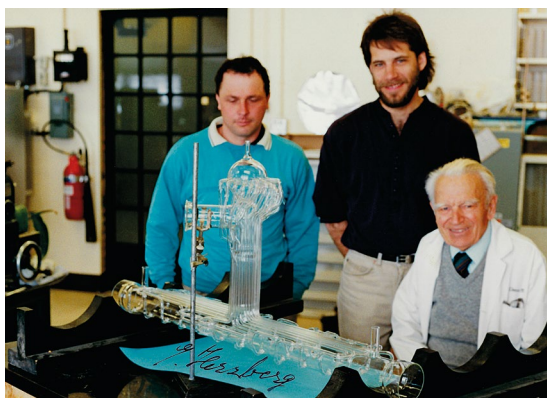
Rodiče se tehdy strašně zlobili. Příští léto mě tedy raději na prázdniny poslali na letní tábor.

■ *JŽ: Na základní škole jste se od páté třídy sportovně věnoval hokeji. A hokeji se rekreačně a rád věnujete dosud. Jak se stalo, že jste se namísto hokejistou stal fyzikálním chemikem? A nemrzí vás to?*

SC: V šesté třídě jsem nastoupil do hokejové třídy. Tehdy byla v Českých Budějovicích postavena úplně nová škola ZDŠ Grünvaldova. Byli jsme první experimentální třída ledního hokeje (1968–1972), bylo nás 30 kluků ve třídě – sami hokejisté a žádná holka. Denně jsme byli na ledě a trénovali jsme. A měli jsme tu nejlepší péči. Starali se o nás skvělí trenéři, byli jsme pod lékařským dohledem a podporoval nás i psycholog. Kontroloval a zapisoval se i náš zdravotní stav pro další výzkum. Byla to krásná doba plná nadšení a sportu. Žil jsem hokejem, sportem a školou. Přesto má tato kapitola mého života takovou zvláštní pachut – to když jsem měl nastoupit na gymnázium. Myslel jsem, že budu v hokejové sportovní kariéře pokračovat a přejdu do hokejového dorostu. Jenže pokračování se nekonalo a pro většinu z nás v dorostu místo nebylo. Začal jsem se tedy věnovat lehké atletice a závodnímu sjezdovému lyžování, protože sport byl a je mou srdeční záležitostí.

■ *JŽ: Ale chemie si vás už tehdy trochu přitáhla drápkem – to když jste pro svého kamaráda vyrobil zmizík, že?*

SC: Na „základce“ ke mně do lavice posadili borce, který se svým matematickým nadáním skončil někde u sčítání zlomků a jehož největším životním výkonem bylo převést zlomek na společného jmenovatele. A tak inkasoval jednu špatnou známku za druhou. A těch špatných známek bylo už tolik, že se bál chodit domů. Tak jsem mu chtěl nějak pomoci a známky mu trochu vylepšit.



**Obř. 3** Společná fotografie z dvouletého pobytu v Herzbergově institutu pro astrofyziku v Otawě (1993). Zleva: sklář Mike, Dr. Svatopluk Civiř a Dr. Gerhard Herzberg, sklářská dílna NRC Kanada, Sussex drive 101. Foto: Archiv S. Civiře

■ *JŽ: Tehdy ale ještě zmizík k prodeji nebyl, jak jste tedy vymyslel jeho složení? A fungoval?*

SC: Fungoval skvěle, i když ne zcela bez zádrhelů. Ale svůj úkol splnil dobře. A jak jsem ho vymyslel? To nebylo zase tak těžké. Tatínek fotografoval a vyvolával filmy doma v koupelně a já si někde přečetl, že se dá vývojkou odbarvit i inkoust. A tak jsem nebožákovi ty pětky vymizíkoval. Ale jak říkám, úplně dokonale to nebylo, protože na papíře zbývaly stopy bromidu stříbrného. A ty byly poněkud hnědé. A tak spolužák našemu třídnímu učiteli statečně vysvětloval, že si občas vylije na žákovskou knížku kafe. Myslím, že to bylo našemu třídnímu všechno jasné, ale nechal nás v tom a věc neřešil. Toho si dodnes strašně cením.

■ *JŽ: Předpokládám, že jako budoucí vědec jste se pokusil o vylepšení svého stávajícího objevu?*

SC: Přesně tak. Samozřejmě mi to nedalo a chtěl jsem vše zdokonalit. Dal jsem si tu práci a testoval jsem, která ingredience z vývojky vlastně odbarvování inkoustu způsobuje. Po krátké detektivní práci jsem zjistil, že hlavním původcem je hydrogensířičitan sodný. Později jsem používal pouze čistý sířičitan, a pak už nebylo po hnědých mapách na papíru „žákovských“ ani památky. A všichni kluci měli najednou docela pěkné známky.

■ *JŽ: Absolvoval jste Přírodovědeckou fakultu Univerzity Karlovy, obor anorganická chemie. Na co ze svého vysokoškolského studia nejraději vzpomínáte?*

SC: Tak zcela jistě na studentský život. Bydleli jsme na kolejích Albertov a to byla opravdu dobrá škola do života, protože jsem poznal zajímavé lidi. Na „patěráku“ s námi bydleli svérázní biologové, kteří chovali různé brouky, třeba madagaskarské šváby, taky mravence, a ti jim průběžně utíkali. Jednou jsem se ráno probudil a měl jsem v posteli hada. A což teprve uklízečka, když každodenně vymetala šváby zpod postelí.

