

# Čekání na záporné ionty

»Studená« astrochemie mezihvězdného prostoru dnes představuje díky pokrokům v metodice výzkumů a stále lepším se »překládovým slovníkům« velmi žhavé téma výzkumu. Vědcům se podařilo identifikovat již na 180 molekul, iontů a radikálů a pomalu se pouštějí do rekonstrukce základních chemických procesů, které mohly vést až ke zrodu života.

**N**aše těla i jejich okolí jsou skutečně tvořena obrovským množstvím nejrůznějších typů velkých a stabilních molekul. Mohou za to příhodné podmínky, v nichž se snoubí příhodná teplota, tlak a ochrana proti ionizujícímu záření, které zajišťuje naše atmosféra společně s magnetosférou.

Pro většinu typů chemických profesí tedy skutečný ráj. Jen pro fyzikální chemiky malinko nuda. „Chemie, jak ji známe z pozemského prostředí a pozemských laboratoří, je tak trochu skleníkovou chemií. Ve volném vesmíru však nic podobného nebudeme, tam jsou podmínky mnohem drastičtější,“ vysvětluje původ své fascinace chemickým prostředím vesmíru prof. Svatopluk Civiš. Jeho vědecká cesta těmito oblastmi se proplela s cestami dalších světových vědců do příběhu s takřka detektivní zápletkou.

ILUSTRACE ESO



## Žhavá témata »studené« astronomie

Profesní sny vědců se pochopitelně většinou točí kolem témat, která by mohla jejich disciplínu posunout o významný kus dále. Zdánlivě vyřešení některého z problémů, s nimiž nemohou vědci již delší dobu pohnout, by přirozeně nevytěžilo pouze vědu samotnou, ale pochopitelně také pověst vědce, případně i instituce, v níž pracuje. A jaká témata že jsou takto aktuální v oboru »studené« astrochemie, tedy té, která se zabývá procesy v otevřených dálavách mezihvězdného prostoru?

Tím největším je pochopitelně pátrání po »velkých« molekulách, které by mohly napomoci vysvětlit, jak se ve vesmíru začal »vařit« život. K takovým molekulám patří například aminokyseliny, tedy základní »cihličky«, z nichž jsou vystavěny bílkoviny v živých tělech. S většími molekulami je však z hlediska astrochemika jedna zásadní potíž

– »svítí« totiž více čarami najednou. Spektrum takové molekuly je pak jakoby slité dohromady a je velmi obtížné při pozorování na Zemi rozpoznat jeho jednotlivé detaily.

## Vesmír plný iontů

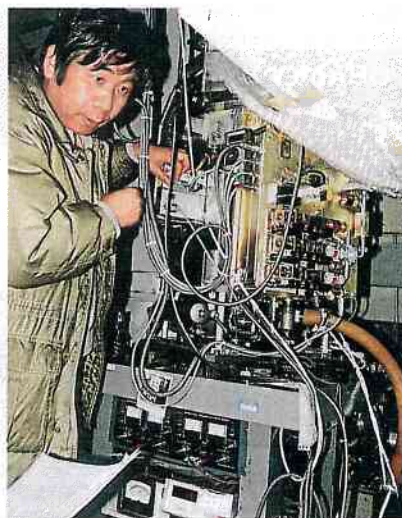
Specialitou prof. Svatopluka Civiše je ovšem další »žhavé« téma »studené« astrochemie – je jím pátrání po záporných iontech ve vesmíru (viz box Když se řekne iont...). Abychom však pochopili, co je na takovém pátrání vlastně tak zajímavého a »žhavého«, budeme si muset specifiky kosmického prostoru alespoň trochu přiblížit.

Ionty – elektricky nabitě atomy či molekuly – jsou ve vesmíru mnohem běžnější než na Zemi. K vytvoření iontu, tedy k ubrání či přidání elektronu, je totiž potřeba v první řadě energie. Tu získá atom či molekula nejčastěji díky záření přicházejícímu z nějakého nedalekého a silného zdroje, např. hvězdy.

FOTO: ARCHIV S. CIVIŠE



FOTO: ARCHIV S. CIVIŠE



» Prof. Civiš (vlevo) v řídicím centru teleskopu v Nobeyamě nedaleko Nagana. Prof. Kentaro Kawaguči vpravo.

Ionizující záření ze Slunce je z velké části odkláňeno vlivem zemské magnetosféry. Na Zemi tak vznikají velmi stabilní podmínky.



bité částice, až do roku 2006 se nikomu nepodařilo žádný záporný iont v kosmu identifikovat. Byla to hozená rukavice a na toho, komu se ji podaří sebrat, čekala velká vědecká sláva," popisuje původ svého vědeckého entuziasmu prof. Civiš.

