

SELINA na cestě za poznáním vesmírných částic

Jana Žďárská

Fyzikální ústav AV ČR, Na Slovance 2, 182 21 Praha 8; zdarskaj@fzu.cz

Vědci z Ústavu fyzikální chemie J. Heyrovského ve spolupráci s univerzitou v Lipsku vytvořili generátor vybraných nanočástic SELINA. Jedná se o přístroj pro tvorbu definovaného svazku nabitých vodních ledových nanočástic, který představuje analogon vesmírného prachu. Bude sloužit k vývoji a testování nových analyzátorů pro budoucí vesmírné mise určené pro průzkum Sluneční soustavy a také k hledání vesmírného nerostného bohatství. O přístroj SELINA již projevíli zájem vědci z univerzity Boulder v Coloradu (USA), kteří by jej rádi využili pro svoji spolupráci s NASA.

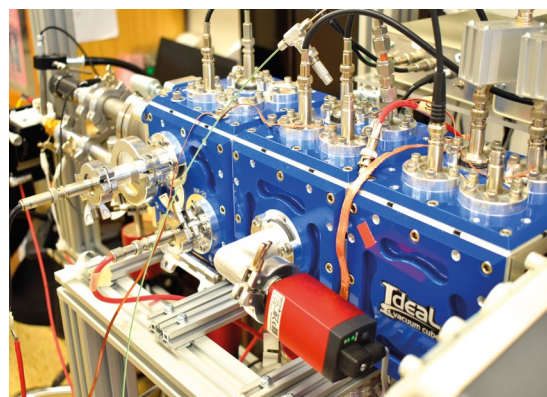
Blížíte-li se k budově Ústavu fyzikální chemie J. Heyrovského, jako první vás přivítá informační tabule představující život a dílo profesora Jaroslava Heyrovského. I já se tam pokaždé na chvilku zastavím, i když už jsem tento text četla mnohokrát. To z úcty k člověku, který nejenže v roce 1959 získal Nobelovu cenu za chemii, ale byl na tuto cenu podle nobelovské databáze¹ nominován celkem 67krát, a to 51krát za chemii, 5krát za fyziku a 11krát za fyziologii a medicínu.

Od roku 2022 zdobí boční stěnu této budovy také Heyrovského–Ilkovičova rovnice. To proto, že Praha se jako třetí evropské město zařadila po bok nizozemských měst Leiden a Utrecht, kde vznikla myšlenka propagace vědy pomocí rovnic na veřejných budovách. Tato aktivita pro komunikaci vědy je součástí projektu ONEM (*Optical Near-Filed Electron Microscopy*). Praha je tak třetím evropským městem s malbou rovnice na veřejném místě. Další rovnice bude v dohledné době na jednu s veřejných budov namalována ve Vídni.

1 https://www.nobelprize.org/nomination/archive/show_people.php?id=4154



Obr. 1 Komunikace vědy prostřednictvím malby Heyrovského–Ilkovičovy rovnice na budově Ústavu fyzikální chemie J. Heyrovského je součástí mezinárodního projektu ONEM (*Optical Near-Filed Electron Microscopy*).

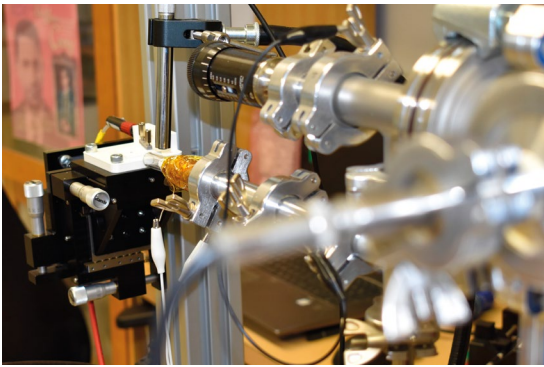


Obr. 2 O přístroj SELINA projevíli zájem vědci z univerzity v Boulderu, kteří podobný přístroj hledali pro svou spolupráci s NASA. Foto: Ústav fyzikální chemie J. Heyrovského