■ *JŽ: A co na pokoji utíkalo vám – snad ne tekutý dusík?*

SC: Málem... Ale říká se, že dobrý chemik je i dobrý kuchař. A kuchařině jsme na fakultě opravdu dělali čest. V laboratorní digestoři jsme pekli kuřata, prostřednictvím dusíku jsme si čepovali pivo a vyráběli zmrzlinu. Ale ke studiu jsme se samozřejmě také dostali. Přes den jsme chodili na přednášky a na praktika a večer do laboroky. Přístup učitelů byl tehdy doslova

famózní – když jsme byli ve čtvrtáku, prostě nám dali klíče od laboroky a my na univerzitě žili a po večerech pracovali na svých diplomových pracích.

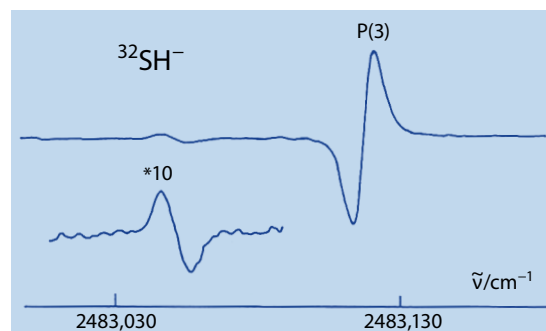
■ *JŽ: Jako student jste podlehl svodům vysoce rozlišené spektroskopie. Co jste chtěl při nástupu do této oblasti výzkumu dokázat a co považujete za svůj největší dosa- vadní vědecký úspěch?*

SC: Bohužel v tehdejší době a v tehdejším Československu spektroskopie vysokého rozlišení neexistovala v experimentální podobě. Existovala však velice silná teoretická skupina význačných vědeckých osobností z oblasti molekulární spektroskopie, do které jsem se jako doktorand zařadil, bohužel bez možnosti laboratorního experimentování. Tak postupně vznikl sen – jednou ve vzdáleném budoucnu implementovat experimentální techniky spektroskopie vysokého rozlišení u nás v Česku a profesionálně je provozovat na některé z zdejších univerzit. Cesta k tomuto cíli byla v mém případě trnitá, jak jednou při mé docentské obhajobě prohlásil Dr. Bohuslav Strauch: „*Per aspera ad astra – trnitou cestou ke hvězdám*“. Nakonec se však zadařilo.

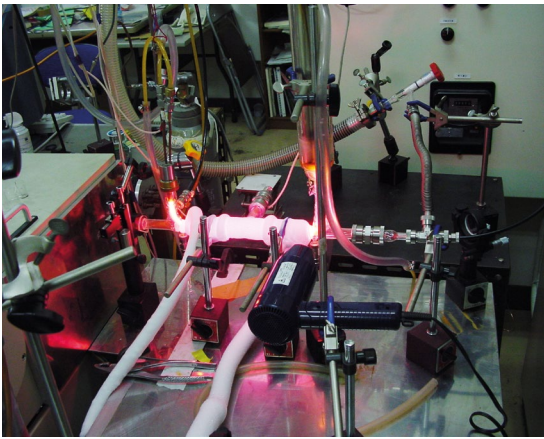
■ *JŽ: Po studiích jste absolvoval důležitou stáž v německém Giessenu. Jaké poznatky jste si odtud přivezl a jakému výzkumu jste se začal poté věnovat v Praze?*

SC: Po návratu do Prahy jsem dostal místo na Ústavu fyzikální chemie J. Heyrovského a začal se věnovat experimentální spektroskopii. Byla to tehdy po revoluci úžasná doba, naplněná optimismem a radostí. Díky velkorysosti Nadace Alexandra Humboldta jsem dostal dar ve výši tehdejších 80 tisíc DM a mohl si koupit laser-diodový spektrometr. Tedy jenom jeho hlavní části, kromě vysokotlakého kompresoru k heliovému kryostatů a monochromátoru. Monochromátor jsme vyrobili podle originálu z Giessenu za pomoci Dr. R. Sovičky, tehdejšího konstruktéra z ústavu. Důležitý vysokotlaký heliový kompresor mi zapůjčil Dr. Strauch z Přírodovědecké fakulty UK. Společně s kolegou Zdeňkem Zelingerem jsme postavili vysokonapěťový modulátor pro tzv. dopplerovskou (rychlostní) modulaci. Postavili jsme jako první v Československu infračervený laser-diodový vysoce rozlišitelný spektrometr, který jsme následně použili k detekci molekulárních iontů.

■ *JŽ: Tehdy jste v Praze detekovali dosud neznámé rotačně-vibrační spektrum záporného iontu  $SD^-$ . Splnil jste si tak svůj sen o detekci záporných iontů?*



**Obř. 4** Jedna z rotačně-vibračních linií záporného iontu měřená pomocí laser-diodové techniky dopplerovské modulace (spektrum  $SH^-$ ). Podle fáze 1f signálu lze okamžitě rozlišit, zda jde o absorpční signál kladného, či záporného iontu. Slabá linie ve spektru s opačnou fází přísluší z největší pravděpodobnosti absorpční linii iontu  $SH_2^+$ .



