

Příběh Země: Chemické složení meziplanetární hmoty odhaluje tajemství vzniku života. Klíčem k jeho poznání může být také spektroskopie meteorů!

Sluneční soustavu netvoří jen osm planet, přes 180 měsíců, 200 velkých a miliony malých asteroidů a možná až 10^{12} komet, ale také spousta malých těles pohybuje se mezi planetami po nestabilních drahách. Souhrnně jsou nazvána meziplanetární hmotou. Meziplanetární hmota vstupující do atmosféry naší planety ve většině případů zanikne a jediným projevem této události zůstává tzv. meteor. V omezeném počtu případů je těleso dostatečně velké, aby dopadlo až na povrch jako meteorit a mohlo být podrobeno chemické analýze. Záznam spektra meteoru tak zůstává jedinou dokumentací chemického složení padajícího tělesa. Přitom informace o chemickém složení meziplanetární hmoty mají velký význam v oblasti studia evoluce solárního systému, výskytu minerálů a chemických látek v něm, poskytují znalosti o nejbližším vesmíru, který nás obklopuje, a mají přesah i do problematiky planetární evoluce a vzniku biomolekul před formováním prvních chemických individuí vykazujících vlastnosti živých struktur. V poslední době se dokonce, zatím jen v obrysech, mluví o těžbě rud na asteroidech. Rutinní spektrální chemická analýza vysokého počtu meteorů spojená s dnes již dobře rozvinutými výpočty drah těchto těles ve Sluneční soustavě má potenciál tyto znalosti poskytnout bez jakýchkoliv omezení, která mají kosmické lety, čekání na dopad a hledání meteoritů. Bohužel, na rozdíl od výpočtů drah, je spektrální chemická analýza meteorů v současné době doménou jen několika málo odborných skupin. Ústav fyzikální chemie J. Heyrovského Akademie věd České republiky začal v roce 2015 na této problematice spolupracovat v rámci projektu rozvoje regionální spolupráce s odborným týmem Hvězdárny Valašské Meziříčí.

Příběh planety Země, od vzniku atomů po vznik života. Tak by se dala stručně nazvat série přednášek shrnujících souvislost mezi studiem chemického složení meziplanetární hmoty na konferenci ve Valašském Meziříčí. Pohledná astronomka a astrochemička Zita Martins (Obr. 1) sice na tuto komorní konferenci pozvána nebyla, nicméně byla to právě ona, kdo detekoval řadu základních

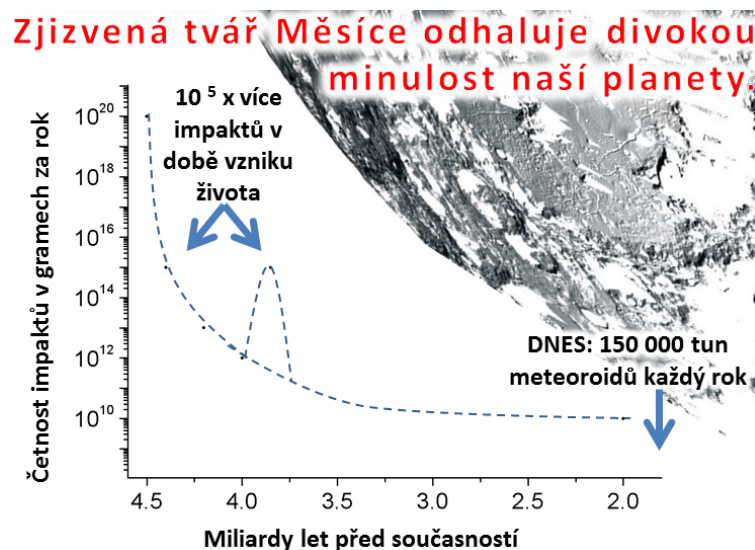


Obr. 1. Zita Martins odhalila existenci základních biomolekul v primitivních uhlíkatých chondritech (Zdroj internet, Royal Society).

stavebních kamenů života v primitivních uhlíkatých chondritech (meteorit Paříž CM2,7/2,8; Murchinson CM2,5; Murray CM2,4/2,5; Y-791198 CM2,4; Nogoya CM2,2; MET 01070 CM2; SCO 06043 CM2) jako jsou aminokyseliny [1] či nukleové báze (Murchinson [2]). Výčet prací referujících syntézu těchto biomolekul tzv. v jednom hrnci za podmínek panujících v kosmu neustále roste, například Rafaelu Saladinovi se podařilo ozařováním proudem protonů simulujících sluneční vítr připravit na povrchu meteorického materiálu v laboratoři nejen stejné sloučeniny, které objevila Martins, ale spousta dalších životu vlastních látek, jako jsou cukry či mastné kyseliny [3],[4]. Českou stopu zanechávají práce Martina Feruse, Svatopluka Civiše a Judit Šponerové, které se zabývají napodobením pádu asteroidů nebo jejich srážkou v meziplanetárním prostoru. I při tak drsných podmínkách byla dokázána a vysvětlena syntéza základních bází genetického kódu [5],[6],[7].

