



Hvězdárna Valašské Meziříčí, p. o.
a Krajská hvězdárna v Žiline

POKROKY VE VÝZKUMU MEZIPLANETÁRNÍ HMOTY A ROZVOJ SPOLUPRÁCE

Sborník ze semináře 22. - 24. 5. 2015



Kromeriz (NFC)



EURÓPSKA ÚNIA
EURÓPSKY FOND
REGIONÁLNEHO ROZVOJA
SPOLOČNE BEZ HRANÍČ



PROGRAM
CEZHRANIČNEJ
SPOLUPRÁCE
SLOVENSKÁ REPUBLIKA
ČESKÁ REPUBLIKA



FOND MIKROPROJEKTŮ

Novinky v observačních sítích pro pozorování meteorů

Jakub Koukal, Společnost pro meziplanetární hmotu

EDMOND

Pozorování meteorů má v České republice, případně v bývalém Československu, velkou tradici. Profesionální i amatérští pozorovatelé patřili a patří společně s pozorovateli z Velké Británie, USA, Ruska a Polska, mezi špičky v tomto oboru astronomie. Jedním z nich byl i RNDr. Zdeněk Ceplecha, DrSc., který stál za vznikem Evropské bolidové sítě a také dokázal spočítat atmosférickou dráhu jasného bolidu (meteorit Příbram), díky čemuž byly poprvé na základě pozorování a výpočtu nalezeny fragmenty meteoritu.

V roce 2010, s rozvojem možností (a dostupnosti) digitální techniky, nastal zásadní zlom a vznikla síť videostanic **CEMeNt** (*Central European Meteor Network*), která sdružuje amatérské pozorovatele v ČR a SR vybavené odpovídající digitální (CCD) technikou. Výhodou digitálního pozorování meteorů je přesnost získaných dat, která je o několik řádů vyšší jak v případě vizuálního pozorování. Tato pozorování taktéž nejsou zatížena chybami lidského faktoru, můžeme tedy říct, že CCD technika se prakticky nemýlí, neunaví se a je kdykoliv připravena. V případě, že je meteor zaznamenán dvěma a více stanicemi sítě, je možné dostatečně přesně spočítat dráhu meteoroidu ve Sluneční soustavě (před vstupem do atmosféry Země) a také je možné spočítat jeho atmosférickou dráhu, z níž lze v případě potencionálního dopadu (tzv. meteorit) dopočítat dopadovou oblast. **Celkový počet stanic v síti CEMeNt je v současné době 19 (29 kamer)**. Každá jednotlivá kamera je schopná, v závislosti na světelném znečištění a počasí v místě instalace, zaznamenat během jednoho roku zhruba 1500 až 3500 meteorů.

Amatérské stanice používají citlivé analogové CCTV kamery postavené na CCD čípech Sony (1/2" ExView HAD, 1/3" Super HAD) s běžným rozlišením 720 × 576 pixelů (PAL signál) a s varifokálními objektivy, které mají ohnisko 3 až 8 mm a světelnost mezi $f/0,8$ a $f/1,4$. Většina stanic využívá pro snímání a zpracování dat software UFO Tools od firmy SonotaCo Network z Japonska, na některých stanicích je pak využíván software MetRec autora Sirko Molau z Německa. Typický rozměr zorného pole stanic je kolem 70° v horizontálním směru. V této konfiguraci jsou stanice schopné zachytit meteory jasnější než +2,5 magnitudy. Přesné číslo ovšem záleží na kombinaci výkonu kamery a momentálních místních podmínkách (světelné znečištění, nadmořská výška a podobně). Pro převod analogového signálu na digitální je využito celé škály A/D převodníků, upřednostňováno je použití převodníků Dazle DVC 100 (101), Logilink VG0005B

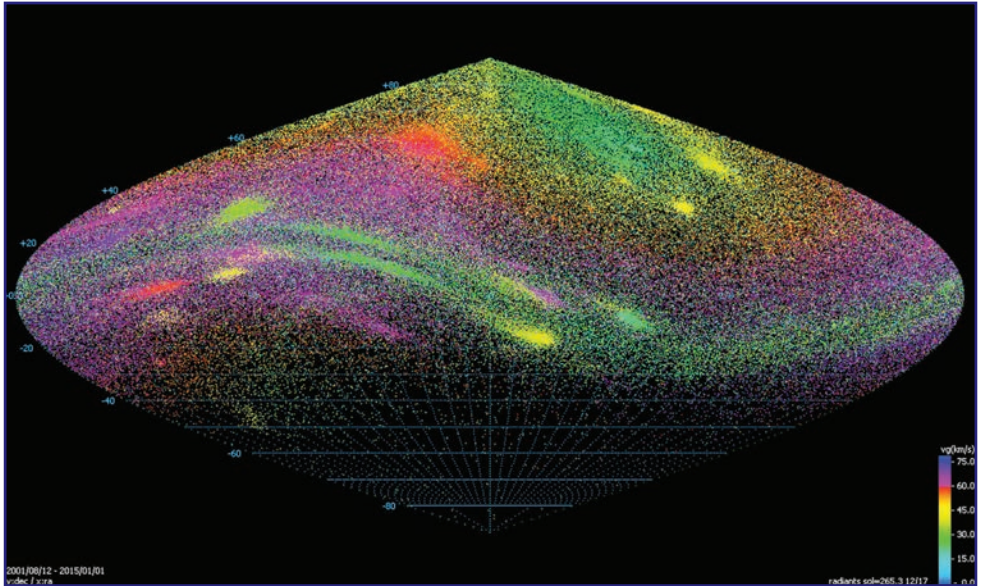
a také převodníků AverMedia EZ Maker.

Vzhledem k relativní blízkosti stanic v jednotlivých státech v Evropě vznikla postupně myšlenka celoevropské integrované databáze meteorů. V roce 2012 tedy vznikla databáze drah meteoroidů, **EDMOND** (*European viDeo MeteOr Network Database*), která je založena na přesných datech pořízených videokamerami nejen v Evropě, ale také v Jižní a Severní Americe a v Austrálii. Tato databáze pozorování je výsledkem široké mezinárodní spolupráce mezi národními video sítěmi, které jsou spojeny v nadnárodní video síti EDMOND (*European viDeo MeteOr Network*), **IMO VMDB** (*International Meteor Organization Video Meteor DataBase*), **BRAMON** (*BRAZilian MeteOr Network*) a **CMN** (*Croatian Meteor Network*). V současné době sestává EDMOND z následujících národních sítí (v abecedním pořadí): **BOAM** (*Base des Observateurs Amateurs de Météores*) – síť francouzských amatérských pozorovatelů meteorů, **BOSNET** (*BOSnian NETwork*), **CEMeNt** (*Central European Meteor Network*), což je společná video síť českých a slovenských amatérských pozorovatelů, **FMA** (*Fachgruppe Meteorastronomie*) – síť švýcarských amatérských pozorovatelů, **HMN** (*Hungarian Meteor Network*) – síť maďarských amatérských pozorovatelů, **IMTN**, neboli skupina amatérských pozorovatelů v Italian Meteor and **TLE Network**, **PFN** (*Polish Fireball Network*), která zahrnuje polské pozorovatele komet a meteorů (PKiM – *Pracownia Komet i Meteorów*), **SVMN** (*Slovak Video Meteor Network*), což je síť slovenských celoblohových profesionálních kamer, **UKMON** (*UK Meteor Observation Network*) – britští amatérští pozorovatelé, **MeteorsUA** (*Meteors UkrAinian*), kterou tvoří pozorovatelé z Ukrajiny a dále osamocení pozorovatelé v Srbsku a Rumunsku. Svými daty do této databáze v současné době přispívá 211 stanic ze 4 kontinentů a celkový počet zaznamenaných meteorů je 3 060 250 (k 30.4.2015) a celkový počet drah je 333 510, přičemž v databázi EDMOND v5.02 je tento počet redukován interními kvalitativními kritérii na 210 887. Tímto rozsahem je tato databáze jedinečná a sdružuje, společně s japonskou sítí, veškeré soudobé vědomosti o nejmenších tělesech ve Sluneční soustavě – o meteorech.

V roce 2012 došlo k významným změnám v organizaci a struktuře video pozorování meteorických rojů v rámci Evropy. Databáze drah meteoroidů byla transformována nově pod názvem EDMOND (*European viDeo MeteOr Network Database*), tato databáze sdružuje pozorování od evropských pozorovatelů nejenom v rámci používání UFO Capture, ale také od všech pozorovatelů využívajících MetRec. V rámci konference IMC 2012 na Kanárských ostrovech byla dohodnuta spolupráce mezi CEMENTem a VMDB (*Video Meteor Database*), která je organizována v rámci IMO (Sirko Molau, Enrico Stomeo). Původní název CEMENT tedy pozbyl významu v celoevropském měřítku a nadále bude využíván pouze pro česko-slovenskou síť.

Česko-slovenská síť CEMENT prošla v roce 2012 bouřlivým vývojem, v prů-

běhu roku byly zprovozněny horské stanice Maruška (SE kamera 06/2012, SW kamera 10/2012) a Bílý Kříž (S kamera 08/2012). V prosinci 2012 byla dokončena trvalá instalace dvou kamer na Hvězdárně Valašské Meziříčí (S a E kamera), k CEMENTu se přidala nezávisle zřízená stanice v Havlíčkově Brodě. Na Slovensku došlo ke spuštění dvou stanic, jedna byla umístěna na Krajské Hvězdárni Banská Bystrica (N kamera 08/2012) a druhá ve Zvolenské Slatině (S kamera 07/2012). Profesionální část sítě (SVMN) dokončila instalaci all sky kamery na Hvězdárni Kysucké Nové Mesto.



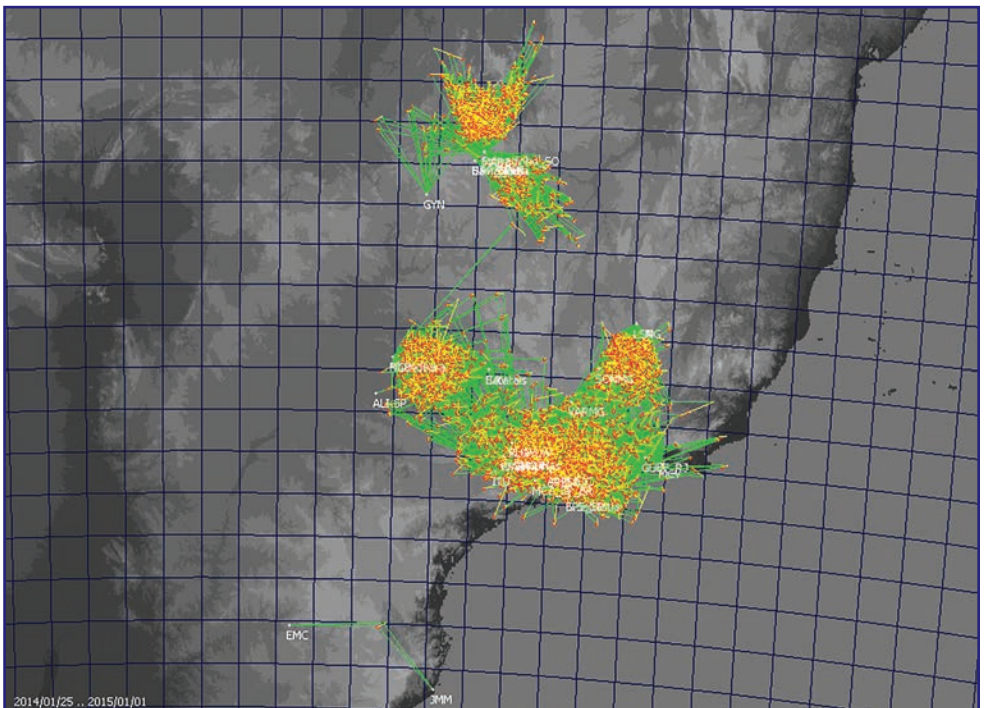
Geocentrické radianty jednotlivých vícestaničních meteorů v databázi EDMOND, Hammerova projekce v rovníkovém souřadném systému.

V roce 2013 prošla česko-slovenská síť CEMeNt částečnými úpravami a také byly začleněny 2 nové stanice (3 kamery). V průběhu roku byly v trvalém režimu zprovozněny dvě kamery na Hvězdárně Karlovy Vary (N a S kamera, Watec 902 H2 s objektivem Tokina). Nově zprovozněna byla také kamera na Hvězdárně Vsetín (02/2013, E kamera, KPF 131 HR s objektivem Tokina) a také soukromá stanice v Otrokovicích (06/2013, N kamera, KPF 131 HR s objektivem Tokina).

V roce 2013 (03/2013) byla zprovozněna síť MeteorsUA (*Meteors Ukrainian*), která ke konci roku 2013 disponuje celkem 11 stanicemi a 17 kamerami, ITMN (*Italian Meteor and TLE network*) byla rozšířena o stanici Milano a také o odloučenou stanici v Rumunsku (*Piatra Neamt*). Síť SVMN (*Slovak Video Meteor Network*) byla doplněna o jednu stanici (all-sky) v obci Važec, do běžného provozu byla zavedena také stanice (opět all-sky) Kysucké Nové Mesto. Síť UKMON (*United Kingdom Meteor Network*) byla rozšířena, ke konci roku 2013 dispono-

BRAMON (*BRAzilian Meteor Observation Network*). Díky této síti stanic bude možné monitorovat aktivitu meteorických rojů, které jsou v činnosti na jižní polokouli.

V roce 2014 (01/2014) byla zprovozněna síť BRAMON (*BRAzilian Meteor Observation Network*), která ke konci roku 2014 disponovala 25 stanicemi s 28 kamerami. Stanice jsou osazeny z části kamerami Samsung SCB 2000, ve větším množství pak kamerami s čipy Sony Effio 960 H nebo Sony Super HADII. Ukrajinská síť MeteorsUA (*Meteors UkrAinian*) disponovala ke konci roku 2014 celkem 11 stanicemi a 20 kamerami, síť UKMON (*United Kingdom Meteor Network*) byla rozšířena, v současné době disponuje celkem 9 stanicemi a 19 kamerami. V tomto roce se do databáze EDMOND připojila také švýcarská síť FMA (*Fachgruppe MeteorAstronomie*), která disponuje 6 stanicemi a 11 kamerami a tvoří významný spojovací uzel mezi sítěmi ve střední Evropě a sítěmi v oblasti Středozemního moře.