**Obr. 5** Laboratorní měření molekulárních iontů pomocí vysoce rozlišitelné infračervené spektrometrie s Fourierovou transformací. Obrázek zachycuje výboj uvnitř skleněné kyvety chlazené kapalným dusíkem, který je fokusován do vstupní štěrbině interferometru. Foto: Archiv S. Civiše

SC: Tyto naše pionýrské experimenty pak vedly k celé řadě nových objevů, kdy se mi podařilo na francouzské univerzitě v Lille změřit jako prvním na světě mikrovlnné rotační spektrum záporného iontu ( $\text{SH}^-$ ). O tomto objevu jsme též informovali v našem článku zveřejněném v Československém časopise pro fyziku [1]. Tyto experimenty jasně ukázaly cestu, jakým způsobem záporné ionty detekovat a jak jejich spektra rozlišit od spektrálních linií kladných iontů. Tato cesta byla úspěšně završena astronomickou detekcí iontů  $\text{C}_4\text{H}^-$ ,  $\text{C}_6\text{H}^-$  a dalších ve vesmíru [2].

■ JŽ: Na základě mezinárodní spolupráce v oblasti infračervených laserů jste se seznámil s profesorem Dieterem Haaksem z firmy Aero Lasers v německém Garmisch Partenkirchenu. Co bylo výsledkem vaší spolupráce?

SC: Dieter mně mnohokrát navštívil v Praze i na chalupě na Šumavě. Velice mi pomohl v počátcích našich pražských laboratorních experimentů ochotným zapůjčením celé řady infračervených diodových laserů, bez nichž bychom naše měření neprovedli. Byl to také Dieter Haaks, kdo stál za darem infračerveného spektrometru s Fourierovou transformací Bruker IFS 120, vyřazeného univerzitou ve Wuppertalu, který se po technické úpravě stal význačným analytickým nástrojem naší laboratoře na Ústavu fyzikální chemie J. Heyrovského. Na tomto přístroji se učila spektroskopii vysokého rozlišení většina našich studentů, včetně stávajících vědeckých pracovníků Martina Feruse a Petra Kubelíka.

■ JŽ: Spolupracoval jste s mnoha významnými vědci na světových univerzitách ve Francii, Itálii, Německu a Japonsku. Popsat je všechny by vydalo spíše na knihu. Mohl byste přesto našim čtenářům přiblížit například vaši spolupráci s nositelem Nobelovy ceny G. Herzbergem, se kterým jste dva roky pracoval v Herzbergově institutu pro astrofyziku, NRC, v kanadské Ottawě?

SC: Kanada byla pro mě velkou výzvou. Dostal jsem možnost pracovat ve špičkovém ústavu, kde působili světoví odborníci ve spektroskopii včetně Gerharda Herzberga, držitele Nobelovy ceny [3].

Navic tento ústav navštěvovala spousta dalších skvělých zahraničních odborníků, se kterými jsem se seznámil a mohl diskutovat a plánovat experimenty kdekoli na světě. Herzbergův ústav pro astrochemii

byl samozřejmě špičkově vybaven, takže jsem mohl experimentálně poznat celou řadu nových spektroskopických technik od mikrovln až po ultrafialovou oblast spekter. Tam jsem se také poprvé setkal s vysoce rozlišitelnou spektroskopií s Fourierovou transformací, kdy jsme právě s G. Herzbergem zkoušeli hledat spektrum iontu  $\text{CH}_2^+$ . S Takaioshim Amanem jsme změřili rotační spektrum protonovaného formaldehydu (+), který byl záhy objeven i v mezihvězdných oblacích [4–6].

■ JŽ: Do Kanady jste cestoval s celou svou rodinou – tedy i se třemi malými dětmi. Především pro ně to asi bylo velmi náročné, když neznaly jazyk a ani spolužáky ve škole...

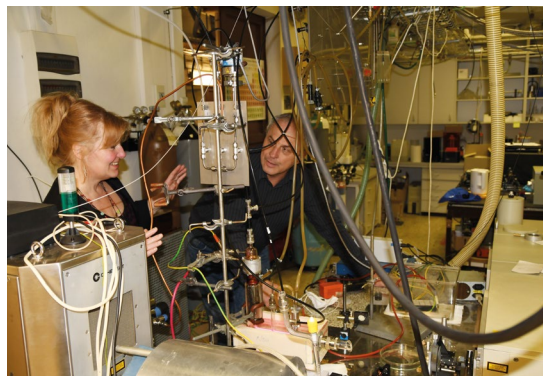
SC: Ano, to už bylo po sametové revoluci, a tak jsme cestovali všichni. Bylo nás pět – já, manželka a tři děti. Každý jsme si mohli s sebou sbalit jen jedno zavazadlo na dva roky pobytu, a tak to bylo docela obtížné. Vzpomínám si, jak jsme stáli na letišti v Ottawě, unavení, s pásmovou nemocí a třemi usmrkanými uplakanými dětmi.

■ JŽ: Ale vaši potomci se adaptovali velmi rychle. Je pravda, že se kanadským učitelům poněkud ulevilo, když zjistili, že odjíždíte?