K simulaci impaktu asteroidu byl využit vysoce výkonný laser PALS (**Prague Asterix Laser System**) - provozovaný Ústavem fyziky plazmatu AV ČR ve spolupráci s Fyzikálním ústavem AV ČR. Tento typ experimentů také přímo navazuje na to, jakým směrem se ubírá společný výzkum spektroskopie meteorů. Místo interpretace spekter pomocí pouhých modelů a výpočtů se snažíme plazma meteorů vytvořit v laboratoři pomocí ablace vzorků meteoritů vysoce výkonnými lasery. A získáváme malou padající hvězdu. Romantický úkaz na letní obloze je nicméně ve skutečnosti přímo ďábelským kotlem horkých atomů a reaktivních radikálových látek o teplotě kolem 5000 stupňů Celsia. Ty jsou odpařeny z povrchu rozpadajícího se meteoroidu při rychlostech desítek kilometrů za sekundu. Spektroskopická analýza může odhalit jejich chemické složení a poskytnout tak představu o meziplanetární hmotě, tělesech pásu asteroidů, kometách, materiálu, který zde byl v okamžicích vzniku života na naší planetě. To vše bez nutnosti najít vzorek meteoritu či vyslat sondu, která vzorky odebere a to v míře umožňující statistickou analýzu. Ale to je v současné době vědecká fantazie. Sny ve skutečnost se snaží změnit nejen usilovná práce s napodobováním meteorů a impaktů asteroidů lasery, ale také pečlivá analýza dat pomocí nových metod simulace spekter plazmatu v závislosti na celé řadě parametrů, kterými se fyzika tohoto složitého systému vyznačuje. O to se snaží Petr Kubelík se svým studentem Vojtěchem Laitlem, který za tyto aktivity dokonce obdržel druhé místo v soutěži Česká hlavička. Data pro analýzy jsou získávána doslova bateriemi spektrografů na hvězdárně ve Valašském Meziříčí a na observatoři Teide na Kanárských ostrovech, které provozuje náš tým ve spolupráci s kolegy z Fakulty matematiky, fyziky a informatiky Univerzity Komenského v Bratislavě. Technické detaily systémů představili ve svém shrnutí Jiří Srba a Jakub Koukal.

Když se podíváme dále do minulosti planety Země, nebo spíše našeho souputníka Měsíce, zjistíme, že v době vzniku života byl náš domov vystaven doslova dešti padajících asteroidů. Hovoříme zde o období tzv. těžkého bombardování (z angličtiny Heavy Bombardment – Obr. 2).



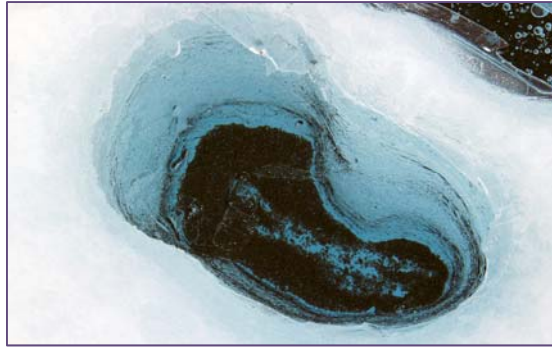
Obr. 2. Počet impaktů vypočtený pro povrch Měsíce. Na Zemi jich muselo být asi 10 x více (koláž Martin Ferus).