2D projekce atmosférických drah vícestaničních meteorů v roce 2014 – Brazílie (BRAMON).

NFC

Běžné kamerové systémy fungující v síti EDMONd (*European viDeo MeteOr Network*) a BRAMON (*BRAZilian MeteOr Network*) pracují s CCTV kamerami, které jsou vybaveny CCD čipy o velikosti 1/2" a 1/3" a většinou CCTV objektivy s proměnným ohniskem (varifokální). Tyto systémy disponují zorným polem (FOV) o velikosti kolem 70 stupňů horizontálně a 56 stupňů vertikálně, což odpovídá běžnému PAL D1 signálu s rozměrem obrazu 720 × 576 pixelů. Kamery v této konfiguraci jsou schopné zaznamenat nejslabší meteory o zdánlivých jasnostech mezi +1,5 a +2,0 mag. Spíše vyjímečně jsou pak schopné zaznamenat i meteory slabší, nicméně účinnost systémů pak drasticky klesá (pro meteory kolem +2,5 mag je to pouze kolem 10% - tedy průměrně každý desátý meteor této hvězdné velikosti je systémem zachycen).

CCTV systém zaměřený na sledování slabých meteorů s limitní mezní hvězdnou velikostí kolem +6,5 mag (meteory) umožňuje výzkum drah méně hmotných meteoroidů v rámci jednotlivých meteorických rojů, případně sporadického pozadí, a také výzkum fragmentace slabých meteorů. Stále otevřenou otázkou je pak absence stop u slabých meteorů. Zatímco standardní CCTV kamery zaznamenávají tělesa o hmotnostech v řádech gramů, citlivý NFC systém je schopen zaznamenat tělesa se vstupní hmotností mezi 10-1 až 10-2 g (v závislosti na vstupní rychlosti tělesa).

Rozsah systému NFC (*Narrow Field Camera*) v rámci sítě CEMeNt je plánován v rozsahu 6 stanic, z nichž 2 jsou již v provozu a jsou umístěny v ČR (Valašské Meziříčí, Kroměříž) a 4 budou umístěny v SR (Banská Bystrica-Vartovka, Žiar nad Hronom, Zákopčie a Kysucké Nové Mesto).

Základem každé ze stanic je citlivá CCTV kamera Watec 902 H2 Ultimate s 1/2" čipem Sony ICX429ALL a citlivostí v BW režimu 0,0001 lx se světelným objektivem Meopta Meostigmat 1/50 – 52,5 mm o ohniskové vzdálenosti 50 mm a světelnosti f/1,0, včetně upínací redukce objektivu na CS závit na těle kamery Watec. Převod signálu z analogového výstupu z kamery Watec na digitální vstup do PC je zajištěn USB A/D převodníkem AverMedia DVD EzMaker, pro záznam a vyhodnocení jednotlivých meteorů je používán software UFO Tools (Ufo Capture, Ufo Analyzer a Ufo Orbit). Ochrana systému proti povětrnostním podmínkám je realizována krytem



NFC stanice Valašské Meziříčí.

s vyhříváním Marathon MH 805/12 s krytím IP 66.

Zorné pole systému o rozměru $6,8^\circ$ horizontálně a $5,4^\circ$ vertikálně je plošně zhruba $100\times$ menší jak zorné pole klasických CCTV kamer v síti EDMOND nebo BRAMON. Limitní mezní hvězdná velikost v průběhu nocí s průměrnými podmínkami je $+9,5$ mag (hvězdy) a $+6,0$ mag (meteory), v průběhu nocí s výbornými podmínkami pak $+10,4$ mag (hvězdy) a $+7,0$ mag (meteory).

První pevně instalovaná stanice systému NFC byla uvedena do provozu 1. 4. 2015 v Kroměříži. Stanice má fixní uložení, není tedy možné měnit polohu FOV, s azimutem středu FOV $27,9^\circ$ a elevací $43,4^\circ$. Jako druhá v pořadí byla instalovaná stanice Valašské Meziříčí (15. 4. 2015), která je umístěna na terase jižní budovy hvězdárny. Stanice má možnost měnit polohu FOV jak v horizontálním, tak ve vertikálním směru a stávající azimut středu FOV je $4,1^\circ$ a elevace $53,8^\circ$. Do 28. 4. 2015 bylo oběma systémy (včetně testovacího provozu v roce 2014) zaznamenáno v průběhu 22 nocí celkem 227 jednostaničních meteorů, z nichž 88 meteorů bylo zaznamenáno oběma stanicemi. K tomuto datu je tedy k dispozici 44 drah vícestaničních meteorů, největší zastoupení mají sporadické meteory (32 drah), z rojových pak ZCY (3 dráhy), LVI (2 dráhy) a KCG, LYR, PUM, SPE, AIC, NIA a NCY (po 1 dráze). Vzhledem k datu uvedení do provozu stanice Valašské Meziříčí (15.4.2015) byla tato stanice v provozu pouze 13 nocí, a to včetně 2 nocí v roce 2014.

Před testovacím provozem systému NFC v roce 2014 byla zpracována teoretická distribuce rozložení zdánlivých jasností a odhad počtu zaznamenaných meteorů, který je možné očekávat při použití systému NFC. Jako referenční vzorek dat bylo využito distribuce zdánlivých jasností z běžných kamer sítě CEMeNt v roce 2014 (59 925 meteorů), uvažovaná mezní hvězdná velikost těchto systémů

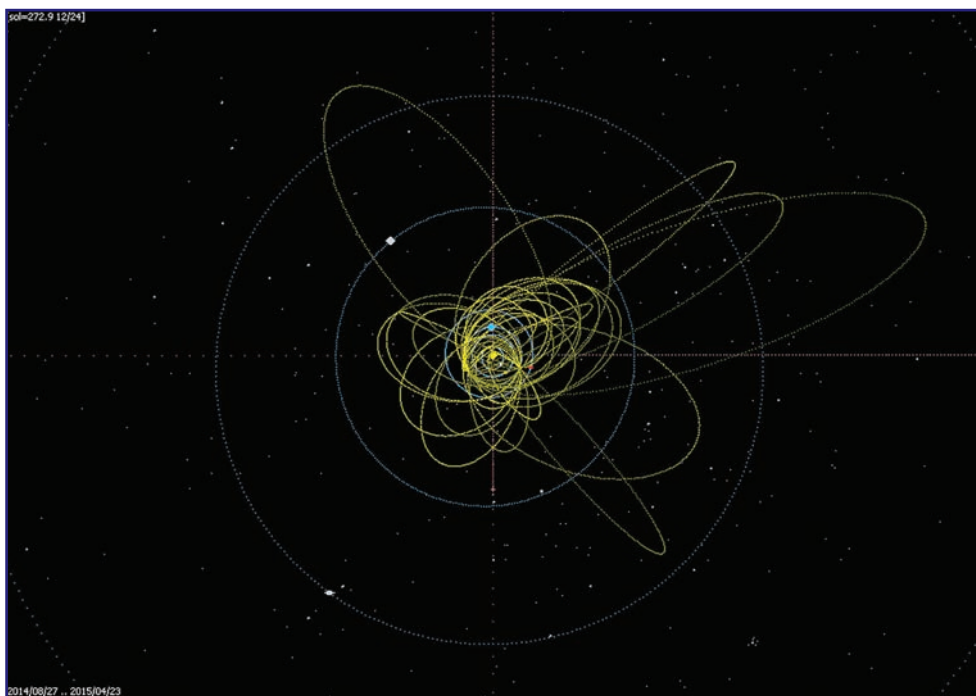


Souhrnný snímek meteoru zaznamenaného NFC stanicí Kroměříž.

byla $+5,2$ mag. Odhad počtu zaznamenaných meteorů systémem NFC byl korigován na malé zorné pole systému a také na vyšší počet meteorů slabších

magnitud při populačním indexu 2,8. Limitní hvězdná velikost systému NFC byla uvažována +9,6 mag, v souladu s měřeními provedenými během jednotaničních testů v roce 2014. Během provozu stanic v uvedeném období byla zpracována skutečná distribuce jasností z obou NFC kamer, která byla porovnána se skutečným počtem meteorů zaznamenaných v uvedeném období na běžných kamerách sítě CEMeNt, které mají shodný směr FOV jako kamery NFC. Pro stanici Kroměříž NFC bylo využito stanice Kroměříž ENE a pro stanici Valašské Meziříčí NFC pak kamery Zlín N, neboť na Hvězdárně Valašské Meziříčí není osazena kamera se shodným směrem FOV kromě spektrografu, který není pro tyto účely vhodný.

Podle teoretického modelu by se mělo maximální množství meteorů zaznamenaných systémem NFC nacházet kolem zdánlivé jasnosti +5,0 mag, podle reálné distribuce jasností je to pak kolem +4,75 mag. Taktéž celkové množství zaznamenaných meteorů v poměru k běžnému kamerovému systému je podle modelu kolem 60 %, podle reálných dat je to pak 79 %. Vyšší množství zaznamenaných meteorů systémem NFC proti předpokladu ovšem může být způsobeno výběrovým efektem. Měsíc duben je charakteristický obecně nízkou meteorickou aktivitou (s výjimkou meteorického roje Lyrid) a také vyšším výskytem



Projekce dvojstaničních drah meteoroidů ve Sluneční soustavě z NFC stanic Kroměříž a Valašské Meziříčí.

slabých meteorů. Pro přesné srovnání teoretického modelu a reálných počtů meteorů je tedy nutné mít větší soubor dat, ideálně pak z celého roku provozu NFC systému.

Během 13 nocí vícestaničního provozu systému NFC bylo zaznamenáno celkem 44 dvojstaničních drah, efektivita párování jednostaničních meteorů byla tedy 47 %. Nižší efektivita párování je způsobena rozdílným stavem počasí na obou stanicích v některých nocích vícestaničního provozu. Prvním kritériem pro hodnocení kvality získaných dat bylo posouzení rozdílu geocentrických rychlostí (vg) drah meteoroidů mezi jednotlivými stanicemi. Minimální absolutní rozdíl vg byl 0,03 km/s, maximální 7,47 km/s a průměrný pak 0,81 km/s, poměrný rozdíl (ve vztahu ke geocentrické rychlosti unifikované dráhy) pak byl minimálně 0,12 %, maximálně 21,71 % a průměrně 4,11 %. Průměrná zdánlivá jasnost meteorů zaznamenaných systémem NFC byla v uvedeném období +4,19 mag, zatímco průměrná zdánlivá jasnost meteorů zaznamenaných na přiřazených klasických kamerách sítě CEMeNt (Kroměříž ENE, Zlín N) byla +0,31 mag.

Dalším kritériem pro posouzení kvality drah meteoroidů byla úhlová odchylka proložené přímky a skutečného záznamu meteoru (cdeg) a také odchylka v přesnosti určení polohy bodů dráhy meteoru, vycházející z astrometrie hvězdného pozadí (ddeg). Obě tyto hodnoty jsou udávány v úhlových stupních. Minimální hodnota parametru ddeg ze všech 227 jednostaničních meteorů byla 0,0014, maximální 0,00591 a průměrná 0,0027, přičemž průměrná hodnota ddeg ze všech běžných kamerových systémů v síti CEMeNt v roce 2014 je 0,0347. Kamerový systém NFC je tedy v tomto směru víc jak 13× přesnější jak běžné systémy. Minimální hodnota parametru cdeg ze všech 54 jednostaničních meteorů byla 0,0009, maximální 0,00323 a průměrná 0,0015, přičemž průměrná hodnota cdeg ze všech běžných kamerových systémů v síti CEMeNt v roce 2014 je 0,0195. Kamerový systém NFC je tedy v tomto směru víc jak 13× přesnější jak běžné systémy.

Výsledky z prvního měsíce provozu dvojice stanic systému NFC jednoznačně ukazují možnosti jeho uplatnění při studiu slabých meteorů – výrazné zpřesnění orbitálních elementů drah meteoroidů ve Sluneční soustavě, možnost výzkumu stop slabých meteorů a také možnost detailního výzkumu fragmentace i v případech jasnějších meteorů.

SPEKTRA

EDMONd (*European viDeo MeteOr Network*) provádí průběžné sledování aktivity meteorických rojů prakticky nad celým územím Evropy. Od roku 2014 je součástí sítě také stanice pro spektroskopické pozorování meteorů, která je umístěna na Hvězdárně Valašské Meziříčí. K dispozici je také mobilní stanice, využívaná při nepříznivém počasí. Spektra jasných meteorů jsou pozorována na vlnové délce mezi 3000 a 9000 Å (Ångström). Cílem je vypracování katalogu,

který bude obsahovat vývoj emisního spektra meteoru v závislosti na výšce meteoru a také orbitální elementy dráhy meteoroidu, včetně jeho rojové příslušnosti. Vzhledem k parametrům systému je hlavním cílem analyzovat vývoj emisí multi-pletů sodíku (Na), hořčíku (Mg), kyslíku (O), případně železa (Fe).