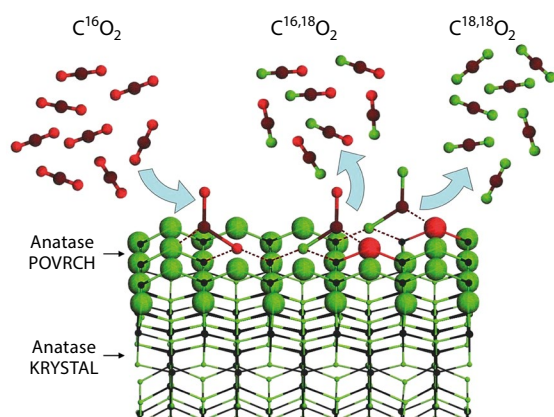
SC: V Ottawě jsme měli pronajatý dům a synové tam poté začali chodit i do školy. Dceři bylo tehdy pět měsíců. Děti to neměly lehké, hlavně mladší syn, který neuměl jazyk vůbec. Ale brzy se aklimatizovaly a nakonec brebentily anglicky i samy mezi sebou. Když jsme po dvou letech z Ottawy odjížděli, vyprávěl nás učitel staršího syna slovy: „Víte, ono je to dobře, že děti jedou do své vlasti, tady v Kanadě jsou tělesné tresty zakázány...“

■ JŽ: V Praze jste prováděl důležité výzkumy s použitím vysoce energetického laseru Asterix (PALS) pro simulaci dějů o vysoké energii. Co bylo hlavním cílem těchto simulací?

SC: Jednalo se sice o paralelní, ale zcela odlišnou oblast mého výzkumu, iniciovaného Dr. Liborem Juhou z Fyzikálního ústavu AV. Hlavním cílem byla simulace dopadu mimozemského tělesa do rané zemské atmosféry a hledání odpovědi na otázku, zda při takto vysokých energiích nedochází v laserové jiskře k syntéze složitějších organických molekul z jednoduchých anorganických prekurzorů typu  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{NH}_3$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{N}_2$  atd. Tento směr výzkumu jsem zahájil v roce 2005 a po-



**Obr. 6** Laboratoř na Ústavu fyzikální chemie J. Heyrovského je vybavena FT spektrometry o vysokém rozlišení, tedy unikátním zařízením na principech časově rozlišené interferometrie s Fourierovou transformací, které dnes existuje ve světě pouze v jednom exempláři. Foto: Archiv S. Civiše



**Obr. 7** Výměna kyslíku mezi krystalickým povrchem  $\text{Ti}^{18}\text{O}_2$  a plynným oxidem uhličitým. Dochází k velice rychlé dynamické výměně atomů kyslíku ve struktuře  $\text{Ti}^{18}\text{O}_2$  a v molekule  $\text{CO}_2$ . U některých kyslíkatých minerálů si pevná fáze s plynným  $\text{CO}_2$  vymění kyslíky řádově v desetinách vteřiny.

kračuje dodnes. Mezitím se nám podařilo díky zvládnutým spektroskopickým a chromatografickým metodám identifikovat v laserové jiskře PALSu nepřeberné množství organických molekul, včetně RNA bází nukleových kyselin. Získané výsledky vedly k publikacím v celé řadě špičkových časopisů včetně časopisů JACS a PNAS.

■ *JŽ: Experimenty na PALSu vygenerovaly další oblast vašeho vědeckého zaměření, kterou je nanotechnologie a její spojení s katalýzou na povrchu polovodičových materiálů. O které výzkumy se jednalo?*

SC: Ve vědě vždy vše navzájem souvisí. Při studiu umělých laboratorně připravených materiálů typu anatase nebo rutilu  $\text{TiO}_2$  nebo později i u celé řady oxidických minerálů jsme objevili velice zajímavou vlastnost, kterou je velice rychlá výměna kyslíkových atomů mezi plynným  $\text{CO}_2$  a pevným povrchem práškového minerálu při pokojové teplotě. Později jsme studovali fotochemickou reaktivitu  $\text{CO}_2$  s povrchem uměle syntetizovaných i přírodních oxidických minerálů. Práce se týkala fotochemického rozkladu vody na vodík a kyslík. Na základě měření plynných spekter reakčních produktů jsme objevili proces fotochemické redukce  $\text{CO}_2$  na metan v kyselém prostředí nebo i za přítomnosti vody. Ve spojení s astronomickými údaji pořízenými vozítkem Curiosity jsme se pokusili objevený metan na Marsu vysvětlit abiotickými fotochemickými procesy na jeho povrchu, silným ultrafialovým zářením dopadajícím na povrch Marsu. Protože jsme laboratorně zkoumali redukci  $\text{CO}_2$  v kyselém prostředí kyseliny chlorovodíkové (donor vodíku), věděli jsme, že dochází k oxidaci chlorového atomu za vzniku kyseliny chlorečné a chloristé.

■ *JŽ: Na Ústavu fyzikální chemie J. Heyrovského jste vybudoval unikátní laboratoř, která napomáhá při astrobiologickém studiu vzniku prebiotických molekul v laserové jiskře či nízkoteplotním výbojovém plazmatu.*

SC: Tato skvělá laboratoř (postavená vlastními silami a vybavená FT spektrometry o vysokém rozlišení, které nemají v České republice konkurenci) zahrnuje unikátní zařízení na principech časově rozlišené interferometrie s Fourierovou transformací, které dnes existuje ve světě pouze v jednom exempláři, a to právě na Ústavu fyzikální chemie J. Heyrovského. Tento systém pracuje celou řadu let, osvědčil se a přispěl obrovskou spoustou nových poznatků z oblasti fundamentální spektro-

skopie, molekulární dynamiky, fyziky atomů a v neposlední řadě dnes slouží jako fundamentální nástroj při astrobiologickém studiu vzniku prebiotických molekul v laserové jiskře či nízkoteplotním výbojovém plazmatu.