Nebylo to krátké údobí v historii naší planety. Ve skutečnosti jej můžeme datovat od přetavení Země srážkou s tělesem velikosti Marsu v Hádeanské epoše před asi 4,4 miliardami let až po éru Prahor před 3,8 miliardami let. Dnes se již ví, že velmi pravděpodobně právě dopady meziplanetární hmoty stály za přenosem vody a atmosférických plynů z vnějších částí Sluneční soustavy, kde bylo

dostatečně chladno, aby zde tyto látky vydržely, zatímco Země byla s jistým zjednodušením pustou koulí roztavené lávy [8]. Když se na Zemi objevily první oceány před asi 4,2 - 4,3 miliardami let [9], zcela jistě také panovaly podmínky pro prebiotickou syntézu a vznik života a možná dopadající asteroidy nepřinesly pouze vodu, ale mohly být iniciátorem chemických reakcí, které v pravděpodobně redukčních podmínkách [10] vedly ke vzniku biomolekul, shrnuje autor výše uvedených studií o účincích impaktů asteroidů Martin Fergus. Je zajímavé, že poměrně záhy na Zemi vznikl také život, jehož nejstarší pozůstatky v podobě zkamenělin deficitních na uhlík 13 byly datovány již do doby před 4,1 miliardami let [11]. Bylo to za geologický okamžik? Sotva, ačkoliv se to tak někdy podává. První oceány a první doklady života dělí 200 – 300 milionů let (bohužel, tuto přesnost má dnešní věda k dispozici), tedy o něco méně, než kolik dělí naší civilizaci a husté karbonské pralesy, jejichž pozůstatky dnes pálíme v kamnech na uhlí. Pro evoluci planety jsou to věky. Země vypadala tehdy úplně jinak, než dnes. Den měl pouhých šest hodin (díky zpomalování rotace Země), atmosféra připomínala přehřátý „papiňák“ jedovatých plynů rozčísnutých blesky, dopady asteroidů, sopečnými plyny a prachem. Díky tomu měla zřejmě pekelný červenohnědý nádech.

V souvislosti se zmíněným peklem na Zemi, Adam Pastorek, student ČVUT v oboru jaderné chemie, glosuje také existenci velmi silné radioaktivity v té době. Pokusil se spolu s kolegy výpočtem stanovit intenzitu radioaktivního záření z hornin v Hadaiku. Vzali do úvahy, že například přirozená rozpadová řada uranu 235 ve smolinci minerál ochuzuje o zmíněný nestabilní izotop, tolik důležitý pro jaderné elektrárny. Pro příznivce jaderné energie by tehdy byl na Zemi přímo ráj a elektřina by se dala produkovat přímo za hubičku. Přírodní ruda by obsahovala tolik izotopu uranu 235, že by pro jaderný reaktor nebyla třeba žádná složitá úprava vedoucí k obohacení paliva. Radioaktivita byla tehdy o pět řádů silnější. Stála jaderná chemie také za vznikem biomolekul? Zatím se to příliš neví, bádání je v tomto směru teprve v počátcích. Další scénář vzniku biomolekul shrnula Jana Hrnčířová. Ve skutečnosti je lze připravit jednoduše pouhým zahříváním jednoduchých amidů (formamid) v přítomnosti jílu. Klíčové ale je, že musí obsahovat železo. Pocházelo železo z hvězd, jak zní titulek staré sbírky vědeckofantastických povídek? Svým způsobem ano, ale mnohem pravděpodobněji na železo bohaté jíly vznikly erozí materiálů v blízkosti kráterů po dopadech asteroidů bohatých na kovy. A jsme opět u meteoritů, asteroidů a meziplanetární hmoty. Všechny cesty, resp. mnoho z nich, jak se zdá „vede do Říma – ke vzniku biomolekul celou paletou chemických procesů.“

Ať to bylo jakkoliv, život na Zemi vzniknul, proto tu jsme. Je možné, že raná Země se podobala v mnohém ranému Marsu a také rané Venuši. Nejnovější výzkumy také tuto planetu řadí mezi světy s výskytem kapalné vody [12]. Přece se každá z planet vydala jiným směrem. Z povrchu Marsu voda zmizela, Venuše se stala horoucím peklem a na Zemi se život zachoval, ačkoliv prošla mnohými změnami včetně globální doby ledové. Ta možná nastala několikrát za její existenci a je otázkou, jak se na Zemi život udržel. Libor Lenža na základě studia materiálu v útvech zvaných kryokonity (Obr. 3), vyskytujících se například na ledovcích na



Obr. 3. Kryokonit – model života na zaledněné Zemi? (Foto Libor Lenža)

Špicberkách, popisuje možný život v takových nehostinných podmínkách. Ve skutečnosti díra v ledu představuje dynamický systém ukrývající řadu druhů bakterií, řas a sinic. Možná, že i hypotetické hádeánské zalednění Země (tzv. Early Snowball Earth [13],[14]) takto přežily některé formy života. Je však pravdou, že molekulární biologové se domnívají, že společný prapředek všech organismů je tzv. hypertermofil, tedy životní forma milující horké prameny, u kterých se možná rané formy života ukryly před globálním zaledněním. Je však možné, že kryokonity představují jednu z možností přežití života v pozdějších ledových epochách.