### Jak se tvoří »překladový slovníček«? V laboratoři!

Se zápornými ionty je potíž nejen v kosmu. Pro vědce je velmi těžké identifikovat je i v laboratorních podmínkách. Identifikace v laboratoři je nutná k tomu, aby si vědci vytvořili »překladový slovníček« a dokázali tak »guláš«, který přichází z kosmu, rozložit na jeho jednotlivé složky. Inovativní práce Svatopluka Civiše v laboratoři dala vědcům do rukou metodu, jak tyto notorické »schovávače« odhalit.



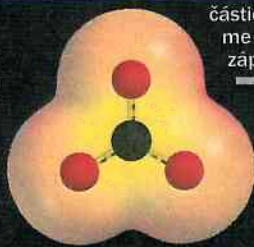
» Výbojová kvjeta sloužící k vytvoření iontů

stabilní v podobě sirovodíku ( $H_2S$ ), může totiž síra v plazmě elektrického výboje existovat i v řadě jiných oxidačních stavů, např. v podobě  $SH^-$ ,  $SH^+$  i jako radikál  $SH$ . Pro svou práci jsem si vybral záporný iont  $SH^-$ ,“ vysvětluje prof. Civiš.

### KDYŽ SE ŘEKNE IONT...

Většina částic hmoty od úrovně atomů výše, s nimiž se chemik v přírodě v pozemských podmínkách setkává, je takzvaně elektricky neutrální. Je tomu tak proto, že počet elektricky aktivních subatomárních částic v jádře atomu (protonů) je stejně velký jako počet elektricky aktivních částic v atomovém obalu (elektronů). Při dodání energie zvnějšku se však může stát, že z atomového obalu jeden elektron zmizí. Tímto způsobem

se z neutrální částice stane kationt, tedy kladně nabitý iont. (Z řeckého *ión* neboli »jdoucí«, v češtině se proto můžeme setkat jak s názvem »ion«, tak »iont«.) Stejně tak může jiný atom jeden druhému jeden elektron předat. Výsledkem tohoto předání je, že záporný elektrický náboj obalu převládne. Takovou



částici pak nazýváme aniont neboli záporný iont.

### Ionty zdaleka nemusí být jen atomy.

Díky nerovnováze elektrického náboje se jako iont mohou chovat i molekuly. Částice, která má k dispozici jeden či více volných elektronů, má velkou náklonnost k tomu, aby se účastnila chemických reakcí. Taková částice se nazývá radikál. <<

ILUSTRACE U FOTO 21

V našich »skleníkových« podmínkách, kdy je ionizující vesmírné záření z velké části odstíněno »ochrannými štíty« Země, však k něčemu podobnému dochází s mnohem menší pravděpodobností. I když totiž takový iont v zemské atmosféře vznikne, většinou dlouho nepřetrvá.

Vzhledem k vysoké koncentraci ostatních látek má totiž mnoho příležitostí, jak elektron opět v kontaktu s jinými částicemi získat či předat. V mezihvězdném prostoru je však koncentrace částic tak malá, že k takovému kontaktu může dojít třeba až za milion let.

### Jako by se země slehla...

Kvůli svému na pozemské poměry neobvykle vysokému počtu mají ionty v chemii vesmírného prostoru nebývalé významnou úlohu – dalo by se dokonce bez velké nadsázky říci, že chemii otevřeného vesmíru dokonce dominují.

Z asi 180 druhů molekul, které byly doposud díky práci astrochemiků v kosmu identifikovány, však ionty zdaleka netvoří většinu. Mnohem menší problém je s kladnými ionty – do dnešní doby jich bylo v mezihvězdném prostoru identifikováno 16 druhů. Po záporných iontech, aniontech, však jako by se dlouho slehla země.

„Ačkoliv bylo jasné, že oblaka mezihvězdného plynu musí obsahovat i tyto záporně na-

Cesta k významnému objevu však zdaleka nebyla přímočará a stálo za ní bezmála 20 let těžké práce, podpořené vědeckým zápalem a velkou zkušeností s prací s laboratorní technikou.