■ *JŽ: V roce 2019 se Česká republika stala oficiálně členem konsorcia vesmírné mise Ariel. Jak pohlížíte na současný vesmírný výzkum a co pro vás studium exoplanet znamená?*

SC: Nemohu nezmínit, že naše laboratorní výzkumy také otevřely cestu k exoplanetám a jejich poznávání. Zkušenost s laboratorními spektry oslovila naše kolegy z Anglie (Prof. Jonathan Tennyson, Prof. Giovanna Tinetti, UCL Department of Physics & Astronomy, Director, UCL Centre for Space Exochemistry). Mise Ariel je financována společností ESA a satelit Ariel bude vypuštěn v roce 2029. Plánuje se jeho umístění do bodu LG2 a jeho cílem bude permanentně sledovat více než dva tisíce exoplanet a studovat jejich planetární složení.

■ *JŽ: Inicivoval jste v Praze ustavující shromáždění pro misi Ariel. Jaký typ spolupráce se podařilo na tomto setkání dohodnout?*

SC: Na tomto sjezdu všech evropských řešitelů byly komunikovány detaily českého příspěvku při stavbě satelitu a jeho součástí. Podařilo se mi dohodnout s hlavním koordinátorem mise (Paul Eccleston, ARIEL Payload Consortium Manager, Chief Engineer, RAL Space), že Česká republika bude zodpovědná za výrobu optických prvků pro misi Ariel a za vědeckou část, zaměřenou na přípravu laboratorních dat umožňujících detekci nestabilních a krátce žijících specií v atmosférách exoplanet. Společně s kolegou Martinem Ferusem jsme byli nominováni za Českou republiku do vědeckého konsorcia mise Ariel (Consortium Science Team Coordinators a Consortium Co-PIs). Více o misi Ariel zde [7].

■ *JŽ: Vraťme se nyní zpět k tématu metanu na Marsu. V rámci vašeho výzkumu jste se snažil získat ze základních ingrediencí aminokyseliny, jež mohly stát za vznikem života na Zemi a na Marsu. A následně jste uvažoval nad otázkou výskytu metanu na Marsu. Metanu, který by zde mohl signalizovat život, podobně jak jej známe na Zemi. Když 18. února 2021 Perseverance úspěšně dosedla na marsovský povrch, mohla by prostřednictvím svých výzkumných přístrojů získat odpovědi na tyto otázky. Jaké přístroje rover nese a co by mohl o Marsu zjistit?*

SC: Perseverance nese mimo jiné 25 kamer s vysokým rozlišením (hlavní kamera MastCamZ) a laser pro



**Obr. 8** Rybaření – spolu s hokejem má velká láska. Úlovek cca 25kilového královského lososa (King salmon) na řece Avače (Kamčatka) zhruba dvacet kilometrů na severozápad od jejího ústí do Avačského zálivu Tichého oceánu. Foto: Archiv S. Civiše



Foto: J. Žďárská

**Prof. RNDr. Svatopluk Civiš, DSc.**, narozen v roce 1955, absolvoval Přírodovědeckou fakultu Univerzity Karlovy (PřF UK, 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 získal 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 Ottawě. 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 190 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.

chemický rozbor. Zajímavé je, že je osazena také dvěma mikrofony, díky nimž už lidstvo mohlo slyšet zvuky z Marsu a které zaznamenávají i zvuky roveru při vrtání hornin – z toho bude možné učinit závěry o tvrdosti tamního materiálu. Analýza zvukových záznamů by mohla navíc poskytnout i další nová data o marsovské atmosféře. Perseverance také nese radar Rimfax, jehož dosah je až 10 metrů pod povrch, dále přístroj pro dálkovou chemickou analýzu SuperCam a je na ní umístěna i meteostanice Meda, která bude analyzovat teplotu, tlak, vítr, vlhkost, záření, prašnost a velikost prachových částic. Dalším důležitým přístrojem je zařízení Moxie pro výrobu kyslíku, PIXL pro skenování kamenů rentgenem a ultrafialový Ramanův spektrometr pro detekci organických látek a zhodnocení obyvatelnosti Marsu.

■ **JŽ:** Životnost Perseverance je plánována na jeden marsovský rok (687 pozemských dnů). Jaké jsou její hlavní vědecké cíle?

SC: Perseverance má několik důležitých vědeckých cílů. Jedním z těch, které mě velmi zajímají, je zjistit, jakého původu je metan na Marsu – zda chemického, či živočišného. Dalším úkolem této mise je identifikovat prostředí, jež mohlo v minulosti podporovat mikrobiální život. Dalším je hledání známek možného života v prostředích, zejména v horninách, o nichž se ví, že mohou zachovávat stopy života.

■ **JŽ:** Význam detailního zkoumání planety Mars prostřednictvím automatických sond a robotických vozítek je obrovský. Dá se říci, že o žádné planetě nemáme tak konkrétní a přesné informace jako o Marsu. Co tedy z minulých misí již o složení Marsu víme?