Ačkoliv to nejlepší má přijít na konec (v našem článku), v rámci konference jsme zprávu o převratném objevu vyslechli hned na začátku. Svatopluk Civiš nás přesto svou přednáškou nesmírně zklamal. My všichni v hloubi duše doufáme, že bychom ve vesmíru nemuseli být sami. Jedním ze zajímavých kandidátů na existenci života by mohl být Mars. Ačkoliv na něm jsou podmínky nehostinné, před několika lety byl v jeho atmosféře objeven methan, který je na Zemi produkován methanogenními mikroby. Jelikož na Marsu nelze předpokládat jiný zdroj tohoto plynu, bylo navrženo, že se mikroby mohou vyskytovat v marťanské půdě. Svatopluk Civiš se studentem Antonínem Knížkem prozkoumali jinou možnost – syntézu methanu na marsovském regolitu pouze z atmosféry obsahující oxid uhličitý. Zjistili, že na kyselých povrchích řady minerálů může tato syntéza proběhnout účinky slunečního záření. Výpočet ukázal, že syntéza je přesně tak produktivní, aby vytvořila stopové koncentrace methanu v atmosféře Marsu. Zdá se tedy, že za výskytem methanu na Marsu nestojí život, nýbrž fotochemie.

Pokud laskavý čtenář vydržel až do konce, zajisté je tímto vědeckým výsledkem zklamán. Nicméně, jedním ze závěrů čerstvě publikované studie (<https://www.nature.com/articles/s41550-017-0260-8>) Svatopluka Civiše, Martina Feruse a Antonína Knížka také je, že na raném Marsu, stejně jako na Zemi a možná také na Venuši, mohly organické látky vzniknout účinky impaktu asteroidů, které na všechny tyto planety před více než 4 miliardami let dopadaly. A tak, pokud je vznik života pouhý chemický proces probíhající všude za stejných podmínek, lze předpokládat, že rudý bratr a jeho dvě sestry život nesly aspoň v několika stech milionech let své rané existence. Ačkoliv na Marsu zřejmě tvoří methan pouhá fotochemie, můžeme se snad těšit aspoň na jeho fosilie v marťanských kamenech.

Autoři článku a organizátoři konference

RNDr. Martin Ferus, Ph.D. a Ing. Libor Lenža



RNDr. Martin Ferus, Ph.D. (1983) vystudoval fyzikální a environmentální chemii na Univerzitě Karlově v Praze. V roce 2005 začal pracovat na Oddělení spektroskopie Ústavu fyzikální chemie J. Heyrovského AV ČR, kde setrval až do současnosti. Věnuje se experimentální aplikaci spektroskopie v materiálové chemii, detekci, analýze či vývoji vysoce výkonných pevnolátkových zdrojů světla. Hlavním tématem jeho výzkumů je nicméně kosmochemie se zaměřením na chemickou evoluci biomolekul a jejich prekurzorů během formování a vývoje planet a simulace meteorů a jejich spekter pomocí výkonných laserů. Za práce dokazující syntézu prebiotických sloučenin účinky rázové vlny při dopadu asteroidů byl oceněn Prémii Otto Wichterleho a cenami Hlávkovy nadace a Učené společnosti ČR. Martin Ferus je amatérským astronomem a astrochemii jako relativně nový vědecký obor se snaží veřejnosti přiblížit v řadě popularizačních přednášek.



Ing. Libor Lenža (1969) působí od roku 1991 na Hvězdárně Valašské Meziříčí jako odborný pracovník, od roku 1995 se ujal vedení této instituce. Věnuje se zejména systematickému pozorování projevů sluneční aktivity, spektroskopickému pozorování a videopozorování meteorů, zpracování observačních dat a přednáškové a popularizační činnosti včetně školení studentů. Organizačně se podílí na přípravě celé řady významných vzdělávacích akcí, seminářů a konferencí. Společně se svými spolupracovníky realizoval řadu rozvojových projektů na svém domovském pracovišti. V posledních

letech se věnuje zejména spektrální analýze, geologii a geologické historie naší planety a související problematice v rámci výzkumu planet a malých těles Sluneční soustavy. Podílí se také na vývoji měřících zařízení. V současné době dokončuje doktorát na Hornicko-geologické fakultě VŠB-TU Ostrava se zaměřením na výzkum cyklické sedimentace v oblasti Vnějších Západních Karpat a možným souvislostem s orbitálními cykly naší planety.