Vše začalo stáží na univerzitě v německém Giessenu v roce 1989. „Během studijního pobytu jsem se věnoval prvním pokusům o identifikaci záporného iontu v laboratoři. Na rozdíl od pozemských podmínek, kde je síra

### Důležitá zastávka ve Francii

Jelikož v Česku v té době chybělo potřebné experimentální zázemí, musel se Svatopluk Civiš se svými dalšími výzkumy obrátit na kolegy v zahraničí, kterým potřebné přístroje nechyběly. „Po nějaké době hledání vyslyšeli mé návrhy kolegové na univerzitě ve francouzském Lille. Velkou část experimentální práce jsem zde mohl udělat v průběhu let 1995–1998. Ze strany francouzských kolegů šlo o projev velké odvahy. Tehdy šlo totiž o cestu ve zcela neprobádaném terénu,“ popisuje dnes prof. Civiš.

Svou pozornost zaměřil do mikrovlnné oblasti spektra. V této oblasti lze totiž dobře identifikovat rotační spektra částic. „K identifikaci jedné spektrální čáry došlo poměrně rychle. Daleko větší práci však dalo dokázat na základě znalosti jedné linie, zda se jedná o kladný či záporný iont. Bez jednoznačného důkazu však není možné před odbornou veřejností vůbec předstoupit, musel jsem proto najít cestu, jak existenci záporného iontu v laboratoři prokázat,“ konstatuje specifika vědecké práce prof. Civiš.

FOTO: NASA



» Mlhovina M 16, známá též jako Orlí mlhovina, patří k nejznámějším objektům ve vesmíru

### Těžká práce s dokazováním

Hlavní díl práce, který zajistil prof. Civišovi významné mezinárodní renomé, spočíval ve vypracování metody, jak záporný iont přesně identifikovat v laboratoři.

Využil metodu tzv. rychlostní modulace, která funguje jako jakýsi »zesilovač« vibrací iontu. Klíč k úspěchu spočíval ve vhodné aplikaci známého Dopplerova jevu (viz rámeček). Ukázalo se totiž, že kladný a záporný iont jsou jakoby zrcadlově obrácené.

FOTO: ARCHIV S. CIVIŠE



» Rádiová observatoř v Japonské Nobeyamě je umístěna v Japonských Alpách na ostrově Honšú v nadmořské výšce 1350 m n. m.

### CO PROZRADÍ PROJÍZDĚJÍCÍ MOTOCYKL?

Každý z nás zná jistě z vlastní zkušenosti následující jev. Slyšíme v dálce projíždět motocykl. Čím více se k nám přibližuje, tím vyšší tón jako by motor vydával – nejvyšší bude v momentě, kdy nás motocykl těsně mine. Důležité je, že nejde o nějaký smyslový klam či nedejbože halucinaci. Fyzikové umějí tento jev přesně matematicky popsat již od roku 1842, a to díky Rakušanovi Christianu Dopplerovi (1803–1853).



V řeči fyziků se jedná o **změnu frekvence** (a vlnové délky) **signálu** mezi jeho vysílačem a přijímačem. V příkladu s motocyklem se jedná o mechanické vlnění vzduchu (kterému říkáme zvuk). **Dopplerův efekt** se však projevuje i v případě vlnění elektromagnetického, tedy ve všech částech spektra »Maxwellovy duhy«.

Od momentu svého objevu se Dopplerův efekt vydal na skutečně ohromující vítězné tažení světem vědy. Svě **využití nachází v řadě oborů**, kdy je třeba přesně měřit rychlost, s jakou se vůči sobě objekty pohybují. Největší využití proto přirozeně nachází v **astronomii**, úspěšně jej však lze použít i na škalách, na nichž se pracuje v běžných laboratořích. <<

Odborným jazykem řečeno, liší se znamením směru posunu linie ve spektru. Je-li dopplerovský posun k nižším frekvencím jedná se nade vší pochybnost o záporný iont. V případě kationtu je potom vše obrácené. »První iont, jehož linii se mi v infračerveném spektru podařilo takto změřit, byl SH<sup>-</sup>. Dvě linie se podařilo změřit i u iontu SD<sup>-</sup> (D značí deuterium, tedy těžší izotop vodíku <sup>2</sup>H, pozn. redakce). Tyto výsledky přišly v roce 1998,« upřesňuje Svatopluk Civiš.

### Inspirace pro astronomy

První identifikace záporného iontu v laboratoři měla v odborné komunitě velkou odezvu. Do práce se vrhla řada dalších týmů z celého světa. Díky Civišově metodě se překladový »slovníček« pro záporné ionty

začal postupně rozrůstat, ke dnešnímu dni obsahuje zatím 15 položek. Časem budou jistě přibývat další a další.

Největší ohlas však měly tyto výsledky mezi astronomy. »Brzy po identifikování prvního záporného iontu v laboratoři jsem navázal intenzivní a plodnou spolupráci s profesorem Kentarem Kawagučim z univerzity v japonské Okajamě,« popisuje další krok svého vědeckého dobrodružství prof. Civiš.