Vědci Ústavu fyzikální chemie J. Heyrovského s úctou a nadšením nesou poselství Jaroslava Heyrovského a věnují se soustavnému základnímu i aplikovanému výzkumu v oboru chemie a fyziky. To, že se jim tento výzkum daří, potvrzují i významné spolupráce s mezinárodními i domácími vědeckými pracovišti. Výzkumu se zde věnují jak uznávaní světoví odborníci, tak i nadějní mladí badatelé. K nim patří i Anatolii Spesyvyi, který spolu s kolegy vytváří unikátní přístroje, jež budou sloužit nejen k průzkumu Sluneční soustavy, ale i k hledání nerostného bohatství ve vesmíru.

Jedním z těchto přístrojů je i generátor částic SELINA – unikátní přístroj, který dokáže simulovat výzkum vesmírných částic přímo na Zemi. Jedná se o zařízení, které je schopno generovat různé typy nanočástic, jež jsou plánovány k následnému využití při řešení vědeckých úkolů v mnoha oblastech, a to především v oborech astrofyziky, astrochemie, materiálové vědy či v medicínských analytických metodách.

V Ústavu fyzikální chemie J. Heyrovského skutečně dostávají mladí vědci tolik důležitých příležitostí a dostatečný prostor k bádání. „*Náš ústav v hojné míře podporuje mladé vědce. K tomu slouží program J. Heyrov-*



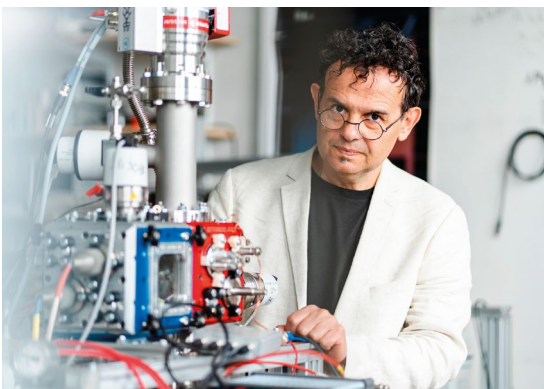
Obr. 3 Cílem analyzátoru SELINA je vytvořit a detailně charakterizovat nanočástice, které jsou složením, hmotností a pohybem shodné s mikrometeority.

ský *Young Scientist*, jehož úkolem je udržet mladé vědce na půdě ústavu i do budoucna. Systém funguje tak, že vybíráme jednoho nebo i více vědců do 35 let a poskytujeme jim záruku jistoty místa, kde je jasně definovaná motivace a příležitost. Podobným způsobem přistupujeme i k vytváření příležitostí jak pro muže, tak i pro ženy vědkyně s cílem rovného zastoupení mužů a žen ve vedoucích funkcích ústavu,² vysvětluje zástupce ředitele pro vědu prof. RNDr. Patrik Španěl², Dr. rer. nat.

A to je i profesní příběh Anatolie Spesyvého, kterého ke spolupráci na analyzátoru SELINA přizval Ján Žabka z Oddělení chemie iontů v plynné fázi, jehož tým se věnuje především aplikacím metod hmotnostní spektrometrie ve vesmíru a také vývoji prototypů analyzátorů pro budoucí vesmírné mise. Můžeme vzpomenout například hmotnostní spektrometr HANKA³ s vysokým rozlišením, který je konstruován pro analýzu iontů, jež budou ve vesmíru produkovány nárazem mikrometeoritů na detekční kovový povrch HANKY. Tato unikátní aparatura má umožnit posun v porozumění analýzám částic pocházejících z meteoritů, komet nebo planet a jejich měsíců. Tento přístroj a zároveň i zmiňovaný výzkum je klíčový pro plánovanou těžbu nerostných surovin ve vesmíru. „Když mě Ján Žabka přizval ke spolupráci a obdržel jsem zadání, vlastně jsem vůbec netušil, jak by takový přístroj mohl vypadat. Zkoušeli jsme různé varianty, až jsme našli tu, která byla funkční a robustní, a přitom i jednoduchá. Byla to vlastně až šestá varianta našeho prototypu. A právě ta jednoduchost – to je to nejtěžší!“ připomíná Anatolii Spesyvyi a dodává, „je třeba