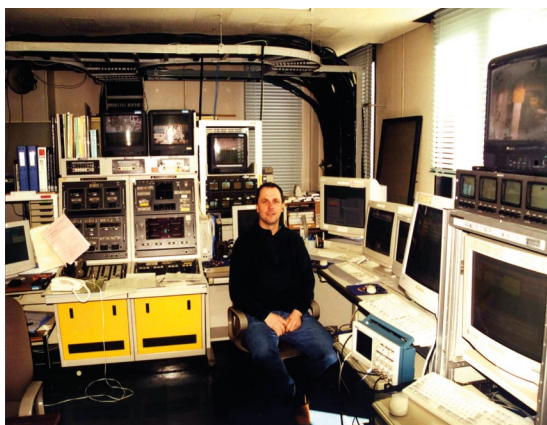
SC: O planetě Mars a jeho povrchu je toho již hodně známo. Na Zemi byly nalezeny meteority vykazující marťanský původ. Na planetě Mars úspěšně přistály americké sondy Viking již v roce 1976, dále i sonda Pathfinder, která na Mars v roce 1997 dopravila dvanáctikilové vozítko Sojourner. Následovala robotická vozítka Spirit a Opportunity v roce 2004. Obrovské množství informací předal robot Curiosity a v únoru 2021 přistála na povrchu Marsu sonda Perseverance. Tak byly identifikovány informace o složení povrchu Marsu, který je tvořen regolitem – tedy oxidickými materiály typu  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ . Víme také, že povrch Marsu, na rozdíl od planety Země, obsahuje poměrně velké koncentrace chloristanů, chlorečnanů, alkalických kovů nebo kovů alkalických zemin včetně síry. K důležitosti těchto anomálií se v rozhovoru budeme průběžně vracet, protože hrají důležitou roli v našich experimentálních pozorováních a přesně do nich zapadají.

■ **JŽ:** Robotická vozítka, která se dosud po povrchu Marsu pohybovala, nesla celou řadu vědeckých přístrojů. Jaké to byly a co nám o této planetě sdělily?

SC: Důležitou roli v přístrojovém vybavení sond a roverů jednoznačně hrají spektrometry (infračervené a hmotnostní), které jsou schopny 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 (může být vzdálen až 7 metrů) a následně je detekováno emisní spektrum v širokém pásmu viditelného spektra, které pak slouží k identifikaci složení horniny nebo minerálu. Další kamerový systém, tzv. REMS – *Rover Environmental Monitoring Station* – je zaměřen na měření vlhkosti, teploty, rychlosti větru a ultrafialového záření. Podstatným systémem je *Alpha Particle X-ray spectrometer* (APXS). Ten využívá alfa částice k ozařování vzorků a následně emitované gama záření slouží k určení elementárního složení zkoumaného vzorku. Pro účely mineralogie a chemie je využíván práškový difraktometr a fluorescenční spektrometr. Dalším systémem je *Sample Analysis at Mars* (SAM), přístroj složený z kvadrupólového hmotového spektrometru, plynového chromatografu a laditelného laser-diodového spektrometru. Toto zařízení slouží k analýze pevných organických sloučenin či atmosférických plynných molekul. Právě tyto tři přístroje 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 daleko více a jejich



**Obr. 9** Japonská národní astronomická observatoř v Nobeyamě. Soustava radioteleskopů pro sledování heliosféry Slunce. Foto: Archiv S. Civiše



**Obr. 10** Uvnitř 45m radioteleskopu v roce 2002, kdy jsem obdržel japonský projekt na detekci molekulárních aniontů v mezihvězdných molekulárních oblacích. Tento teleskop byl postaven v Nobeyamě, prefektuře Nagano, v roce 1982. Je plně funkční a je využíván k detekci radiového signálu v oblasti milimetrových vln. Technologie, které byly vyvinuty při stavbě tohoto radioteleskopu (NAOJ – National Astronomical Observatory of Japan), byly později využity při stavbách dalších teleskopů, např. ALMA v Chile. Foto: Archiv S. Civiše

seznam přesahuje možnosti tohoto rozhovoru, proto doporučuji čtenářům návštěvu internetové stránky [8].

■ *JŽ: Při pozorování vesmírných objektů vědci pátrají mimo jiné i po biogenních sloučeninách, jež by mohly signalizovat přítomnost života na sledovaných objektech. Metan je považován za prvek živočišného původu (jak jej známe na Zemi). Co by jeho výskyt na Marsu mohl signalizovat?*

SC: Robotická sonda 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 nález života někde mimo naši planetu by byl úžasný objev, který by si zasloužil toho největšího uznání. O tom přece lidstvo po celou dobu své existence sní a po tom touží.

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

SC: Naše informace o koncentraci metanu je dána polohou a časem těchto robotických vozítek. Mluvili jsme o sondě Curiosity. Ta přistála 6. srpna 2012 v místě, které se nazývá Aeolis Palus, uvnitř kráteru Gale. Ten se nachází na jižní polokouli planety Mars, těsně pod jeho rovníkem. 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 deponována na marsovských pólech ve formě ledu společně se suchým ledem, tvořeným oxidem uhličitým.

<https://ccf.fzu.cz>

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

SC: Opět jednoduchá otázka, na kterou je však složitější odpověď. Ve stručnosti uvolňování metanu na Marsu může předcházet celá řada dějů. Například regolit v kráteru Gale, 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, např. *Hydrogenobacter thermophilus* a *Helicobacter pylori*. Další alternativu představují podzemní zdroje metanu a jejich povrchová zřídla. Pro představu – jedná se o děje obdobné procesům ukládání metanu a jeho uvolňování v arktické tundře na Zemi.

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

SC: 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.