Profesor Kawaguči pracoval na rádiovém teleskopu o průměru 45 metrů, umístěném v japonské Nobeyamě. Už v roce 1995 se mu s pomocí tohoto jedinečného přístroje podařilo naměřit v »obálce« hvězdy IRC+10216 prozatím neidentifikované, ale velmi slibné čáry (viz též box Obálky hvězd...). V roce 2000 se dalšímu japonskému vědci Kozu Aokimu podařilo teoreticky předpovědět, že by se za nimi mohl »schovávat« záporný iont C<sub>6</sub>H<sup>-</sup>. Definitivní důkaz však zatím nikdo z vědců v rukou neměl. Na startu pomyslného závodu o první vědecký důkaz však čekala řada vědeckých týmů z celého světa.

### (Nepříjemné) překvapení přichází z Harvardu

Pomyslnou palmu vítězství si ze závodu »lovců« vesmírných iontů neodnesl žádný ze spolupracovníků prof. Kawagučiho, ale tým amerických vědců pod vedením prof. M. C. McCartyho z Harvard-Smithsonianského ústavu pro astrofyziku při slavné Harvardově univerzitě.

Vědci pod McCartyho vedením pracovali současně na dvou projektech. Měřili rotační spektra několika záporných iontů v laboratoři (mezi nimi i inkriminovaného C<sub>6</sub>H<sup>-</sup>) a současně analyzovali signál přicházející z vesmíru. Kromě »obálky« hvězdy IRC+10216 prověřovali i molekulární mračno TMC-1 v souhvězdí Býka.

V listopadu roku 2006 se jako blesk z čistého nebe objevila v odborném časopise *The Astrophysical Journal* zpráva, že se Američanům podařilo záporný iont C<sub>6</sub>H<sup>-</sup> bez jakýchkoliv pochybností identifikovat v signálu, který přicházel z obou zdrojů. Vědcům se navíc podařilo ukázat, že záporné ionty se na obou místech vyskytovaly s poměrně vysokou hustotou (1–5 % celkové počtu neutrální molekuly C<sub>6</sub>H). Cesta k dalším »úlovkům« záporných iontů byla tedy umetená.

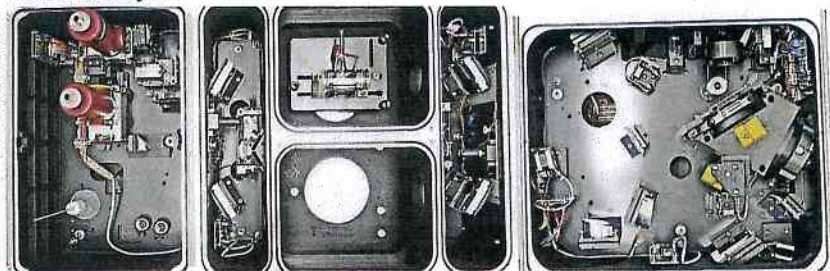
### Důležitý příspěvek světové vědě

Od momentu publikování přelomového článku profesora McCartyho začal lov záporně nabitých molekul v obálkách hvězd i v mezihvězdném prostoru nabývat na obrátkách. Během několika málo let, která od té doby uplynula, bylo objeveno dalších pět aniontů. Ostatní na brzký objev jistě čekají.

»Na první pohled to vypadá, že náš tým vyšel naprázdno. Pravda to ovšem úplně není. Naše práce přispěla k propracování laboratorní technologie při pátrání po důležitých prvcích vesmírného chemismu,« shrnuje míru svého příspěvku k poznání složení a procesů ve vesmíru Svatopluk Civiš.

I dnes však existují ve spektroskopickém zkoumání vesmíru další důležité výzvy. »Velkou neznámou jsou stále například tzv. »difuzní interstelární pásy«, známé odborníkům pod zkratkou DIB. Původ těchto absorpčních čar, které pozorujeme již skoro po století ve spektrech hvězd a v mezihvězdném prostoru, se zatím nikomu objasnit nepodařilo. Čeká na nás ještě spousta zajímavé práce,« uzavírá rozhovor s 21. STOLETÍM prof. Civiš. A nám nezbyvá než popřát, aby se k jeho pilné práci přidala i nemalá dávka tolik potřebného vědeckého štěstí. <<

MICHAL ANDRLE



» Pohled shora na optickou a detektorovou část interferometru Bruker IFS 125 na Ústavu fyzikální chemie J. Heyrovského. Jedná se o největší spektrometr v ČR.