2 J. Žďárská: Fyzika na Heyrovského ústavu. Čs. čas. fyz. 71, 313–315 (2021).

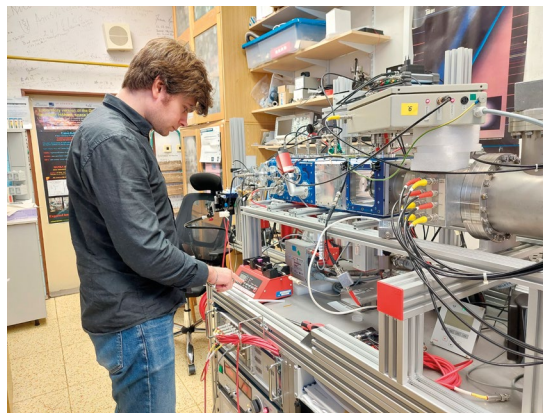
3 J. Žďárská: Hmotnostní spektrometr HANKA. Čs. čas. fyz. 72, 302–303 (2022).



Obr. 4 Laboratorní prototyp hmotnostního spektrometru HANKA. Foto: Archiv Ústavu fyzikální chemie J. Heyrovského

ba říci, že jednoduché věci nejsou samozřejmé a vymyslet právě tu jednoduchost je velmi obtížné. A proto je pro mě SELINA důležitá jak z profesionálního, tak i z osobního hlediska, protože v průběhu výzkumu může člověk občas ztráct víru, že to bude fungovat, ale přesto musí jít dál, věřit a pokračovat... SELINA nám všechna tato utrpení vrátila, a to nejen tím, jak funguje, ale i z toho důvodu, že podobných přístrojů je na světě pouze pět, a proto věříme, že SELINA bude mít také dobrý přínos pro náš ústav.“

Ve zdejších laboratořích vznikají i další důležité vesmírné projekty. Jedním z nich je mise LADA, která by měla na oběžné dráze Měsíce analyzovat vesmírný prach právě pomocí analyzátoru HANKA. Dalším významným počinem vědců Ústavu fyzikální chemie J. Heyrovského je mise SLAVIA, která byla projektována pro výzkum složení mikrometeoritů na oběžné dráze Země pomocí tří unikátních přístrojů – hmotnostního analyzátoru HANKA, optického spektroskopu VESNA a širokopásmového radiopřijímače pro detekci plazmatu

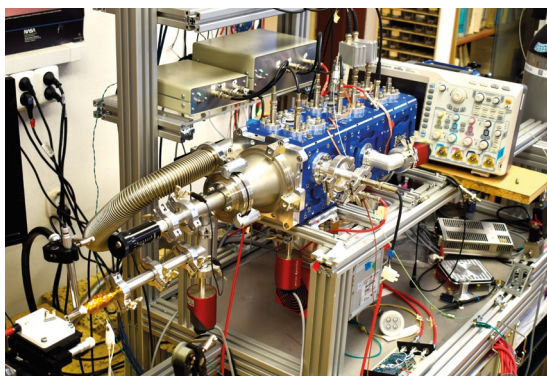


Obr. 5 „Přístrojů podobných, jako je naše SELINA je na světě pouze pět, a proto věříme, že SELINA bude mít i dobrý přínos pro náš ústav“ připomíná Anatolii Spesyvyi. Foto: Ústav fyzikální chemie J. Heyrovského