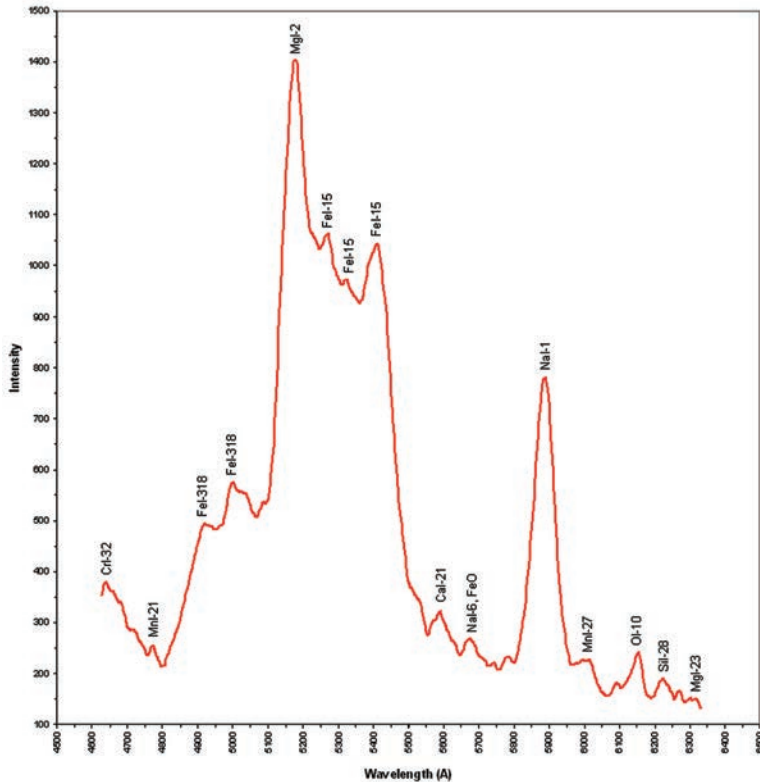


Souhrnný snímek bolidu EN091214 (20141209_161645) ze spektrografu Valašské Meziříčí.

Spektrograf využívá vysoce citlivou CCD video kameru VE 6047 EF/OSD. Kamera je vybavena 1/3" CCD čipem Sony ICX 673AKA s efektivním rozlišením 720×576 px. Video je zaznamenáno ve standardním PAL B signálu s řádkovým rozlišením 700 TVL, citlivost kamery je v BW režimu 0,002 lx. Díky světelnému (F/0,98) objektivu Tokina s proměnnou ohniskovou vzdáleností 3-8 mm, která je nastavena v tomto případě na 5 mm, je snímáno zorné pole o rozměrech $60 \times 48^\circ$. Velikost zorného pole a rozlišení CCD čipu umožňuje použití holografické difrakční mřížky s hustotou 500 čar/mm. Spektrograf v této konfiguraci dosahuje limitní hvězdné velikosti +4,5 mag, nejslabší zaznamenané meteory pak mají zdánlivou hvězdnou velikost maximálně +2,0 mag. Jasnost meteorů, u nichž je zobrazeno spektrum, musí být minimálně -2,0 mag. Zdánlivá magnituda meteoru nutná pro zobrazení spectra závisí na rychlosti meteoru, pro velmi rychlé meteory musí být minimálně -3,0 mag. Tímto způsobem lze odvodit informace o chemickém složení meteoroidů zanikajících v atmosféře a také o emisních čarách prvků vznikajících přímo při ionizaci atmosféry během průletu meteoru. Spektrograf byl uveden do provozu 19. 7. 2014, přičemž difrakční mřížka byla na spektrograf osazena 25. 7. 2014.

Záznam meteorů je proveden pomocí software UFOCapture (SonotaCo 2005), pro astrometrické a fotometrické zpracování získaných záznamů je použito software UFOAnalyzer (SonotaCo 2007). Výsledné video bylo zbaveno prokládaných snímků (de-interlacing) a rozděleno na jednotlivé snímky, na které byly následně aplikovány korekční flat field a dark snímky pořízené kamerou VE 6047 EF/OSD. Dráhy meteoroidů ve Sluneční soustavě byly počítány pomocí software UFOOrbit (SonotaCo 2007b), decelerace byla počítána mimo tento program jako exponenciální fit okamžitých rychlostí meteoru pro každý snímek. V počátcích činnosti (do 16. 10. 2014) bylo pro záznam a vyhodnocení meteorů využíváno software MetRec (Molau 1999). Od používání tohoto software bylo upuštěno, důvodem byla vysoká hladina šumu ve spektrech a také obtížný způsob zpracování výsledných souhrnných snímků spekter.

Kalibrace rozlišení spektrografu v ose x (vlnová délka) byla provedena pomocí neonové kalibrační lampy Baader, samotná kalibrace byla provedena jako nelineární, s využitím 6 multipletů emisních čar neonu na vlnové délce mezi 5852

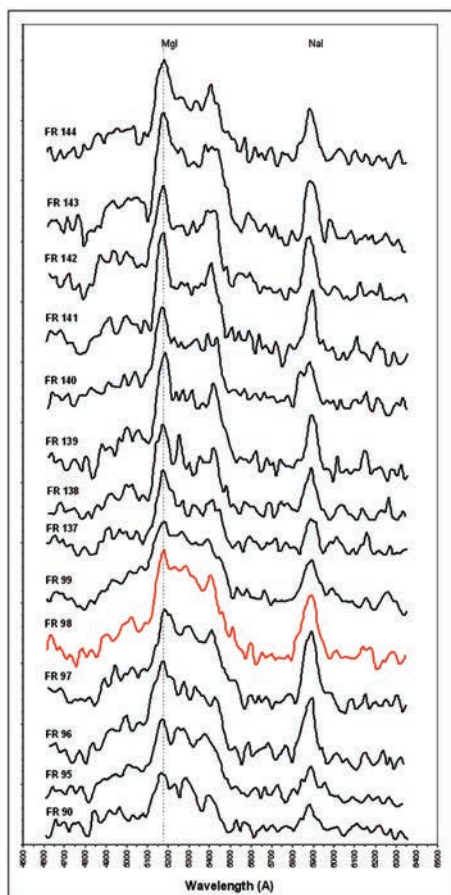


Kalibrované souhrnné spektrum bolidu EN091214, 14 snímků druhého řádu spektra.

a 7032 Å. Výsledné základní rozlišení spektrografu bylo touto metodou z celkem 5 nezávislých měření stanoveno na 30,4 Å/px. Kalibrace intenzity emisních čar (osa y) byla provedena s použitím diagramu relativní citlivosti CCD čipu Sony ICX 673AKA (Sony Corporation) na vlnové délce mezi 3500 a 9000 Å. Pro identifikaci vlnových délek emisí jednotlivých prvků bylo použito revidovaných tabulek (Moore 1972).

Pro odhad vstupní hmotnosti meteoroidů bylo použito empirické rovnice definované (Jacchia et al. 1967) na základě pozorování 413 meteorů. Rovnice definuje závislost vstupní hmotnosti meteoroidu na fotometrické absolutní magnitudě, geocentrické rychlosti meteoroidu a zenitálním úhlu pozorovaného radiantu meteoru.

V roce 2014 bylo zaznamenáno celkem 636 jednostaničních meteorů, z nichž bylo celkem 341 meteorů vícestaničních (53,6 %) a celkový počet spekter dosáhl 15. V roce 2015 (do 30. 4. 2015) bylo zaznamenáno 117 jednostaničních meteorů, z toho 84 vícestaničních (71,7 %), počet spekter dosáhl 3. Nejvyšší zastoupení mají sporadické meteory (8), následují PER (6), CAP (3), KCG (2) a BCA, ZCS, SAP, NTA, DSA, GEM, SPE, SDL a LYR (všechny roje po jednom spektru). Největším úspěchem bylo zaznamenání spektra bolidu EN091214 „Žďár“ (20141209_161645), jedná se o teprve druhý případ na světě, kdy bylo zaznamenáno spektrum meteoru a také byl nalezen fragment meteoritu. V tomto případě byla provedena nejen spektrální analýza prvního řádu spektra, ale také ucelená analýza druhého řádu spektra, včetně vývoje emisí jednotlivých prvků v závislosti na výšce meteoru nad povrchem Země. Při analýze druhého řádu spektra byly kromě běžných multiplétů (FeI, MgI, NaI, OI) nalezeny také emisní čáry chromu (CrI), manganu (MnI) a také oxidů železa (FeO), vápníku (CaI) a křemíku (SiI).



Průběh emisí prvků při průletu bolidu EN091214 v závislosti na výšce meteoru, 14 snímků druhého řádu spektra.

Stávající rozlišení spektrografu neumožňuje rozlišení některých emisních čar různých prvků, případně jejich multipletů. Cestou pro zlepšení rozlišení je instalace kamery QHY 5L-II M s rozlišením 1280 × 960 px, která ve spojení s difrakční skleněnou mřížkou s 830 čarami na mm umožní analyzovat spektra s rozlišením kolem 10 Å/px.

Vznik základních molekul RNA světa během bombardování planety Země mimozemskými tělesy

Martin Ferus¹, Antonín Knížek¹, a Svatopluk Civiš¹

¹Ústav fyzikální chemie Jaroslava Heyrovského, v.v.i., Akademie věd České republiky, Dolejškova 3, 18223 Praha 8, Česká republika

E-mail: martin.ferus@jh-inst.cas.cz

1. Úvod

Konec období pozdního bombardování planety Země před necelými 4 miliardami let koinciduje s prvními nálezy geologických struktur, jejichž izotopové složení je dáváno do souvislosti s existencí primitivních živých forem na naší planetě. Tato souslednost naznačuje, že dopady mimozemských těles snad mohly přispět k vytvoření prvních molekul, které se staly součástí složitějších organických systémů. Období silného bombardování je přitom přímým důsledkem evoluce sluneční soustavy, jak předpokládá nejnovější teorie NICE (Bottke, W. F. et al. 2012). Prezentovaný výzkum naznačuje, že vznik života mohl proběhnout jako výsledek této vývojové etapy formování našeho solárního systému. Pomocí výkonového laserového systému PALS jsme laboratorně simulovali vysoce energetickou syntézu bází nukleových kyselin a cukrů z formamidu a paraformaldehydu při dopadu mimozemského tělesa. (Ferus, M. et al. 2015) Laser poskytující energii až 1 000 J byl použit k indukci dielektrického průrazu v plynu a vytvoření plazmatu simulujícího impakt, při kterém stejně jako v laserové jiskře dochází k termálnímu rozkladu molekul a vzniku radikálů, které následně reagují s mateřskou molekulou, přičemž podle našich zjištění dochází k syntéze kanonických nukleových bází i cukrů. Vzorky formamidu vystavené působení laserového plazmatu v přítomnosti celé řady katalyzátorů stejně jako vzorky paraformaldehydu byly analyzovány pomocí absorpční vysoce rozlišené infračervené spektroskopie s Fourierovou transformací a plynové chromatografie GC–MS. Experimenty byly doplněny referenčními měřeními pomocí emisní časově rozlišené infračervené spektroskopie formamidového plazmatu ve výboji pozitivního sloupce a teoretickými výpočty zaměřenými na modelování reakční

kinetiky a o kvantově chemický popis reakčních cest.

2. Výsledky

Hlavními stabilními produkty disociace formamidu jsou HCN, HNCO, CO, CO₂, H₂O a NH₃. (Ferus, M. et al. 2011a) V pevných vzorcích byl též identifikován HCN trimer. Klíčovou roli při vzniku těchto hlavních jednoduchých molekulárních látek termálními procesy hrají reakce dehydratace, dehydrogenace a dekarboxylace mateřské sloučeniny. V plazmatu nicméně dochází k nárůstu teploty až na 4500 °C, a tak prvotními produkty disociace formamidu nejsou stabilní látky, ale radikály $\cdot\text{CN}$, $\cdot\text{NH}$ a $\cdot\text{CH}$ detegované emisní spektroskopii (Ferus, M. et al. 2011b). Znalost disociační chemie formamidu na tyto nestabilní produkty je klíčová pro nalezení reakčních cest, které jsou z energetického hlediska přijatelné pro tak náročné procesy, jako je vznik nukleových bází. Studium produktů laserového plazmatu pomocí absorpční FT spektroskopie s vysokým rozlišením nicméně odhalilo vedle jednoduchých molekulárních produktů (HCN, NH₃, CO a dalších) také molekuly 2-amino-2-hydroxy-malononitril (zkráceně AHMN) a 2-amino-2-hydroxy-acetonitril (zkráceně AHAN) (Ferus, M. et al. 2012).

Na základě teoretických výpočtů v oblasti reakčního mechanismu bylo prokázáno, že zmíněné meziproducty AHAN a AHMN vznikají reakcí mateřské molekuly formamidu s radikálem $\cdot\text{CN}$ (kinetický chemický model předpokládá podíl mezi hlavními produkty 55 % $\cdot\text{CN}$, 4 % $\cdot\text{NH}$ resp. $\cdot\text{NH}_2$ a 41 % stabilních molekul CO). Na základě poznatku o formování meziproductů AHAN a AHMN při porovnání s výsledky termodynamických výpočtů bylo zjištěno, že lze usuzovat na zcela nový mechanismus vzniku nukleových bází působením vysoce energetického plazmatu, které generuje nestabilní radikály reagující s mateřskou sloučeninou za vzniku meziproductů AHAN, AHMN a dalších až po nukleové báze. Teoretický termodynamický model následně prokázal, že dalšími reakčními kroky je klasická fotoindukovaná izomerace diaminomaleonitrilu (DAMN) na 2,3-diaminofumaronitril (DAFN). DAFN je stejně jako v případě termální klíčovým meziproductem, z něhož však tentokrát vychází tvorba všech pěti kanonických bází RNA.