Úvodní zvaná přednáška: prof. RNDr. Svatopluk Civiš, CSc.



Svatopluk Civiš (1955) je předním odborníkem na aplikovanou a experimentální spektroskopii v oblasti vysoce citlivých analytických technik, dálkové detekce molekul, atomů a iontů ve vesmíru, laboratorních metod pro simulaci procesů v mezihvězdném prostoru, planetárních a hvězdných atmosférách a chemii laserového plazmatu a elektrických výbojů o vysoké energii. V České republice jako první rozvinul sofistikované metody laserové a fotoakustické detekce a vysoce rozlišené spektrometrie s Fourierovou transformací. Ve spolupráci s japonskou Univerzitou Okajama vyvinul světově unikátní metodu tzv. časově rozlišené Fourierovy spektrometrie s kontinuálním skenováním, která dovoluje studovat dynamiku dějů probíhajících v plazmatu s mikrosekundovým rozlišením a hraje nenahraditelnou úlohu v základní spektroskopii atomů v infračervené a mikrovlnné oblasti. Je jedním ze zakladatelů výzkumu vzniku biologických látek vlivem dopadů asteroidů na naši planetu v době chemické evoluce života.

Přednášející v rámci konference



Ing. Jakub Koukal je absolventem VUT Brno a v současné době pracuje jako externí pracovník Hvězdárny Valašské Meziříčí, p.o. a je také místopředsedou Společnosti pro Meziplanetární Hmotu. Hlavním oborem jeho výzkumu je studium meteorů a meteorických rojů, a to z hlediska vlastností drah a také chemických vlastností (spektroskopie meteorů a meteoritů). Je koordinátorem databáze EDMOND (The European video MeteOr Network Database) shromažďující pozorování videometeorů od amatérských i profesionálních astronomů. V současné době je autorem nebo spoluautorem 22 publikací na webu Researchgate (H-index 5). Pravidelně publikuje články o novinkách, případně výzkumu v oboru meziplanetární hmoty na webu České Astronomické Společnosti. Je také spoluzakladatelem informačního portálu o výzkumu meziplanetární hmoty MeteorNews.



Jiří Srba se astronomii věnuje od střední školy, kdy začal navštěvovat astronomický kroužek při Hvězdárně Vsetín. Stal se aktivním pozorovatelem meteorů a komet. Zde také publikoval své první populárně astronomické články. Je členem Společnosti pro meziplanetární hmotu (SMPH). V současné době pracuje jako odborný pracovník Hvězdárny Valašské Meziříčí, kde se věnuje převážně popularizaci, podílí se na odborné činnosti v oblasti videopozorování a spektroskopie meteorů. Pro české zastoupení Evropské jižní observatoře (ESO) připravuje překlady tiskových zpráv a dalších materiálů.



Mgr. Petr Kubelík, Ph.D. působí jako kmenový pracovník Oddělení spektroskopie v Laboratoři vysoce rozlišené spektrometrie v Ústavu fyzikální chemie J. Heyrovského AV ČR. Jako student magisterského oboru Chemie životního prostředí na Karlově Univerzitě v Praze se na tomto pracovišti věnoval vysoce rozlišené FTIR spektroskopii radikálů vznikajících v doutnavém výboji. Jeho dizertační práce pak byla zaměřena na vysoce rozlišenou spektroskopii výbojového a laserového plazmatu. V současné době se zabývá především simulacemi a interpretací spekter plazmatu buzeného různými zdroji (např. laserovou ablací nebo elektrickými výboji v plynech). Jedním z témat, kterými se v současné době zabývá, je i simulace a analýza spekter meteorů.