■ *JŽ: Data, jež poskytla Curiosity, vykazují na Marsu kolísavé hodnoty metanu. Dá se tedy jeho výskyt považovat spíše za sezonní?*

SC: Když jsme vedle sebe zobrazili koncentrace vody, CO<sub>2</sub> a metanu, data pro vodu jednoznačně oscilovala podle marsovských ročních období. To nás vedlo k myšlence oscilace metanu. Data uvedená v naší stati v *Nature Astronomy* [9] na tuto závislost ukazují. Půl roku po zveřejnění našeho článku publikovali zcela identický graf sezonní závislosti kolísání metanu v marsovské atmosféře i vědci z NASA a Jet propulsion Laboratory v časopise *Science* [10], jimž jsem přeposlal PDF našeho článku 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.

■ *JŽ: Co podle vás stojí za oscilací metanu v atmosféře Marsu?*

SC: Ani na toto není lehká odpověď. Zabýváme se celou 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.

■ *JŽ: Jaké chemické reakce jste tímto způsobem zaznamenali?*

SC: Ve spektru od sebe můžeme snadno rozlišit – na základě rotačně vibračních spekter – například molekuly  $^{12}\text{C}^{16}\text{O}_2$  od  $^{12}\text{C}^{18}\text{O}_2$ . 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 celá řada pevných oxidických minerálů si dynamicky velice rychle vyměňuje kyslík s plynným oxidem uhličitým. Podobně při ozařování těchto směsí UV zářením v prostředí kyselého vodíku vzniká z  $\text{CO}_2$  metan, my tuto reakci nazýváme metanogenezí.

■ *JŽ: Metanogeneze, tedy abiotická syntéza organických molekul, by se dala popsat jako jakási obdoba fotosyntézy, ale bez přítomnosti živé hmoty. Jak tento proces probíhá?*

SC: Mnoho studií ukázalo, že tímto způsobem lze oxid uhličitý redukovat na metan. Je to běžná syntéza organických látek za určitých specifických podmínek, spojená s fotochemickými pochody iniciovanými UV zářením Slunce. Vezmeme-li v úvahu složení povrchu Marsu –  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  – a povrch Marsu  $144\,798\,500\text{ km}^2$ , mohlo se za celou historii Marsu (4,5 miliardy let) vygenerovat až  $1,54 \times 10^{14}$  tun  $\text{CH}_4$ .

■ *JŽ: 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?*

SC: 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 vrcholku Olympus Mons až 1 155 Pa v oblasti Hellas Planitia). Je to přibližně 100krát 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 však dochází k sezonním změnám v atmosféře, jak se planeta k Slunci přibližuje a zase se od něj oddaluje. V zimě 25–30 % atmosférického oxidu uhličitého zmrzne na pólech, zatímco v létě opět sublimuje a vrací se do atmosféry.

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

SC: Redukce oxidu uhličitého probíhá na Zemi podobným způsobem jako na Marsu, ale existují další atmosférické 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  $\text{CO}_2$  v atmosféře. V rámci našich experimentů jsme pozorovali interakci mezi plynným  $\text{CO}_2$  a polovodičovým minerálním povrchem.

■ *JŽ: Jak tato reakce probíhá?*

SC: Atomy kyslíku jsou dynamicky vyměňovány mezi minerály obsahujícími kyslík a plynným 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. Na základě dalších studií se ukazuje, že může celá řada přírodních oxidických minerálů s  $\text{CO}_2$  reagovat obdobným způsobem [11, 12].

■ *JŽ: 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?*

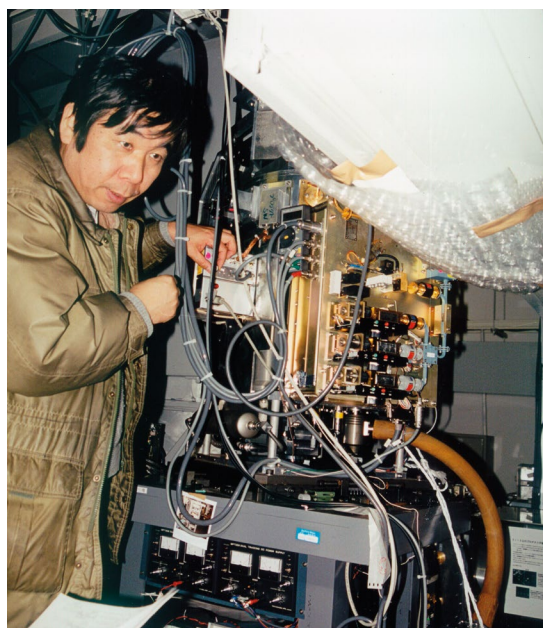
SC: V našich laboratorních experimentech jsme testovali přímou fotochemickou reakci pevných oxidů s plynnou molekulou vody. K redukci  $\text{CO}_2$  na metan docházelo, avšak velice pomalu a s malým výtěžkem. Daleko lépe se nám osvědčila redukce  $\text{CO}_2$  v kyselém prostředí některé minerální kyseliny, např.  $\text{HCl}$  nebo  $\text{H}_2\text{SO}_4$ . Tyto reakce probíhaly daleko rychleji a s větším efektivním výtěžkem.

■ *JŽ: Co by v tomto případě bylo oxidačními produkty této reakce?*

SC: Vezmeme-li v úvahu naši reakci  $\text{CO}_2$  na povrchu  $\text{TiO}_2$ , 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 [13].