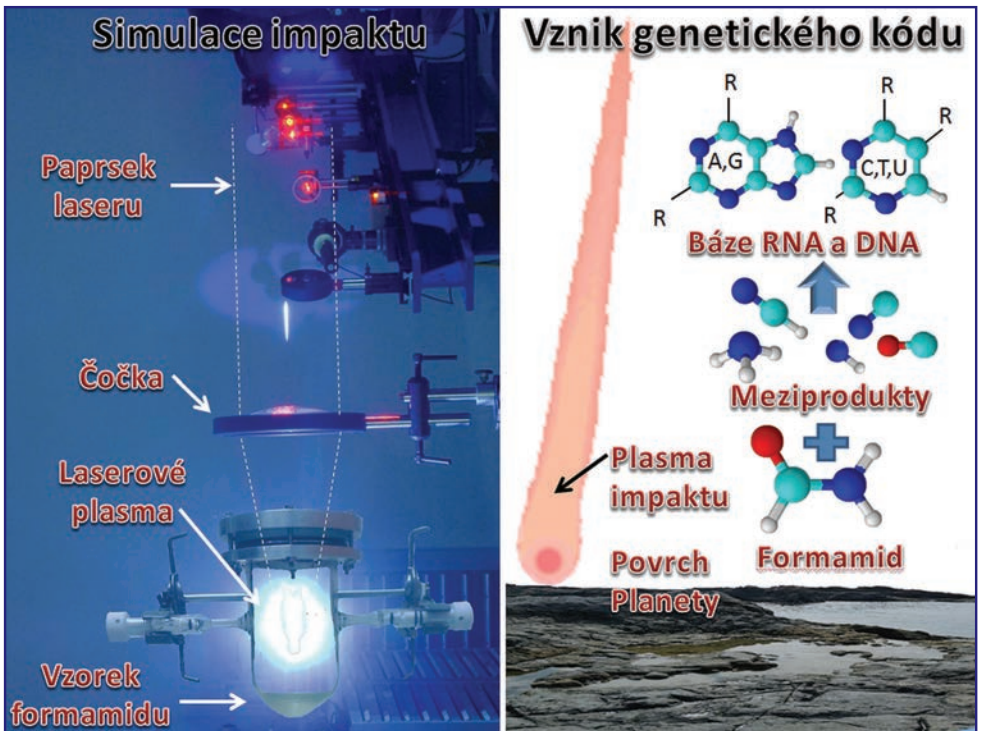
Prvním z mechanismů je opětovná absorpce UV fotonu za vzniku AICN (5-aminoimidazolkarbonitril). Během následné sekvence reakcí, při kterých dochází postupně k ataku $\cdot\text{CN}$ radikálem a vodíkovým radikálem, je syntetizován adenin. Jestliže dojde místo reakce s vodíkovým radikálem k následnému střetu s radikálem $\cdot\text{NH}_2$, dochází ke vzniku 2,4-diaminopurinu, který podléhá adici vody spojené s deaminací za vzniku guaninu.

Druhá reakční cesta vede ke tvorbě pyrimidinových bází. DAFN reaguje s kyanidovým radikálem $\cdot\text{CN}$ a vodíkovým radikálem $\text{H}\cdot$, přičemž produkty současně deaminují a dehydratují. Dochází tak k nepřerušnému sledu reakcí za vzniku cytosinu. Cytosin hydrolyzuje a deaminuje za tvorby uracilu. Ačkoliv v případě

ozařování formamidu v přítomnosti jílu se podařilo získat také thymin, z hlediska prebiotické syntézy má syntéza thyminu spíše omezený význam, zejména uvažujeme-li hypotézu RNA světa. Existují důkazy existence DNA s inkorporovaným uracilem u nižších forem života. Lze tedy soudit, že živé struktury mohly uracil na thymin v určitém pozdějším stadiu vývoje aktivně začít přeměňovat samy.

3. Shrnutí

Až dosud se přirozeně předpokládalo, že časté dopady mimozemských těles na povrch Země by musely zničit veškerý život, pokud by nějaký tehdy před téměř 4 miliardami let existoval. Poslední výzkumy však naznačují, že v době silné impaktní činnosti mohlo dojít ke vzniku součástí prvotních životních forem. Teoretický kinetický model spolu s experimentálními výsledky ukázal, že primárními produkty disociace mateřské molekuly formamidu jsou jak neutrální molekuly HCN, NH₃ a CO, tak radikály ·CN, ·NH, ·NH₂ a H·. Tyto radikály reagují zpětně s formamidem za vzniku nukleových bází – adeninu, guaninu, cytosinu, uracilu i thyminu. Klíčovou roli iniciátora těchto chemických reakcí přitom hraje radikál



Projekce dvojjstaničních drah meteoroidů ve Sluneční soustavě z NFC stanic Kroměříž a Valašské Meziříčí.

·CN, který je v plazmatu poměrně stabilní díky velmi vysoké disociační energii vazby a zároveň díky příznivým Frankovým-Condonovým faktorům dosahuje celé řady excitovaných rotačních, vibračních a elektronových stavů, v nichž je schopen interagovat s řadou molekul. Plní tak roli dokonale stabilního energeticky bohatého reaktantu.

Syntéza bází v impaktním plazmatu simulovaná pomocí výkonovým laserem indukovaného LIDB ukazuje způsob, jakým lze syntetizovat základní molekuly v jedné směsi v jednom místě a v jednu dobu (tzv. *one-pot reaction*). Je tedy možné, že pokud se na jednom místě v jednu chvíli vyskytly všechny potřebné nukleové báze, mohlo dojít k jejich interakci a eventuálnímu výskytu prvních autoreprodukce schopných molekul.

Poděkování: Prezentovaný výzkum byl podpořen Grantovou agenturou České republiky v rámci projektu 14-12010S.

4. Literatura

- Bottke, Vokrouhlicky, Minton, et al. 2012, *Nature*, 485, 78–81
Ferus, Nesvorný, Šponer, et al. 2015, *Proc. Natl. Acad. Sci.*, 112, 657–662
Ferus, Kubelik & Civis. 2011a, *J. Phys. Chem. A*, 115, 12132–12141
Ferus, Kubelik, Kawaguchi, et al. 2011b, *J. Phys. Chem. A*, 115, 1885–1899
Ferus, Civis, Mladek, et al. 2012, *J. Am. Chem. Soc.*, 134, 20788–20796

Binární, párové a vícenásobné asteroidy

Petr Pravec, Astronomický ústav AV ČR, Fričova 298, 251 65 Ondřejov

Planety sluneční soustavy jsou v hojné míře provázeny satelity. Týká se to jak velkých (standardních) planet, tak i planetek. Většina satelitů planet je poměrně malá, řádově menší, než planeta samotná, ovšem známe i systémy s velkými satelity. Příkladem takové binární planety je soustava Země-Měsíc.

V populaci planetek (asteroidů) je výskyt binárních systémů hojný, zejména mezi asteroidy o velikostech menších než 15 km. Odhadujeme, že přibližně 15% asteroidů s velikostma mezi 0,2 a 15 km jsou binární soustavy. Část z nich obsahuje i třetí těleso (druhý satelit) a jsou tedy trojnými systémy. A také se mezi nimi vyskytují tzv. párové asteroidy, které obíhají kolem Slunce po samostatných, ale velmi podobných drahách.

Vlastnosti těchto asteroidálních systémů ukazují na mechanismus jejich

vzniku rotačním štěpením asteroidů, jejichž struktura je typu *rubble pile*, tedy s nulovou či zanedbatelnou pevností v tahu, vázaných pohromadě pouze vlastní gravitací. Jako mechanismus roztáčení asteroidů k jejich kritické úhlové frekvenci byl navržen tzv. **YORP efekt**, který je důsledkem asymetrického tepelného vyzařování z nepravidelného povrchu asteroidu.

I když soustava Země-Měsíc vznikla jinak, než asteroidální soustavy, může nám posloužit pro užitečné srovnání. Některé její vlastnosti jsou totiž podobné, jako vlastnosti asteroidálních soustav. Konkrétně, **podobnosti** jsou následující:

- 1) Jak soustava Země-Měsíc, tak i typický binární asteroid vykazují podobné poměry velikosti složek. V případě soustavy Země-Měsíc je $D_2/D_1 = 0.27$, pro binární asteroidy je typický rozsah 0,16-0,50.
- 2) Sekundár rotuje synchronně ($P_2 = P_{orb}$), zatímco primár rotuje podstatně rychleji.
- 3) Dráha satelitu je jen mírně excentrická; $e = 0,055$ pro Měsíc, podobné hodnoty u binárních asteroidů.

Jsou však i **podstatné rozdíly**, zejména tyto:

- 1) Oběžná perioda Měsíce je 27,3 dne, ovšem u binárních asteroidů je typicky v řádu 1 dne.
- 2) Rotační perioda Země je 24 hodin, primáry binárních asteroidů však rotují s periodama typicky 2-4 hodiny (blízko mezní frekvence pro gravitačně vázaná tělesa).
- 3) Albedo Měsíce je výrazně odlišné od albeda Země, kdežto albedo složek binárních asteroidů jsou stejná nebo podobná.

Hlavními současnými pozorovacími metodami pro studium asteroidálních soustav jsou:

- 1) Radarová pozorování (pro blízkozemní asteroidy).
- 2) Fotometrická měření (efektivní pro těsné systémy, v nichž často dochází k zákrytům/zatměním mezi složkami).
- 3) Adaptivní optika (pro vzdálené satelity, které se však vyskytují jen vzácně). Všechny tyto metody mají své limity; je zde prostor pro další techniky detekce binárních asteroidů (viz níže).

Bylo navrženo **tři mechanismy vzniku asteroidálních soustav**:

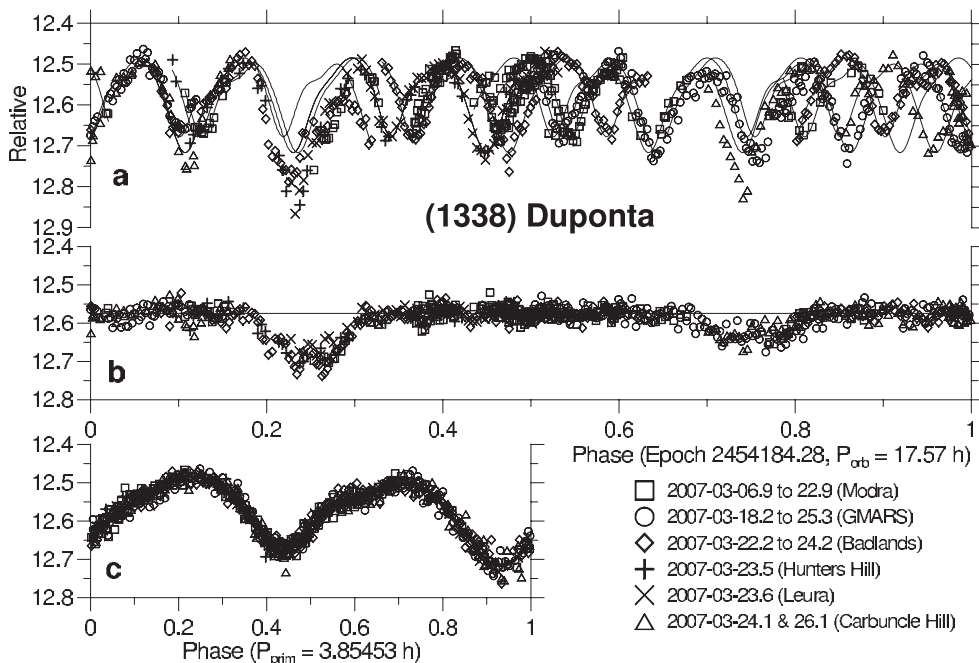
- 1) Vyvržení materiálu primáru při srážce s jiným asteroidem.
- 2) Rotační štěpení.
- 3) Slapové roztržení asteroidu při těsném průletu kolem terestrické planety.

Naše pozorovací důkazy svědčí o tom, že **dominuje mechanismus rotační-**

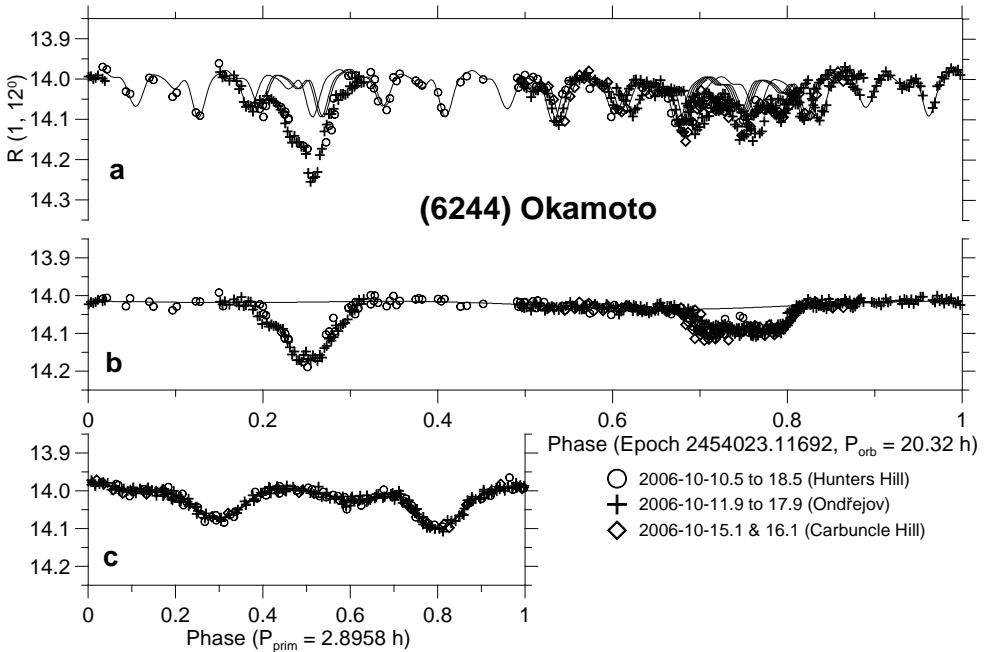
ho štěpení. Nutnou podmínkou pro fungování tohoto mechanismu je struktura asteroidu typu rubble pile, tedy o těleso držené pohromadě pouze vlastní gravitací (bezkohezní struktura). Toto splňují asteroidy v intervalu 0,2 až 15 km, proto se binární asteroidy vyskytují téměř výlučně v tomto intervalu velikostí.

Jako mechanismus roztáčení bezkohezních asteroidů ke kritické frekvenci byl navržen **Yarkovsky-O'Keefe-Radzievskii-Paddack (YORP) efekt**. Jde o efekt asymetrického tepelného vyzařování z nepravidelného povrchu asteroidu, které způsobuje výsledný silový moment, který roztáčí nebo zpomaluje rotaci asteroidu. Pro asteroidy o velikostech řádově kilometry působí na časové škále řádově desítky milionů let.