ŘÍP-2. V tuto chvíli se pro tento ryze český projekt hledá finanční podpora. Nelze si nepovšimnout poetických ženských jmen, která nesou přístroje. „Výber názvov přístrojov súvisí s ich princípom – skratky klúčových slov, ale zároveň by mali byť krátke, ľahko zapamätateľné, a trochu originálne. A ženské mená dodajú technickej aparátúre trochu poetičnosti, v podstate podobne boli použité v minulosti pre názvy lodí objavujúcich nové svety,“ s úsměvem odpovídá na moji lehce důvěrnou otázku Ján Žabka.

A Martin Ferus, který je vedoucím Oddělení spektroskopie, k tomu dodává: „Kosmické technologie jsou rychle rostoucím segmentem v české ekonomice. Laboratorní výzkum má v oblasti vývoje těchto technologií nezastupitelnou úlohu – každý přístroj, každá myšlenka, každé nové poznání ve výzkumu planet, asteroidů, vzdálených mlhovin a galaxií se neopírá pouze o pozorování, ale v první řadě je těsně provázáno s experimenty za přísně kontrolovaných podmínek i s teoretickými modely a výpočty. Je také příležitostí pro širokou spolupráci vědců z různých oborů. SELINA, která přímo navazuje na laboratorní výzkum související s přípravou mise SLAVIA a na její vědeckotechnický odkaz, je ukázkovým příkladem takové spolupráce.“

Pojďme si nyní představit přístroj SELINA (*SElected Ice Nanoparticle Accelerator*). Jeho cílem je vytvořit a detailně charakterizovat nanočástice, které jsou složením, hmotností a pohybem shodné s mikrometeority. V laboratorních podmínkách tak SELINA dokáže



Obr. 6 Výsledky aparatury SELINA mohou významně pomoci při vesmírných misích, protože SELINA dokáže simulovat poškození družic či ISS prostřednictvím meteoritů, což by do budoucna mohlo výrazně zvýšit bezpečnost pobytu lidské posádky v kosmickém prostoru. Foto: Archiv Ústavu fyzikální chemie J. Heyrovského

generovat ekvivalenty mikrometeoritů či vesmírného prachu a poradí si i se simulací poškození povrchů, k němuž by mohlo dojít u zařízení používaných ve vesmírných misích. Vzpomeňme jen detailní snímky poškození ISS nárazem mikrometeoritu. Ale SELINA může pomoci i při různých průmyslových aplikacích, například v oblasti úpravy různých povrchů, a to nanesením vrstvy definovaných nanočástic, které v rámci svého výzkumu vyvine. Význam a důležitost přístroje SELINA dokládá i zájem americké NASA.

SELINA bude pracovat s nanočásticemi. To proto, že představují zajímavý studovaný objekt základního výzkumu v oblasti chemie a fyziky. Tyto výsledky mohou být následně aplikovány při vývoji a testování analyzátorů budoucích vesmírných misí nebo také při simulaci poškození družic či ISS prostřednictvím meteoritů, což by do budoucna mohlo výrazně zvýšit bezpečnost pobytu lidské posádky ve vesmíru. Díky jedinečnému přístroji SELINA bude také možno detailně zjistit složení komet, mikrometeoritů či částic z gejířů ledových oceánů, tryskajících například na Enceladu.