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

SC: Myslím, že ano. Vysvětlilo by to i ohromné množství chlorečnanů a chloristanů alkalických zemin



**Obr. 11** Profesor Kentaroh Kawaguchi, pracovník NAOJ a později profesor na Univerzitě v Okayamě, při ladění jednoho z několika radiodetektorů. Mikrovlňný signál (příslušící rotačním spektrům molekul či iontů přítomných v mezihvězdných oblacích) je zachycen anténou o průměru 45 metrů a pomocí zrcadel je veden do jednotlivých detektorů chlazených na teplotu kapalného helia. Foto: Archiv S. Civiše

» Ve vědeckých otázkách nemá autorita tisícihlasu stejnou hodnotu jako pokorné bádání jednotlivce.«  
Galileo Galilei





**Obr. 12** Laserová jiskra ve vzduchu při fokusaci jodidového laseru PALS (Prague Asterix Laser System). Foto: Archiv S. Civiše

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 povrchu Marsu v koncentracích obdobných metanu. Bližší informace může čtenář nalézt na [14]. Z našeho pohledu molekuly HCl slouží jako donor vodíku při fotokatalytické redukci  $\text{CO}_2$  na minerálním povrchu. Jak je vidět, tento proces stále probíhá. Dá se však říci, že většina kyseliny chlorovodíkové (zbylý chlor po redukci) se již přeměnila (oxidovala) do vzniklých alkalických chloročenanů 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.

■ **JŽ:** *Domníváte se tedy, že by metanogeneze byla vhodnějším vysvětlením existence metanu na Marsu než přítomnost života, ať už v jakékoliv formě?*

SC: Metanogeneze je jedním z jevů, o kterých jsem přesvědčen, že na Marsu probíhají. Pomocí fotochemických reakcí lze vysvětlit 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 svou významnou roli i na planetě Zemi. Při pohledu zpět v časě můžeme dobře sledovat, že k redukčním procesům oxidu uhličitého skutečně muselo v prostředí rané Země docházet, a tím se dynamicky měnil redoxní stav naší atmosféry. V důsledku toho by organická nebo prebiotická syntéza mohla probíhat mnohem snadnějším způsoby a mohla sehrát důležitou roli při formování života na naší planetě.

<https://ccf.fzu.cz>

■ **JŽ:** *Na závěr našeho rozhovoru bych se ráda zeptala, kdy a jakým způsobem se můžeme dozvědět o výsledcích bádání roveru Perseverance?*

SC: Většina výsledků objevených roverem Perseverance bude zcela jistě publikována ve špičkových vědeckých časopisech. My všichni se těšíme, že v co nejbližší době budeme seznámeni s novými a doufám, že i převratnými objevy spojenými s planetou Mars a existencí nebo neexistencí života na jejím povrchu.

■ **JŽ:** *Děkuji vám za rozhovor a přeji dobré zprávy z mise Mars 2020 Perseverance.*

## Literatura

- [1] S. Civiš, T. Šedivcová: Detekce záporných iontů v mezihvězdném prostoru. *Čs. čas. fyz.* **52**, 152–159 (2002).
- [2] M. C. McCarthy, C. A. Gottlieb, H. Gupta a kol.: Laboratory and astronomical identification of the negative molecular ion  $\text{C}_6\text{H}^-$ . *Astrophysical Journal* **652**, 141–144 (2016).
- [3] <https://youtu.be/JFw8d1djhd8>
- [4] D. Chomiak, A. Talebbendiab, S. Civiš a kol.: Millimeter-wave laboratory detection of  $\text{H}_2\text{COH}^+$ . *Canadian Journal of Physics* **72**, 11–12 (1994).
- [5] L. Dore, G. Cazzoli, S. Civiš a kol.: Extended measurements of the millimeter-wave spectrum of  $\text{H}_2\text{COH}^+$ . *Chemical Physics Letters* **244**, 145–148 (1995).
- [6] M. Ohishi, S. Ishikawa, T. Amano a kol.: Detection of a new interstellar molecular ion,  $\text{H}_2\text{COH}^+$  (protonated formaldehyde). *Astrophysical Journal* **471**, 61–64 (1996).
- [7] <https://web.jh-inst.cas.cz/news/cesti-vedci-budou-s-misi-ariel-patrat-po-predpokladech-zivota-na-exoplanetach-1>
- [8] <https://mars.nasa.gov/msl/spacecraft/instruments/summary/>
- [9] S. Civiš, A. Knížek, O. Ivanek a kol.: The origin of methane and biomolecules from a  $\text{CO}_2$  cycle on terrestrial planets. *Nature Astronomy* **1**, 721–726 (2017).
- [10] C. R. Webster a kol.: Background levels of methane in Mars atmosphere show strong seasonal variations. *Science* **360**, 1093–1096 (2018).
- [11] A. Knížek, S. Civiš, M. Zukalová, L. Kavan a kol.: Spontaneous oxygen isotope exchange between carbon dioxide and natural clays: Refined rate constants referenced to  $\text{TiO}_2$  (anatase/rutile). *Applied Clay Science* **137**, 6–10 (2017).
- [12] S. Civiš: Umělá fotosyntéza na povrchu přírodních materiálů (cyklus oxidu uhličitého). *Čs. čas. fyz.* **69**, 431–437 (2019).
- [13] S. Civiš, A. Knížek, P. B. Rimmer a kol.: Formation of Methane and (Per)Chlorates on Mars. *ACS Earth and Space Chemistry* **3**, 2, 221–232 (2019).
- [14] <https://advances.sciencemag.org/content/7/7/eabe4386>



**Obr. 13** Výzkumná pracovní skupina oddělení spektroskopie Ústavu fyzikální chemie J. Heyrovského v Praze. Foto: Archiv S. Civiše