V současnosti **známe cca 150 binárních/trojných asteroidálních soustav** (zhruba 1/3 z nich jsou blízkozemní, 2/3 v hlavním pásu) a 200 párových asteroidů (všechny v hlavním pásu). V tomto vzorku binárních asteroidů se projevují výrazné výběrové efekty našich současných metod jejich detekce. Nejsilnějším zkreslením je, že současné metody jsou téměř nebo zcela neúčinné pro detekci středně širokých binárních asteroidálních soustav s orbitálními periodami mezi 100-1000 h. Ke studiu těchto zatím praktických neznámých binárních systémů potřebujeme vyvinout nové metody. Nadějnou se jeví metoda detekce binárních asteroidů dle variace fotocentra, kterou plánujeme aplikovat na astrometrická



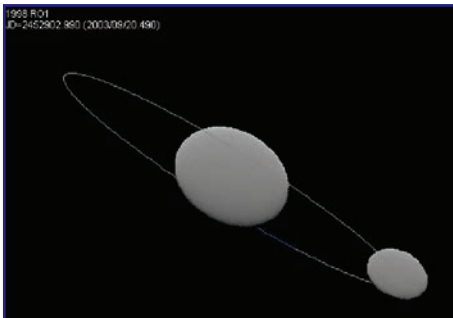
Obr. 1: Světelná křivka binárního asteroidu (1338) Duponta; a) originální data, b) zákrytová složka po odečtení primární křivky, c) primární rotační křivka.



Obr. 2: Totéž, co obr. 1, ale pro (6244) Okamoto.

měření získané sondou Gaia.

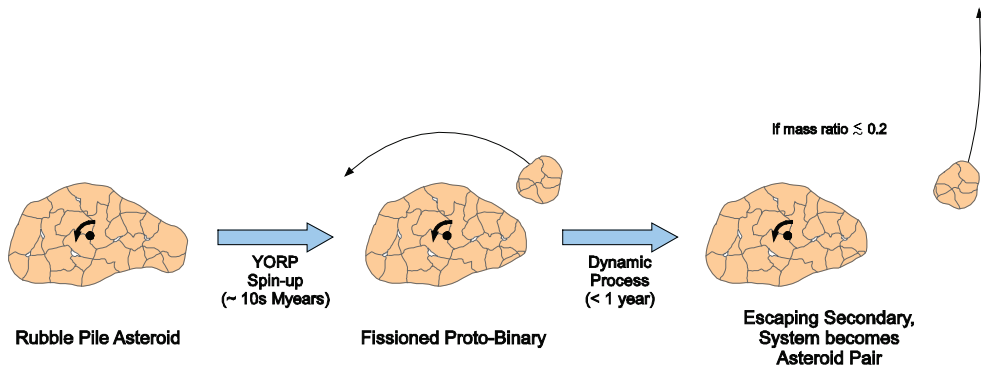
Závěrem zmiňuji, že studium binárních, párových a vícenásobných asteroidálních systémů je stále velmi mladým oborem, který však již přinesl významné nové poznatky o vlastnostech asteroidů, jejich struktuře a procesech jejich vzniku a vývoje. Je zde velký potenciál získat další zásadní poznatky v blízké budoucnosti.



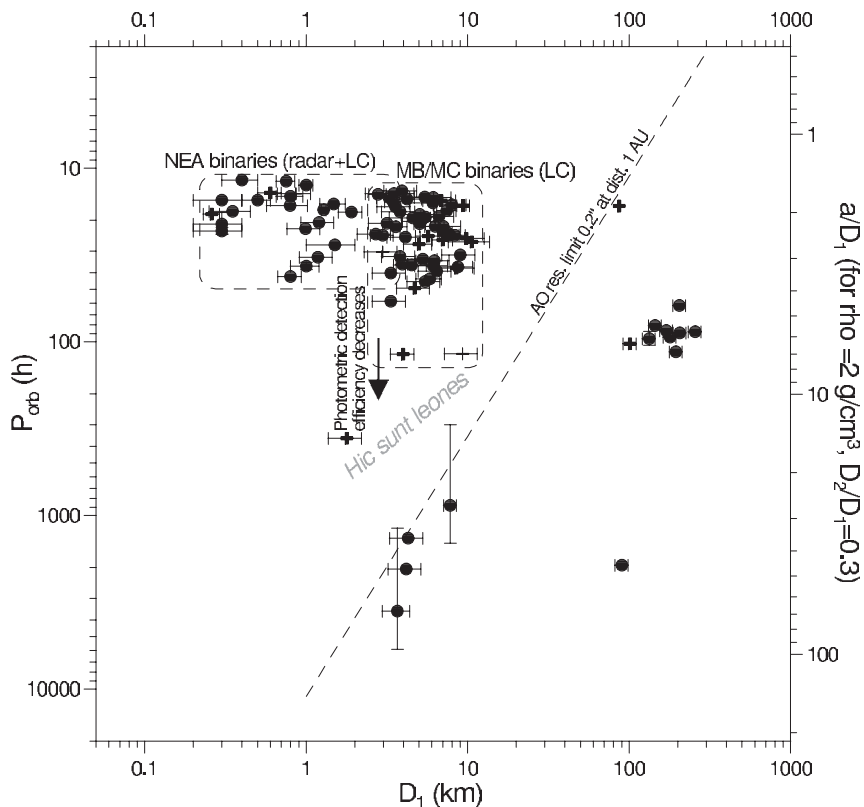
Obr. 3: Model binárního asteroidu z fotometrických dat.



Obr. 4: Model binárního asteroidu (66391) 1999 KW4 z radarových měření, získaných během jeho těsného přiblížení k Zemi.



Obr. 5: Proces rozpadu asteroidu s rubble pile strukturou roztačený YORP efektem a následný vznik asteroidálního páru.



Obr. 6: Rozložení známých binárních asteroidů v prostoru P_{orb} - D_1 . Hic sunt leones označuje oblast, kde jsou současné techniky detekce binárních asteroidů neúčinné a kde bude prostor pro detekci binárů z dat ze sondy Gaia.

Meteorické roje a ich materské telesá

L. Kornoš, FMFI Univerzita Komenského v Bratislave

Meteor je svetelný úkaz, ktorý spájame s prienikom medziplanetárneho telieska do atmosféry Zeme. Úkaz prebieha v závislosti od vstupnej rýchlosti a pevnosti materiálu častice vo výškach okolo 100 km nad povrchom Zeme. Za meteorický roj považujeme sériu meteorov zdanlivo vyletujúcich z určitej malej oblasti na oblohe, nazývanej radiant, v pomerne krátkom časovom období od minút až po niekoľko dní. Meteorický roj je spôsobený prúdom medziplanetárnych prachových častíc rôznych rozmerov, meteoroidov, pochádzajúcich zo spoločného materského telesa, kométy alebo asteroidu.

Uvoľňovanie materiálu z jadra kométy sa deje na základe sublimácie ľadov v blízkosti perihélia kométy. Únikové rýchlosti prachových častíc sú okolo 10-100 ms. Častice sú pravidelne dopĺňané počas jednotlivých návratov kométy, vytvárajú sa vlákna, ktoré sa premiešavajú a častice sa postupne rozptyľujú do sporadického pozadia pôsobením gravitačných porúch a negravitačných efektov. Vznik prúdu meteoroidov z asteroidu sa spravidla spája s jednorazovou udalosťou, akou je zrážka s iným asteroidom, slapový rozpad alebo tiež niektorým dlhodobým procesom, napr. tepelným prnutím, kozmickým zvetrávaním, YORP efektom (*Yarkovsky–O'Keefe–Radzievskii–Paddack*).

Identifikácia prúdu a tiež vzájomný súvis prúdu s potenciálnym materským telesom sa určuje na základe podobnosti orbitálnych parametrov, ako napr. Southworth-Hawkinsovo (1963) kritérium, alebo na základe podobnosti pozorovaných parametrov (napr. Valsecchi a kol., 1999).

Ako jeden z prvých si súvislosť meteorického roja s materskou kométou uvedomil taliansky astronóm G. Schiaparelli, ktorý spojil roj Perzeíd s kométou Swift-Tuttle a Leonidy s kométou Tempel-Tuttle. Pre viaceré meteorické roje materské teleso poznáme. Sú to známe roje, ako Perzeidy, Leonidy, Lyridy, Orionidy, eta Akvaridy, Geminidy a i. Ide o roje, ktorých dráhové parametre, polohy radiantov a geocentrické rýchlosti sa výrazne odlišujú od „pozadia“ a ich materské telesá sú pomerne jednoducho identifikovateľné.

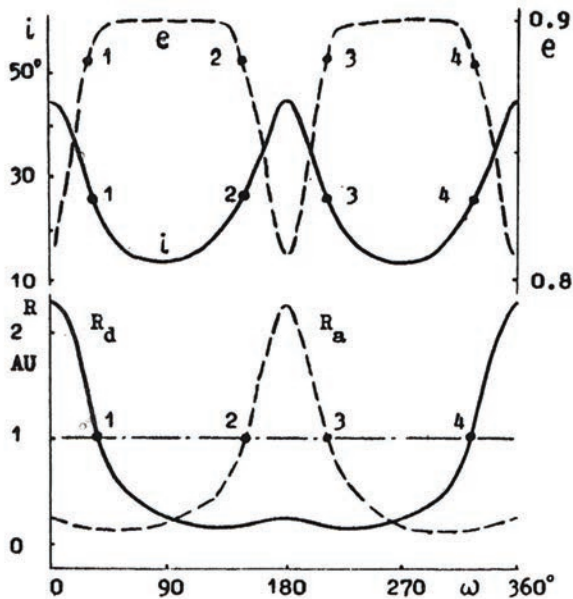
Nie vždy sa dá materské teleso rozpoznať jednoducho alebo jednoznačne. Dôvodov môže byť niekoľko:

- kometárne jadro je v súčasnosti neaktívne
- materské teleso je na inej dráhe ako meteorický prúd
- materské teleso sa už rozpadlo
- meteorický prúd je veľmi široký, difúzny, slabý
- numerická integrácia do minulosti je nespoľahlivá vďaka tesným priblíženiam napr. k Jupiteru, alebo v blízkosti rezonancií

- ide o blízkoekliptikálny prúd s menšími excentricitami, kde je veľa telies na podobných dráhach.

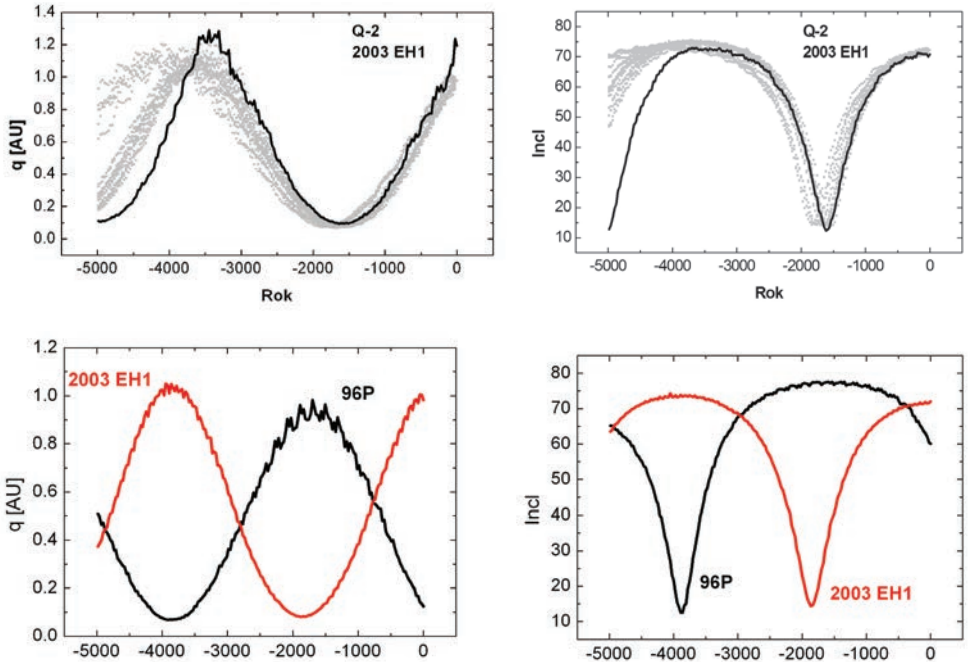
Jedno teleso môže byť zdrojom viacerých prúdov. Typickým príkladom je kométa 1P Halley, ktorá prechádza v blízkosti dráhy Zeme v oblúku pred perihéliom aj po perihéliu, a dáva tak vznik meteorickým rojom Orioníd a eta Akvaríd.

Dôvodom komplikovanej identifikácie môže tiež byť pohyb materského telesa v Kozaiho rezonancii (Kozai, 1962), kde počas jedného cyklu argumentu šírky perihélia môžu nastať významné zmeny dráhových elementov q , e , i . Dĺžka cyklu pre blízkozemské asteroidy alebo kométy Jupiterovej rodiny je niekoľko tisíc rokov a zmeny v sklone dráhy môžu dosahovať aj niekoľko desiatok stupňov. Schematický náčrt je na Obr. 1 (Babadzhanov, Obruchov 1987). Každý prechod výstupného alebo zostupného uzla v blízkosti dráhy Zeme počas tohoto cyklu môže produkovať meteorický roj.



Obr. 1. Schematický náčrt vývoja sklonu dráhy, excentricity a heliocentrickej vzdialenosti výstupného a zostupného uzla (R_a , R_d) počas jedného cyklu argumentu šírky perihélia. Častice uvoľnené v čase, keď je R_a alebo R_d vo vzdialenosti 1 AU, môžu byť zodpovedné za vznik pozorovateľného roja v zemskej atmosfére. Podľa Babdzhanova a Obruchova (1987).