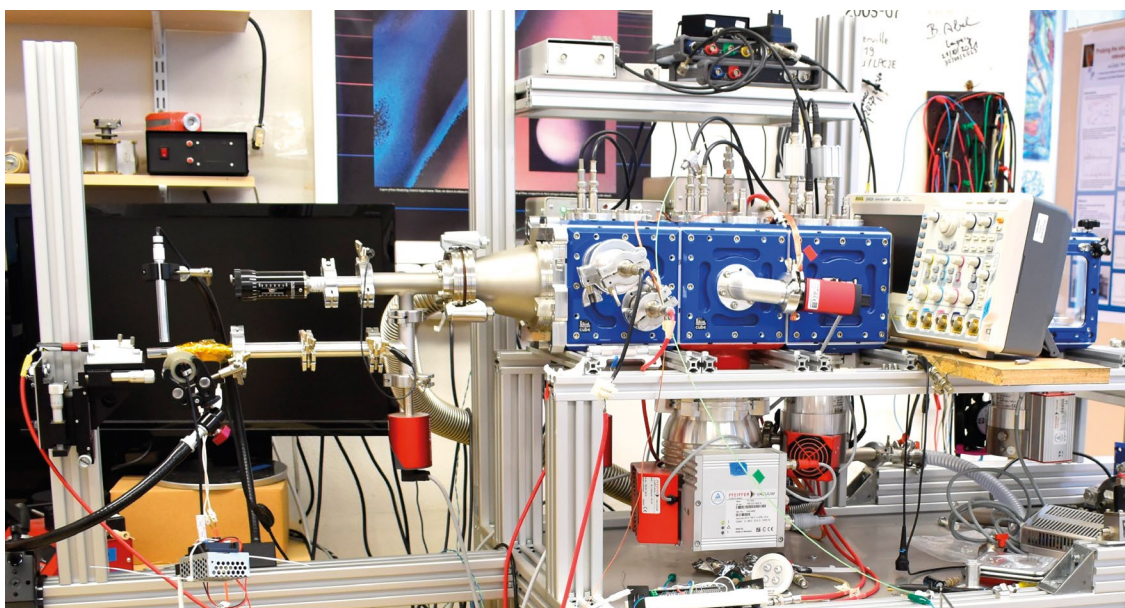
SELINA dokáže vyrábět ionizované ledové nanočástice, rozptýlené v aerosolu, a vstříknout je do analyzátoru

stejnou rychlostí, jakou se pohybují částice v Sluneční soustavě. „Ide o originální simulátor mikrometeoritů. Na světě existují různé typy, ale tento je výnimočný, protože můžeme vytvořit akúkoľvek nanočásticu a potom ju urýchliť na rovnakú rýchlosť ako častice vo vesmíre. Na svete je niekoľko podobných aparátúr, ale tie majú skôr veľkosť celých veľkých laboratórií. My pracujeme inou metódou, ktorá umožnila značnú miniaturizáciu, a táto naša konštrukcia je momentálne najnovšia, najkompaktnejšia a dá sa pohodlne prepravovať,“ podotýká Ján Žabka a dodáva, „rád by som upozornil, že sice fyzikálne princípy jednotlivých častí zariadenia sú medzi vedcami známe, ale ich kombinácia je skutočne jedinečná. A toto originálne zariadenie (SELINA) navrhol predovšetkým Anatolii Spesyvyi, vytvoril jeho 3D model a nakoniec ho, priviedol k životu. Je to hlavne jeho práca.“

Při výzkumu prostřednictvím přístroje SELINA jsou používány ledové nanočástice o velikosti menší než jeden mikrometr, které mají velké množství náboje. Tím, že mají kladný nebo záporný náboj, dají se ovládat pomocí elektromagnetického pole. „Za atmosférického tlaku vytvárame nabitě kvapôčky vody, ktoré sa dostanú do čerpanej aparatury a vo vákuu rýchlo zamrznú. Vzniknú tak nabitě častice ľadu, z ktorých môžeme pomocou selektívneho kvadrupólu vybrať nanočastice s daným pomerom m/z (hmotnosť/náboj), následne zmerať ich rýchlosť a náboj pomocou prieletového detektora. Takto zistíme pomer m/z, z, rýchlosť a z týchto údajov potom môžeme určiť presnú hmotnosť m danej nanočastice, čo je veľmi dôležité,“ doplňuje Ján Žabka.