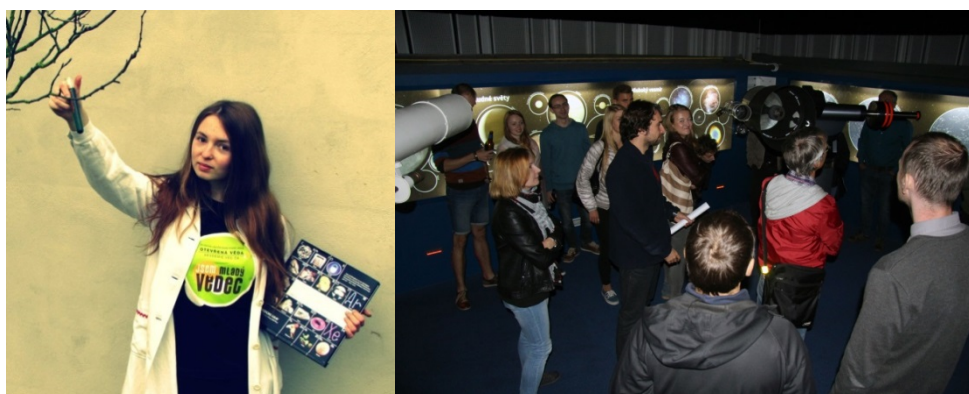


Ing. Adam Pastorek je doktorským studentem Fakulty jaderné a fyzikálně inženýrské ČVUT v Praze a jediným specialistou na jadernou problematiku v týmu RNDr. Martina Feruse, Ph.D. v Ústavu fyzikální chemie J. Heyrovského AV ČR. Je rovněž jedním ze studentů fakulty spadajících pod hranici zlomku jednoho procenta, kteří jsou držiteli dvou červených diplomů, a zároveň jim byl udělen diplom

děkana fakulty za vynikající studijní výsledky s ročním akademickým průměrem 1,00. Adam Pastorek pod vedením bývalého vedoucího oddělení spektroskopie prof. RNDr. Svatopluka Civiše, CSc. spolupublikoval 2 články o atomární spektrometrii vzácných plynů a obhájil svou bakalářskou a diplomovou práci. Také byl spoluautorem publikace o vysokoenergetické chemii formamidu (Nature Scientific Reports). V současnosti se Adam Pastorek věnuje problematice vzniku života na rané Zemi, specificky pak v kombinaci s ionizujícím zářením, jež skrývá neprobádané oblasti moderní vědy.



Antonín Knížek je studentem magisterského oboru fyzikální chemie na Přírodovědecké fakultě Univerzity Karlovy a pracuje pod vedením svého školitele RNDr. Martina Feruse Ph.D. v Ústavu fyzikální chemie J. Heyrovského AV ČR. Svou bakalářskou práci vypracoval na katedře Biochemie Přírodovědecké fakulty UK ve spolupráci s Mikrobiologickým ústavem AV ČR pod vedením doc. Miroslava Šulce. V současné době je autorem či spoluautorem 11 publikací citovaných na webu Web of Science (H-index 3). Hlavním předmětem jeho studia je chemie planetárních atmosfér a souvislost této problematiky se vznikem života. V rámci svého studia pod vedením Dr. Feruse se aktivně účastní mezinárodních i tuzemských konferencí a věnuje se popularizační činnosti. Na youtube.com si můžete poslechnout jeho popularizační přednášku „Počátky chemické abiogenese“ prezentovanou v rámci Semináře z astrobiologie na Přírodovědecké fakultě Univerzity Karlovy.



Jana Hrnčířová vystudovala Gymnázium J. Vrchlického, kde se věnovala celé řadě mimoškolních a soutěžních aktivit. V rámci projektu Otevřená věda pracovala pod vedením Dr. Tomáše Křížka na tématu Sledování obsahu kyseliny benzoové v potravinách pomocí kapilární elektroforézy. S tímto tématem se zúčastnila také celostátního kola soutěže SOČ a Němčina pro bystré hlavy. Nyní je studentkou třetího ročníku bakalářského studia na Přírodovědecké fakultě Karlovy univerzity se zaměřením obecná chemie. V Ústavu fyzikální chemie J. Heyrovského začala pracovat na tématech

souvisejících se vznikem biomolekul chemickou evolucí Země v roce 2016 a nyní se v rámci své bakalářské práce věnuje termolýzám formamidu v přítomnosti jílu pod vedením školitele RNDr. Martina Feruse, Ph.D.



Obr. 5. Účastníci konference.

Poděkování:

Závěrem děkujeme všem účastníkům a přednášejícím. Jelikož se konference opravdu vydařila, plánujeme ji příští rok zopakovat!

Konference byla uspořádána s finanční podporou projektu i.č. R200401521 Regionální spolupráce krajů a ústavů AV ČR v roce 2017 a finančním darem firmy DEZA, a.s. Děkujeme!