Příkladem velkých změn dráhových parametrů počas niekoľko tisíc rokov



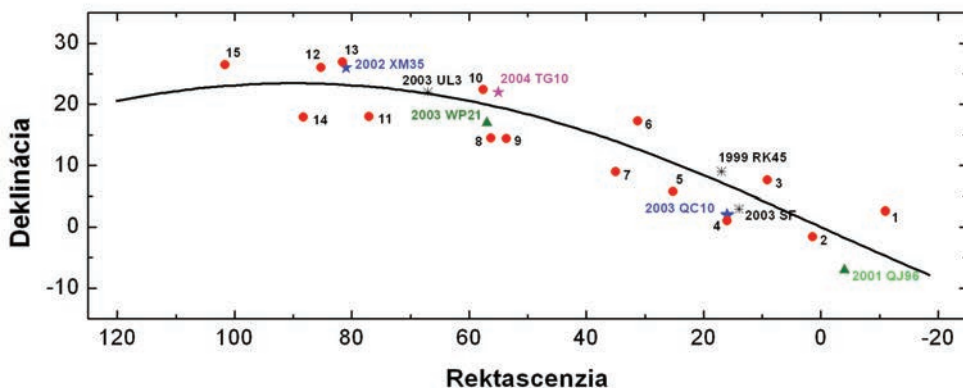
Obr. 2. Vývoj perihélievej vzdialenosti a sklonu dráhy jedného filamentu prúdu a Jenniskensom nedávno navrhnutého materského telesa s označením 2003 EH1. Jenniskens (2004) predpokladá, že ide o spiacu alebo vyhasnutú kométu. Viacerí autori navrhli ako materské teleso Kvadrantíd kométu 96P Machholz. Dráhové elementy q , e , i Kvadrantíd, asteroidu 2003 EH1 a aj kométy 96P sa cyklicky menia v intervale niekoľko tisíc rokov, ale kométa má oproti Kvadrantidám a asteroidu cyklus posunutý v čase o cca 2000 rokov (Obr. 2.). Neslušan a kol. (2013a,b) však na základe dráhového vývoja 10 000 modelových častíc, vypustených z každého potenciálneho materského telesa v minulosti, ukázali, že z oboch telies vznikne takmer identický komplex 6 meteorických rojov, 4 ekliptikálne a 2 toroidálne. Štyri z nich sa dajú stotožniť s dobre známymi rojmi. Kvadrantidy tak radíme medzi meteorické komplexy.

je meteorický roj Kvadrantíd. Na Obr. 2 je náčrt vývoja perihélievej vzdialenosti a sklonu dráhy jedného filamentu prúdu a Jenniskensom nedávno navrhnutého materského telesa s označením 2003 EH1. Jenniskens (2004) predpokladá, že ide o spiacu alebo vyhasnutú kométu. Viacerí autori navrhli ako materské teleso Kvadrantíd kométu 96P Machholz. Dráhové elementy q , e , i Kvadrantíd, asteroidu 2003 EH1 a aj kométy 96P sa cyklicky menia v intervale niekoľko tisíc rokov, ale kométa má oproti Kvadrantidám a asteroidu cyklus posunutý v čase o cca 2000 rokov (Obr. 2.). Neslušan a kol. (2013a,b) však na základe dráhového vývoja 10 000 modelových častíc, vypustených z každého potenciálneho materského telesa v minulosti, ukázali, že z oboch telies vznikne takmer identický komplex 6 meteorických rojov, 4 ekliptikálne a 2 toroidálne. Štyri z nich sa dajú stotožniť s dobre známymi rojmi. Kvadrantidy tak radíme medzi meteorické komplexy.

Otázka komplexov sa vynorila predovšetkým v súvislosti s problematickým vysvetlením veľmi dlhej aktivity meteorického prúdu Tauríd. Komplex Tauríd je rozsiahly blízkoekliptikálny difúzny prúd s nezvyčajne dlhou jesennou aktivitou.

Je tvorený predovšetkým Severnými a Južnými Tauridami, geneticky súvisí s kometou Encke, je k nemu asociovaných niekoľko menších meteorických rojov a viacero asteroidov typu Apollo. Pre vznik komplexov je charakteristická hypotéza, že jej členy pochádzajú z jedného veľkého telesa podobného Chironu, ktoré sa mohlo rozpadnúť vo vnútorných oblastiach slnečnej sústavy. Keďže komplex sa nachádza v blízkosti ekliptiky, je problém z dôvodu prítomnosti veľkého počtu blízkozemských telies správne určiť jeho materské teleso (telesá). Dynamické štúdie pomáhajú identifikovať potenciálne telesá, ale chýbajú fyzikálne pozorovania, ktoré by pomohli určiť jednoznačné priradenie. Na Obr. 3 je príklad takejto identifikácie, kde čísla označujú niektoré meteorické roje priradené ku komplexu: 1-4 sa dajú stotožniť s Južnými a Severnými Piscidami, 6 s beta Arietidami, 7-10 so Severnými a Južnými Tauridami, 13 a 14 s chi Orionidami.

S neustále narastajúcim počtom objavov NEO objektov a meteorických rojov pozorovaných najmä videotechnikou sa identifikácia nezjednodušuje, ale naopak, aj napriek bohatšiemu pozorovaciemu materiálu sa ešte viac komplikuje.



Obr. 3. Filamenty a NEO objekty priradené ku komplexu Tauríd (Kornoš, 2005).

V r. 1959 a 2002 padli dva meteority, Příbram a Neuschwanstein. Prekvapujúce bolo zistenie, že v medziplanetárnom priestore sa pohybovali po takmer identických dráhach (Spurný a kol., 2003). Z ďalších analýz vyplynulo, že zložením a radiačným vekom ide o úplne odlišné meteority, preto autori navrhli existenciu heterogénneho prúdu. Analýzou vzniku takéhoto prúdu vďaka slabovému rozpadu asteroidu v gravitačnom poli Zeme Tóth a kol. (2011) ukázali, že možnosť detekcie po rozpade známeho asteroidu Itokawa, ako prototypu materského telesa, by bola extrémne nízka, čo vyžaduje dlhodobé pozorovania. Meteorické prúdy asteroidálneho pôvodu sa ukazujú byť podstatne redšie a ťažšie identifikovateľné, sú však zdrojmi meteoritov, preto ich štúdium ostáva aktuálnou otázkou.

Referencie

- Babadzhanov, P.B., Obrubov, Yu. In *Interplanetary Matter*, (eds.) Z. Ceplecha and P. Pecina, *Publ. Astron. Inst. Czechosl. Acad. Sci.*, 67, (1987), 141-150
- Jenniskens, P., *Astron. J.*, 127, (2004), 3018-3022
- Kornoš L., *MFF UK*, (2005), Bratislava
- Kozai Y., *Astron. J.*, 67, (1962), 591-59
- Neslušán L., Kaňuchová Z., Tomko D., *Astron. Astrophys.*, 551, A87, (2013a), 1
- Neslušán L., Hajduková M., Jakubík M., *Astron. Astrophys.*, 560, A47, (2013b), 10
- Southworth R.B., Hawkins G.S., *Smithson. Contr. Astrophys.*, 7, (1963), 261-285
- Spurný P., Oberst J., Heinlein D., *Nature*, 423, (2003), 151-153
- Tóth J., Vereš P., Kornoš L., *Mon. Not. R. Astron. Soc.*, 415, (2011), 1527-1533
- Valsecchi G.B., Jopek T.J., Froeschlé Cl., *Mon. Not. R. Astron. Soc.*, 304, (1999), 743-750

Záporné ionty, jejich identifikace v laboratoři a v mezihvězdném prostoru

Svatopluk Civiš, Ústav fyzikální chemie J. Heyrovského, Dolejškova 3, 182 23
Praha 8

V rámci studia předpokládaných chemických pochodů v mezihvězdném prostoru je zmíněn mechanismus základní interstelární chemie, demonstrováný na pochodech probíhajících vlivem mezihvězdného vodíku a uhlíku. Hlavní pozornost je věnována možnosti laboratorního měření rotačních spekter kationtů a aniontů a jejich následné identifikaci v mezihvězdném prostoru. Podrobněji jsou diskutovány současné znalosti o chování a detekci astronomicky nejzajímavějších a nejnadějnějších kandidátů aniontů: SH^- , C_7^- , C_2^- a CN^- .

Úvod

Ačkoli ionty jsou vzácnými látkami v zemské atmosféře a v laboratoři, existují a jsou rozšířeny v určitých oblastech vnějšího vesmíru. To je důsledkem neobvyklé a výjimečné povahy astronomických podmínek jako je vysoká radiativní teplota, ionizace kosmickým zářením a malá hustota částic. Z těchto důvodů

byla spektra ionizovaných látek často poprvé pozorována v astronomických objektech. Například spektra vysoce ionizovaných atomů byla poprvé objevena v koruně slunce [1]. Zakázané atomární přechody O^+ , O^{++} , N^+ atd. byly původně nalezeny v mlhovinách a proto se nazývají linie nebula [2]. První spektrum molekulárního iontu CO^+ bylo pozorováno v ohonu komety a doposud je nazýváno comet tail system [3].

Záporně nabité ionty

K látkám, které byly teprve nedávno identifikovány v mezihvězdném prostoru, patří záporně nabité ionty. Chemická role záporných iontů uvnitř jak plyných tak i prachových mezihvězdných oblaků není zcela jasná. Mnoho chemických reakcí v interstelární chemii je velice úzce spjata s chemickými reakcemi kationtů, toto však nevylučuje ani úlohu aniontů, jejichž příspěvek v řetězci vzniku mezihvězdných molekul byl již dříve konstatován Dalgarnem i McCrayem [4].

Problémem je, že většina molekul ve vesmíru byla identifikována v radiofrekvenční oblasti spektra, tedy v oblasti rotačních pohybů molekul.

Doposud bylo v laboratoři v plynné fázi studováno 19 aniontů pomocí vysoce rozlišené spektroskopie: OH^- , SH^- , N_2H^- , N_3^- , NCO^- , NCS^- , NH^- , HNO^- , FHF^- , $ClHCl^-$ a C_2^- [15].

V mikrovlnné oblasti spekter byly studovány ionty SH^- , SD^- , CN^- , NCO^- , C_3N^- , C_4H^- , C_5N^- , C_6H^- , C_8H^- a NCO^- . Většina těchto iontů již taktéž byla nalezena v mezihvězdném prostoru.

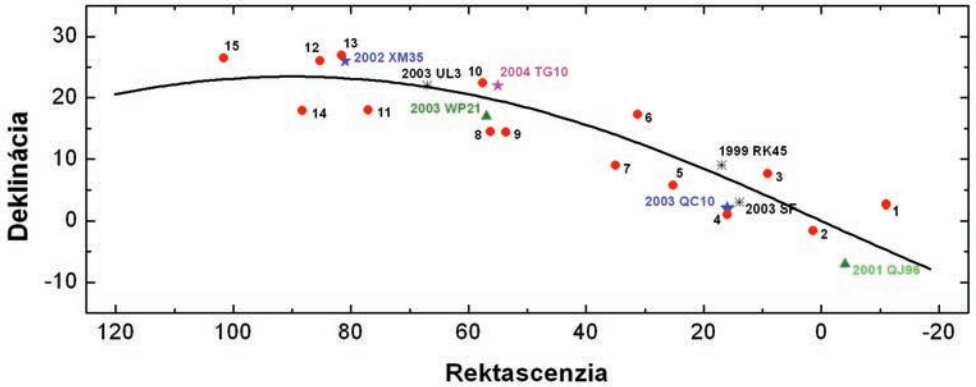
Pro identifikaci nových specií v mezihvězdném prostoru je nutná detailní znalost jejich spekter.

V této přednášce budou diskutovány laboratorní studie mikrovlnných spekter anionů SH^- a SD^- , které byly měřeny v infračervené a mikrovlnné oblasti spektra. Nedostatečné znalosti rotačních spektrech aniontů lze vysvětlit působením různých faktorů a jejich kombinací [5], [6] a [7]:

1. Prvotním problémem je nalezení vhodných experimentálních podmínek k přípravě aniontu v dostatečném množství pro jeho spektroskopickou identifikaci. Tlakové rozšíření linií ležících v mikrovlnné oblasti spekter vzhledem k rozlišení je veliké, proto je nutno pracovat při měření spekter za poměrně nízkého tlaku (10^{-1} - 10^{-2} mbar), často o řád či dva nižšího než v IČ oblasti. Optimální podmínky pro přípravu iontů nalezených při experimentech v IČ nebo ve viditelné spektrální oblasti se musí přizpůsobit tlakovým podmínkám v MW oblasti, což často vede k tomu, že příslušný ion lze jen velice těžko detegovat.
2. Nejjednodušší chemicky stabilní anionty jsou malé a lehké molekuly. Z hlediska vysoce rozlišené spektroskopie to znamená, že základní rotační ($J=1 \leftarrow 0$) linie sama o sobě leží frekvenčně vysoko, mimo dosah standard-

ních laboratorních spektrometrů. Často se stává, že i v případě užití spektrometru speciálně konstruovaného pro danou oblast je spektrum reprezentováno pouze jednou linií a další linie jsou technicky nedostupné.

3. Dalším neméně závažným problémem je identifikace linie iontu od linie neutrálních molekul výchozích látek, či linií dalších vznikajících částic.
4. Pouze u iontů příslušejících jinému než Σ základnímu stavu lze očekávat štěpení linie, které finálně usnadňuje přiřazení spektra.



Obr. 3. Filamenty a NEO objekty priradené ku komplexu Taurid (Kornoš, 2005).

Následující obrázek zachycuje přehled molekul a iontů, které byly doposud detegovány v mezihvězdném prostoru.