Součástí přístroje SELINA bude i elektrostatický pulzní urychlovač, který získané částice dokáže výrazně zrychlit. Očekává se, že první prototyp umožní urychlování těchto částic na rychlost zhruba 3 km/s, přičemž interval rychlostí částic ve vesmíru se pohybuje od 2 km/s do 30 km/s. Pokud se některá částice pohybuje rychlostí blízké 30 km/s, je jisté, že nepochází ze Sluneční soustavy. V laboratorních podmínkách tak bude možné nasimulovat složení meteoritů, vesmírného prachu a jiných kosmických objektů z vesmíru.

Vědci Anatolii Spesyvyi, Ján Žabka a další kolegové z Ústavu fyzikální chemie J. Heyrovského ČR vyvinu-



Obr. 7 Pohled na aparaturu SELINA. Zleva doprava atmosférický zdroj nabitých nanočástic a aerodynamický systém pro jejich vstup do vakua. Ve třech komorách, diferenciallyně čerpaných, jsou dva širokopásmové kvadrupóly, druhý z nich slouží k selekci částic podle m/z, dále následuje průletový detektor k určení množství náboje „z“ a rychlosti částic. Foto: Ján Žabka



Mgr. Anatolii Spesyvyi, Ph.D., (*1989) se narodil v Kišiněvě, v dětství se přestěhoval do města Sumy na Ukrajině. Studoval nanoelektroniku na Státní univerzitě v Sumách a v roce 2016 získal doktorský titul na Matematicko-fyzikální fakultě Univerzity Karlovy v Praze v oboru Fyzika plazmatu a ionizovaného prostředí. Od roku 2012 pracuje na Ústavu fyzikální chemie J. Heyrovského AV ČR, zabývá se studiem iontově-molekulových reakcí pomocí hmotnostní spektrometrie a jejich použitím v nových metodách pro analýzu stopových látek ve vzduchu. V současné době se zajímá o vytváření a detekce masivních vícenásobně nabitých částic významných pro astro-



chemii, například v atmosféře měsíců Saturnu. Společně s mezinárodním týmem zkonstruoval unikátní přístroj pro generování analogu mikrometeoritů a kosmického prachu SELINA, který nyní adaptuje na analýzu biologických nanočástic pomocí hmotnostní spektrometrie a detekce náboje

Mgr. Ján Žabka, CSc., (*1967) je česko-slovenský chemický fyzik. Vystudoval Matematicko-fyzikální fakultu UK v Praze a v současnosti pracuje v Oddělení chemie iontů v plynné fázi Ústavu fyzikální chemie J. Heyrovského. Jeho hlavním vědeckým zájmem je laboratorní studium reakcí iontů a molekul v planetárních atmosférách. Má také odborné znalosti a zkušenosti



s návrhem a konstrukcí hmotnostních spektrometrů (kvadrupóly, orbitrapové iontové pasti) a v současné době vyvíjí hmotnostní analyzátoři pro budoucí vesmírné mise.

RNDr. Martin Ferus, Ph.D., (*1983) je český fyzikální chemik. Vystudoval PřF UK v Praze. V současné době působí jako vědecký pracovník a vedoucí Oddělení spektroskopie Ústavu fyzikální chemie J. Heyrovského a věnuje se výzkumu chemie planet, spektroskopii exoplanet, studiu meteorů a materiálové chemii. Martin Ferus stejně jako jeho studenti obdržel za výsledky v oblasti simulace chemických následků dopadu asteroidů na rané planety několik akademických cen.

li tento přístroj spolu s pracovní skupinou profesora Bernda Abela z univerzity v Lipsku, se kterým jmenovaní vědci spolupracují zhruba osm let a SELINA je již třetím projektem jejich společného výzkumu. A tato kooperace analyzátořem SELINA rozhodně nekončí, protože nyní se rodí další a další společné plány.

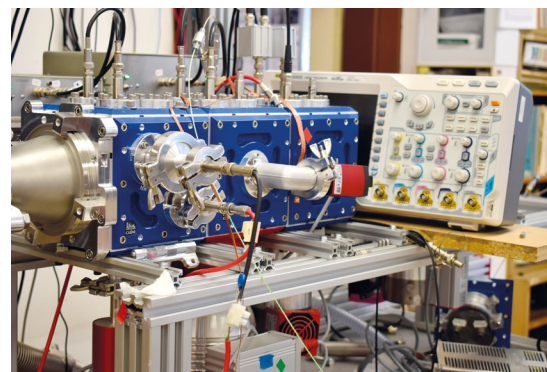
O přístroj SELINA projevíli zájem vědci z univerzity v Boulderu, Colorado (USA), kteří podobný přístroj hledali pro svou spolupráci s NASA a mají zájem tento přístroj koupit. Jeho pořizovací cena se pohybuje kolem 10 milionů Kč. „Výhodou tohto prístroja je, že je kompaktný a dokáže nedeštruktívne zvážiť a vybrať aj ťažké molekuly. Zatiaľ čo iné komerčné prístroje dokážu analyzovať molekuly s maximálnou hmotnosťou 10^5 m/z (hmotnosť/náboj), SELINA dokáže analyzovať molekuly až do 10^8 m/z, teda tisíckrát ťažšie. Laicky povedané, rozdiel medzi SELINA a inými prístrojmi by sa dal porovnať k rozdielu medzi osobnou váhou a váhou na vážení nákladných aut,“ připomíná Ján Žabka.

SELINA je sice uvažována především pro kosmický výzkum, ale již nyní je zřejmé, že své uplatnění najde například i v biologii. Díky své unikátní konstrukci by totiž mohla měřit složení biologických vzorků, kde by se jednalo o částice velikostí podobné uvažovaným ledovým částicím. Mohly by se tak analyzovat biologické vzorky a zjišťovat, jaké částice a z čeho jsou v nich obsaženy. Tímto způsobem by se poté mohly detekovat různé nemoci z krevních vzorků. „Zde však bude třeba velká opatrnost při přípravě vzorků a důsledné odpaření veškeré vody ze vzorku, aby bylo možno měřit právě a jenom přítomné částice. V současné době na tomto výzkumu spolupracujeme s kolegy zde z ústavu, kteří mohou poskytnout biologické částice,“ doplňuje Anatolii Spesyvyi. A Ján Žabka k tomu dodává: „Ak sa trochu zasnívame, SELINA by mohla v bud-

úcnosti pomôcť pri zisťovaní chorôb z krvi. Hľadala by biomarkery chorôb z nanočastíc telesných tekutín. Takúto nanočasticu by bolo možné zachytiť do iónovej pasce, rozložiť ju, zistiť, z čoho sa skladá a či obsahuje sledované biomarkery. Bola by to veľmi účinná metóda na identifikáciu chorôb a doslova ‚vesmírna‘ aplikácia na biologické využitie. Sme len na začiatku, nevieme, ako to celé bude fungovať, a či vôbec, ale zatiaľ to vyzerá sľubne.“

Momentálně bude SELINA plnit především svoji původní úlohu, a to v přípravě nových vesmírných pomocníků k hlubšímu poznávání Sluneční soustavy. Její dvojice se vydá na univerzitu v Boulderu pomáhat při řešení obdobných projektů v rámci NASA.

A my za redakci Československého časopisu pro fyziku přejeme tvůrcům přístroje SELINA mnoho vědeckých úspěchů nejen ve vesmíru, ale i s přesahem do biologie a dalších oborů.



Obr. 8 SELINA je sice primárně uvažována především pro kosmický výzkum, ale díky své unikátní konstrukci by mohla měřit také složení biologických vzorků. Foto: Archiv Ústavu fyzikální chemie J. Heyrovského