2 atoms	3 atoms	4 atoms	5 atoms	6 atoms	7 atoms	8 atoms	9 atoms	10 atoms	11 atoms	12 atoms	13 atoms
H ₂	C ₂ ⁺	c-C ₂ H	C ₂ ⁺	C ₂ H	C ₂ H	CH ₂ C-N	CH ₂ C ₂ H	CH ₂ C-N	HC ₂ N	C ₂ H ₂	HC ₃ N
AlF	C ₂ H	I-C ₂ H	C ₂ H	I-H ₂ C ₂	CH ₂ CHCN	HC(O)OCH ₂	CH ₂ CH ₂ CN	(CH ₂) ₂ CO	CH ₂ C ₂ H	C ₂ H ₂ OCH ₂	
AlCl	C ₂ O	C ₂ N	C ₂ Si	C ₂ H ₂ ⁺	CH ₂ C ₂ H	CH ₂ COOH	C ₂ H	(CH ₂) ₂ O	(CH ₂ OH) ₂	C ₂ H ₂ OCHO	n-C ₂ H ₂ CN
C ₂ ⁺⁺	C ₂ S	C ₂ O	I-C ₂ H ₂	CH ₂ CN	HC ₂ N	C ₂ H	CH ₂ CH ₂ OH	CH ₂ CH ₂ CHO			
CH	CH ₂	C ₂ S	c-C ₂ H ₂	CH ₂ CN	CH ₂ CHO	H ₂ C ₂	HC ₂ N				
CH ⁺	HCN	C ₂ H ₂ ⁺	H ₂ CCN	CH ₂ OH	CH ₂ NH ₂	CH ₂ OHCHO	C ₂ H				
CN	HCO	NH ₂	CH ₂ ⁺	CH ₂ SH	c-C ₂ H ₂ O	I-HC ₂ H ⁺	CH ₂ C(O)NH ₂				
CO	HCO ⁺	HCCN	HC ₂ N	HC ₂ NH ⁺	H ₂ CCHOH	CH ₂ CCHCO	C ₂ H ⁺				
CO ⁺	HCS ⁺	HCNH ⁺	HC ₂ NC	HC ₂ CHO	C ₂ H ⁺	CH ₂ CCHCN	C ₂ H ₂				
CP	HOC ⁺	HNCO	HCOOH	NH ₂ CHO		H ₂ NCH ₂ CN					
SiC	H ₂ O	HNCS	H ₂ CNH	C ₂ N							
HCl	H ₂ S	HOCO ⁺	H ₂ C ₂ O	I-HC ₂ H ⁺							
KCl	HNC	H ₂ CO	H ₂ CN	I-HC ₂ N							
NH	HNO	H ₂ CN	HNC ₂	c-H ₂ C ₂ O							
NO	MgNC	H ₂ CS	SiH ₂ ⁺	H ₂ CCHN							
NS	MgNC	H ₂ O ⁺	H ₂ COH ⁺	C ₂ N ⁺							
NaCl	N ₂ F ⁺	c-SiC ₂	C ₂ H ⁺								
OH	N ₂ O	CH ₂ ⁺	HC(O)CN								
PN	NuCN	SiF ⁺									
SO	OCS	PH ₃									
SD ⁺	SO ₂	HCNO									
SiN	c-SiC ₂	HOCN									
SiO	CO ₂ ⁺	HSCN									
SiS	NH ₂										
CS	H ₂ ⁺										
HF	H ₂ D ⁺										
SH ⁺	HD ₂ ⁺										
HD	SiCN										
FeO	AlNC										
O ₂	SiNC										
CP ⁺	HCP										
SiH	CCP										
PO											
AlO											

Poděkování: Prezentovaný výzkum byl podpořen Grantovou agenturou České republiky v rámci projektu 14-12010S.

Literatura

- [1] B. Edlen, *Arkiv. f. Matem. Astr. Och Fys.* **28**, B1 (1941).
- [2] I. S. Bowen, *Ap. J.* **67**, 1 (1928).
- [3] H. Deslanders, *Compt. Rend. (Paris)* **145**, 445 (1907).
- [4] A. Dalgarno, R. A. McCray, *ApJ.* **181**, **95** (1973).
- [5] S. Civiš, M. Yu. Tretyakov, S. Bailleux, M. Bogey, and A. Walters, *J. Chem. Phys.*, **108**, 8369 (1998).
- [6] Z. Zelinger, A. Bersch, M. Petri, W. Urban a S. Civiš, *J. Mol. Spect.* **171**, 579 (1995).
- [7] S. Civiš, C.E. Blom, P. Jensen, *J. Mol. Spectrosc.* **138**, 69 (1989).

Vývoj meziplanetární hmoty v rámci vývoje Sluneční soustavy

Jiří Srba, Hvězdárna Valašské Meziříčí, p. o.

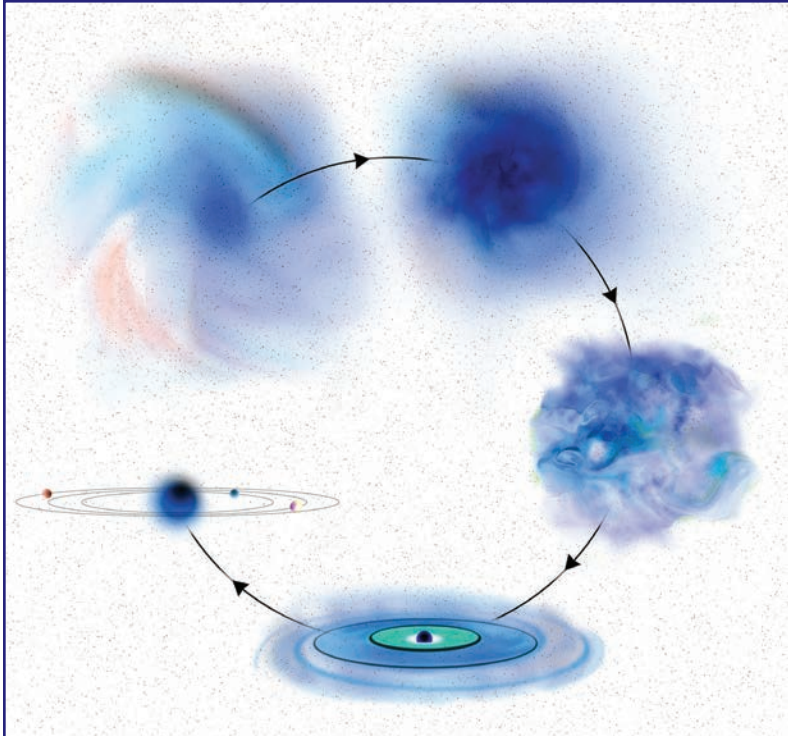
Pod **pojmem meziplanetární hmota** dnes rozumíme látku, která se ve Sluneční soustavě vyskytuje buď v podobě těch nejmenších částic (meziplanetární plyn a prach, větší prachové částice) nebo je součástí malých těles Sluneční soustavy (planetek a komet).

Z pohledu vývoje Sluneční soustavy je význam této hmoty zásadní a její studium moderními metodami nabízí možnost lépe pochopit vývoj planet (a možná také života).

Podle dnešních představ začíná vývoj Sluneční soustavy **gravitačním hroucením prachoplynného oblaku**, v jehož nejhustších částech dochází ke vzniku mnoha protohvězd (to že se nejedná o osamocené hvězdy, ale mladou těsnou hvězdokupu má pro osud některých forem meziplanetární hmoty zásadní význam).

V případě Sluneční soustavy již původní oblak obsahuje značné množství částic těžších než hélium – kyslík, dusík, atd. (atomární nebo vázané v různých molekulách), železo a křemičité nebo uhlíkaté prachové částice. To v případě prvních hvězd a soustav ve vesmíru možné nebylo, neboť prvotní látka obsahovala téměř výhradně vodík a hélium. V protoplanetárním disku kolem vznikající-

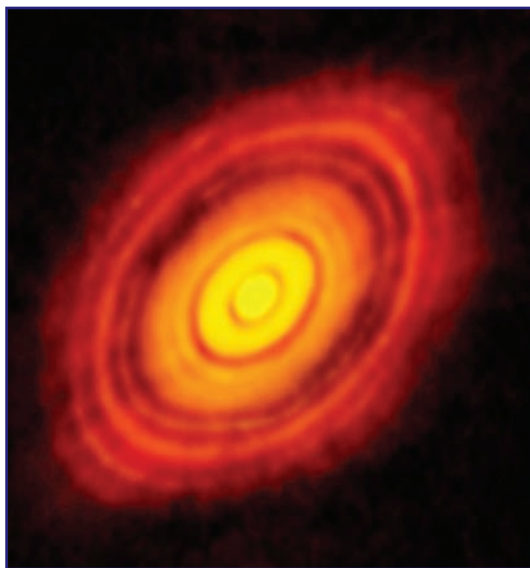
cích hvězd pozdějších generací se tak mohou rychle začít formovat větší objekty – od prachových částic přes kometární jádra až po zárodky planet. Obsah prvků těžších než hélium (metalicita) zřejmě rovněž ovlivňuje samotný vývoj hvězd, jejichž životní cyklus se nejspíš do jisté míry liší od hvězd, které na počátku kovy neobsahovaly.



Obr. 1: Schématické znázornění vývoje planetárního systému.

Přestože na počátku byly těžší prvky přimíchávány do vodíkových oblaků v podobě atomární (či jednoduchých molekul), mezihvězdné prostředí a následný vývoj vedoucí ke vzniku hvězd umožňují (procesy vzniku molekul převažují nad destruktivními silami v okolí rodící se hvězdy), aby se v samotných nitrech oblaků (na površích prachových částic) zformovala řada i poměrně složitých organických molekul. Dnes jsou tyto procesy považovány za zdrojové mechanismy vzniku látek, které v rámci vývoje planetárních soustav byly dopravovány na povrch vznikajících planet, a mohly se stát součástí zárodečné polévky potřebné pro vývoj života.

Kromě molekul známých ze sluneční soustavy H_2O , CO , CO_2 , NH_3 , CH_4 , CN , CH_3OH , HCN , CH_2O , $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ byla i v mezihvězdném prostředí (většinou právě v nitrech molekulárních oblaků vodíku) detekována řada molekul s desítkami



Obr. 2: Jemné detaily v protoplanetárním disku kolem mladé hvězdy HL Tauri. Snímek pořízený pomocí zařízení ALMA (Atacama Large Millimeter/submillimeter Array) v submilimetrové oblasti elektromagnetického záření. Disk obsahuje sérii koncentrických jasných prstenců oddělených mezerami, které jsou pravděpodobně důsledkem vzniku planet

jednotlivých atomů). Mezi nejzajímavější patří látky, které jsou z chemického hlediska považovány za významné při vývoji života CH_3CN , H_2CO a další (http://en.wikipedia.org/wiki/List_of_interstellar_and_circumstellar_molecules).

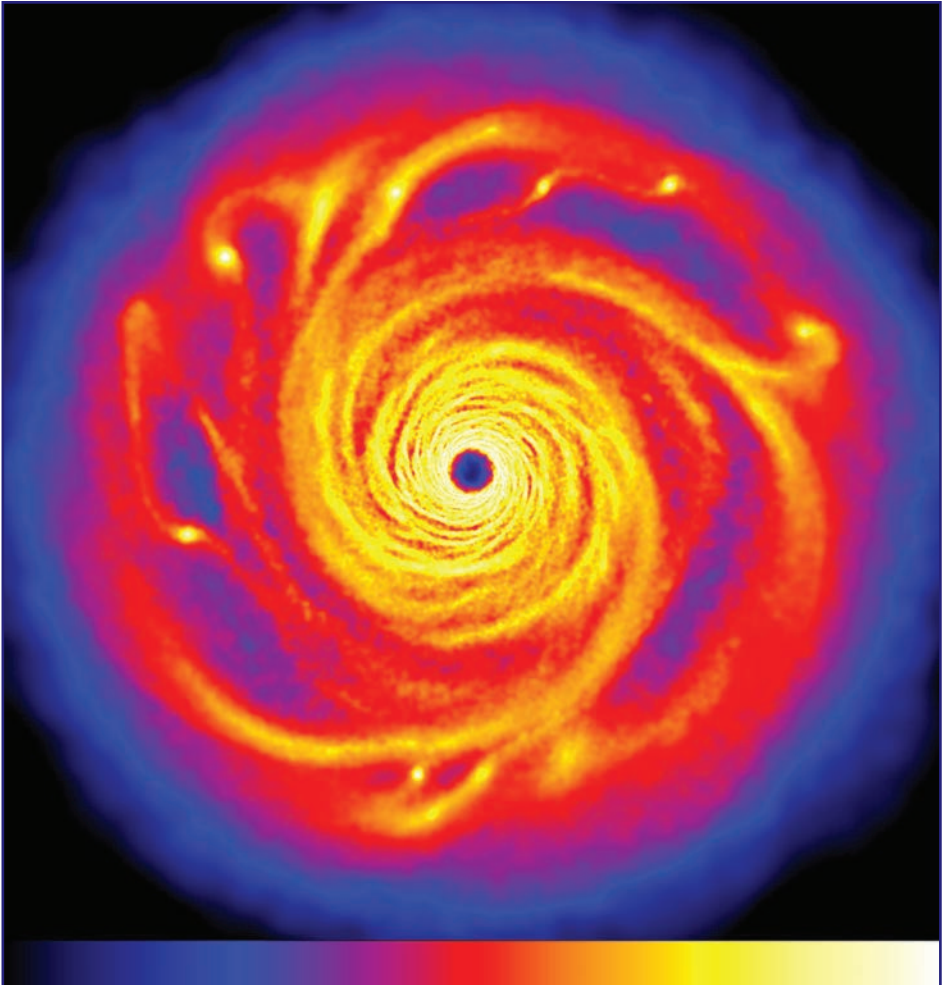
Při formování mladé planetární soustavy se tyto látky stávají součástí kometárních jader (jejich uchování v nitrech jader ve zmrzlé podobě se zdá být z pohledu vývoje velmi významné) a následně protoplanet.

Vývoj v rámci hvězdokupy může vést k přerozdělení a výměně hmoty (tedy i kometárních jader), která jsou v těsné hvězdokupě vázána natolik volně, že je z dynamického pohledu možná jejich výměna mezi jednotlivými hvězdami. Také patrně díky tomuto procesu má Sluneční soustava Oortův oblak s odhadovanou vzdáleností nejhustší části

kolem 50 kAU a s počtem kometárních jader v řádu 1 bilion. Tato tělesa musela nutně vzniknout někde jinde (zhruba v oblasti pohybu dnešního Neptunu) a popsaný proces by mohl být zodpovědný za jejich přemístění do takto velkých vzdáleností.

V jednotlivých systémech probíhá postupné gravitační nabalování hmoty do podoby desítek protoplanet, jejichž velikost umožňuje gravitační diferenciaci těles roztavených nespočetnými srážkami. Celkový počet těles planetárních velikostí je postupně redukován vzájemným gravitačním působením a následnými změnami drah (srážkami nebo vyhozením ze systému). Typickým procesem tohoto typu je událost spojovaná se vznikem Měsíce asi 100 milionů let po zahájení formování Sluneční soustavy, kdy došlo ke kolizi původní Země (rozměrů srovnatelných s dnešními) s tělesem o zhruba poloviční velikosti.

Za sněžnou čarou konkrétního systému si zárodky planet jsou schopny nabalit a uchovat mohutné atmosféry, v našem případě takto vznikají plynná a ledová oběi.

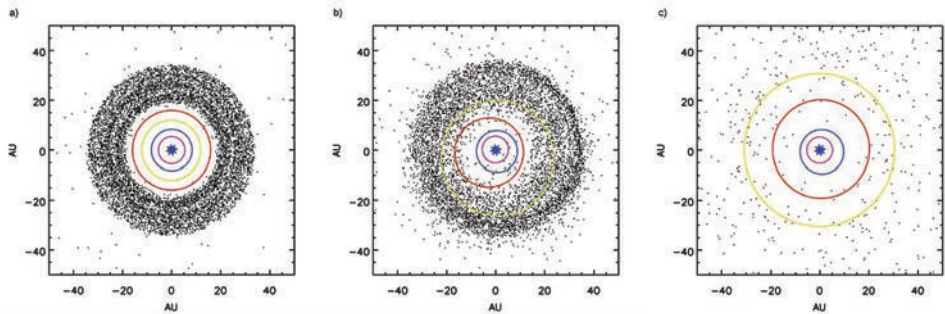


Obr. 3: Za rychlé formování velkých plyných planet by mohly být zodpovědné také turbulentní procesy v protoplanetárním disku (model).

Vznik planet je doprovázen redukcí množství hmoty v protoplanetárním disku, který se projevuje nejprve vznikem jakési prstencové struktury. Ta je dnes pozorovatelná moderními teleskopy u mladých planetárních systémů.

Velká tělesa, v našem případě především Jupiter a Saturn, ovlivňují vývoj celého systému natolik, že za určitých okolností mohou způsobit jeho celkovou destabilizaci. Dochází k migraci planet a dosažení nestabilních situací s rezonancemi středních pohybů velkých těles. Ve Sluneční soustavě je tato událost spojena s takzvaným obdobím pozdního velkého bombardování, které nastalo

zhruba po 0,5 až 1,0 miliardě let vývoje systému. Překotný vývoj v tomto období má dalekosáhlé následky pro populaci malých těles meziplanetární hmoty v celé Sluneční soustavě. Jupiter svým přiblížováním ke Slunci způsobil depopulaci hlavního pásu planetek, tělesa směřují do vnitřní Sluneční soustavy a dopadají na vnitřní planety a Slunce. Památkou na toto období je krátery pokrytý povrch měsíce, ale pravděpodobně též množství kovů v zemské kůře, které by se jinak, v důsledku předchozího vývoje planety, dostaly do jejího jádra. Další velké planety změnami svých drah přispěli k depopulaci Kuiperova pásu a vzniku populací těles na vzdálených protáhlých drahách (rozptýleného disku a vnitřního Oortova oblaku.)



Obr. 4: Depopulace Kuiperova pásu během migrace planet ve Sluneční soustavě podle modelu Nice.

Sluneční soustava však, především díky Saturnu, který zastavil další migraci Jupiteru do vnitřní části systému, vyšla z této epizody relativně nedotčena, známe však příklady planetárních systémů, které po podobné události skončili s jednou planetou typu horký Jupiter na oběžné dráze i 10krát bližší své mateřské hvězdě než obíhá Merkur kolem Slunce.

Další významný vliv na vývoj systému Sluneční soustavy již meziplanetární hmota neměla. To však neplatí, pokud se blíže zaměříme na vývoj a existenci života na Zemi. Život od prvopočátku je ohrožován impakty planetek a kometárních jader, a nejednou díky nim stál na samé hranici své existence. Poslední velká událost tohoto typu (srážka s tělesem o průměru kolem 10 km) se odehrála před 65 miliony lety a je spojována s ukončením éry plazů a nástupem savců. Událost tohoto typu nastává z dnešního pohledu založeného na znalosti populací malých těles ve Sluneční soustavě a především v blízkosti Země, zhruba jednou za 100 mil. let. Menší impakty (srážky s tělesy rozměrů kolem 1 km) ovlivňují vývoj života méně, dochází k nim statisticky asi jednou za 100 tisíc let.

Z pohledu vývoje lidstva jsou v současnosti za významné považovány srážky s tělesy o průměru 150 m a vyšším. Takto velká tělesa nepředstavují riziko pro lidstvo jako takové, ale mohou způsobit značné škody kontinentálního rozsahu.

Metody výzkumu hornin

Petr Skupien, Institut geologického inženýrství, VŠB-TU Ostrava

Studium hornin obnáší širokou škálu metod, které umožňují určení minerálního složení hornin, jejich vnitřní stavbu a uspořádání částic, posloupnost vnitřních přeměn, genezi a stáří horniny. Podstatné pro volbu metody je, co očekáváme, tj. zda chceme pouze určení a klasifikaci horniny, anebo rovněž informace o její genezi, stáží, možnostech využití.

Současná petrologie využívá celou řadu rozmanitých metod, z nichž některé jsou univerzální a některé jsou významné jen pro určitou skupinu hornin. Hrubě lze metody rozdělit na terénní a laboratorní, s tím, že některé metody mohou být v obou skupinách.

Terénní metody

Základem úspěšné aplikace všech petrologických metod je dokonalá znalost geologického postavení zkoumaných hornin. Jen vzorky odebrané z dokonale popsané geologické pozice lze vzájemně srovnávat a podrobovat nákladným a často časově náročným zkouškám. Každý odebíraný vzorek musí být řádně zdokumentován. Musí být jasné jaká, byla jeho pozice v terénu, a co reprezentuje.

Lokalizace musí být co nejpřesnější, optimálně zakreslená v mapě, popsaná v deníku a zaměřená pomocí GPS souřadnic. Geologickou pozici v masivu je třeba popsat co nejpodrobněji. Je vhodné ji i zakreslit do schematického náčrtu nebo fotografie výchozu. U vrtů nesmí chybět metráž. V rámci terénního výzkumu je potřeba popsat typ odkryvu, stav jeho navětrání, geologickou situaci ve vztahu k okolí, vhodné je poznamentovat si předpokládané stáří a příslušnost ke geologické jednotce. Pokud se jedná o výzkum neznámého horninového tělesa odebírají se vzorky při každé změně složení horniny, některé mohou následně sloužit pro laboratorní výzkum, některé slouží jako dokladové vzorky. Vzorky k laboratornímu zpracování odebíráme zpravidla jako orientované (tzn. pomocí geologického kompasu, označené tak, aby bylo možno rekonstruovat jejich orientaci (úklon a směr) v prostoru. Před transportem musí být vzorky pečlivě zabaleny (speciální pytlíky, krabičky a vzorkovnice).

Pro dokumentaci a muzejní účely vytváříme z čerstvých hornin tzv. formáty (pokud možno ploché destičky 9 × 12 cm). Pro těžební účely se odebírají zprůměrované vzorky zásekové a technologické. Pro zprůměrování homogenního vzorku používáme tzv. kvartování (promíchaný opakovaně vzorek dělíme na čtvrtiny a zmenšujeme tak jeho objem). Velikost vzorku záleží na zrnitosti a na metodách, které při jeho zpracování chceme aplikovat.



Ukázka formátu dokumentačního vzorku 9 × 12 cm.

Laboratorní metody

K běžným laboratorním petrografickým metodám patří makroskopický a mikroskopický popis a celá řada instrumentálních metod pro stanovení minerálního a chemického složení.

Makroskopický popis by měl zahrnovat co nejpřesnější popsání barvy horniny a to jak při pohledu z dálky, tak z blízka. U nehomogenních hornin popsat barvu jednotlivých fází. V případě sedimentárních hornin je vhodné popsat barvu ve vlhkém stavu horniny a za sucha. Dále je nutné stanovit zrnitost horniny, popsat všechny makroskopicky rozeznatelné minerály, patrné strukturní a texturní znaky (ty se liší u magmatických, sedimentárních a metamorfovaných hornin). Také je vhodné popsat charakter povrchu foliace, lomné plochy a lomné hrany, čerstvost a stupeň přeměny.

Účelem mikroskopického popisu je detailně popsat všechny minerály obsažené v hornině a jejich poměrné zastoupení. Dále pak popsat strukturu a texturu horniny. Na základě těchto skutečností společně s mikroskopickým popisem se na závěr určí přesné petrografické označení horniny.

Mikroskopický popis

Pro mikroskopický popis využíváme výbrusu či nábrusu. Popis jednotlivých minerálů se provádí v pořadí: podstatné (hlavní), vedlejší, akcesorie, sekundární. U porfyrických hornin se popíše zvlášť vyrostlice a zvlášť základní hmota. U porfyroblastických hornin se popíše zvlášť porfyroblasty a zvlášť základní tkáň. U sedimentárních hornin se popíše zvlášť klastický materiál a zvlášť mezerní hmota.

Velikost zrna se měří minimálně na sto zrnech v deseti různých částech výbrusu při odpovídajícím zvětšení. Do protokolu se uvede maximální velikost, minimální velikost a průměrná velikost zrna. Popíše se tvar zrna, omezení zrna u sedimentů opracování klastů. Jsou-li na minerálu patrný deformační vlivy, je nutné je uvést (undulózni zhášení, granulace zrn, anomální zdvojitění, protoklaza, kataklaza). Vyskytují-li se v hornině živce, je nutné je blíže určit, je-li to možné a napsat metodu, která byla použita. Vypíší se všechny zvláštní morfolo- gické změny, jako jsou srůstové zákony, štěpnost, zonálnost, uzavřeniny. Barva se uvede detailně s přesným popsáním odstínu. Dále se popíše pleochroismus, charakteristické odchylky zhášení atd. U sedimentů se uvede stupeň vytrřídění a opracování klastického materiálu, charakter tmelu.



Ukázka výbrusu vulkanické horniny těšínitu pod mikroskopem (pohled v procházejícím polarizovaném světle, a – bez analyzátoru, b – s analyzátořem).

Pro stanovení modálního složení horniny se provádí **planimetrická analýza** na bodovém integrátoru. Výbrus se posunuje po vzájemně rovnoběžných liniích vždy o určitou konstantní vzdálenost, takže směr osy mikroskopu protíná plochu výbrusu v bodech, které jsou od sebe stejně vzdáleny. Při každém posunutí pozorujeme, do kterého minerálu tento bod padá. Stiskneme-li páčku počítače, kterou jsme přisoudili minerálu, který máme právě ve středu zorného pole, popojede výbrus zároveň o určenou konstantní vzdálenost. Opět pozorujeme, který minerál je ve středu zorného pole a stiskneme páčku jemu určenou. Tak postupně přejedeme v mnoho řadách celý výbrus. Z počtu bodů je možno vypočítat objemová procenta pro jednotlivé minerály.

U všech hornin se napíše struktura a textura. Na základě všech zjištěných skutečností se určí co nejpresnější název horniny a uvede se klasifikace, podle které byla hornina pojmenována.

Optickou mikroskopii je v některých případech doplnit elektronovou mikroskopii, která umožňuje pozorování ve větším rozlišení a ve spojení s vhodným

analyzátořem umožňuje i rychlou a poměrně přesnou chemickou bodovou analýzu.

Z fázových instrumentálních metod je asi nejvýznamnější **prášková rentgenová difrakční analýza** (XRD), a pro řadu materiálů také **diferenční termická analýza** (DTA) nebo **infračervená spektroskopie** (IRS), které umožňují stanovit charakter obsažených minerálů.

Pro stanovení chemického složení vzorků lze použít tradiční silikátovou analýzu tzv. mokrou cestou, která však bývá nahrazována řadou moderních instrumentálních metod, jako jsou rentgenová fluorescenční spektrometrie (XRF), spektrometrie s indukčně vázanou plazmou (ICP), atomová absorpční spektrofotometrie (AAS) a celá řada dalších.

Chemická analýza klasická: zpravidla se určují SiO_2 , TiO_2 , Al_2O_3 , Ca_2O_3 , Fe_2O_3 , FeO, MnO, NiO, CaO, MgO, Li_2O , BaO, Na_2O , K_2O , CO_2 , H_2O^+ , H_2O^- , S a uvádí v uvedeném pořadí.

Obsah stopových prvků v hornině. Nejdůležitější je obsah REE (vzácné zeminy), radioaktivních prvků, Sr, Rb, V, Cr, Ni, C a dalších cca 20 prvků. Obsah izotopů stabilních (O, S, C, H, He) i radioaktivních (U, Pb, K, Ar, Sr, Rb, Sm, Nd aj.)

V sedimentární petrografii má velký význam **granulometrická analýza**, která se velmi hrubozrnných materiálů provádí pomocí sady sít a mikrometrického měřítka (valounová analýza), u jemnozrnnějších (písky) pomocí sady sít a u velmi jemnozrnných (pod 0,063 mm) pomocí metod založených na závislosti mezi velikostí částic a rychlostí sedimentace (např. pipetovací metoda).



Fragment meteoritu Porangaba.

Národní kontakty

Česká republika

Hvězdárna Valašské Meziříčí, příspěvková organizace

Vsetínská 78, 757 01 Valašské Meziříčí

Telefon: + 420 571 611 928 E-mail: libor.lenza@astrovm.cz

Web: www.astrovm.cz/cz/program/projekty



 Zlínský kraj



Slovenská republika

Krajská hvězdárň v Žiline

Horný Val č. 20, 010 01 Žilina

Telefon: +421 414 212 946

E-mail: kyshevzdknm@vuczilina.sk

Web: www.astrokysuce.sk