



Evropský stroj času

V roce 2028 odstartuje dalekohled ARIEL.

Jeho úkolem bude prozkoumat prostředí vzdálených exosvětů. A čeští vědci budou u toho! Doufají, že se observatoř stane strojem času, který otevře okno do minulosti Země

Je tam více světů, nebo pouze jeden?“ ptal se ve 13. století učenec **Albertus Magnus**. Téměř 750 let po jeho smrti nastoupila první generace vědců schopná na jeho otázku

jednoznačně odpovědět. Umíme nejen prokázat existenci planet u cizích hvězd, ale zároveň disponujeme nástroji pro jejich podrobný výzkum. V pořadí čtvrtá mise střední třídy **Evropské kosmické agentury**, **ARIEL** – *Atmospheric Remote-sensing Infrared Exoplanet Large-survey* neboli „rozsáhlý dálkový průzkum atmosfér exoplanet infračervenou detekcí“ – **odhalí detaily o klimatu, chemickém složení atmosfér a mnohá další tajemství cizích světů.**

Otázky týkající se slibné výpravy nám zodpověděl **Martin Ferus**, vedoucí Oddělení spektroskopie Ústavu fyzikální chemie J. Heyrovského, který je spolu se **Svatoplukem Civišem** hlavním

českým zástupcem v misi ARIEL. **Martin Ferus pátrá po mechanismech vzniku života na Zemi** a doufá, že dalekohled prostuduje mladou planetu zemského typu starou jen několik set milionů roků – tedy v době, kdy tam snad bude vznikat život, podobně jako kdysi na rané Zemi.

? **Jaká je šance, že se vám pomyslné okno do minulosti podaří otevřít?** Věřím, že stoprocentní. Nějaké indicie o tom, jak se vyvíjela Země, už dokonce existují. Například protohvězdy IRAS 16293-2422 A a B v Hadonoši jsou mladé stále slunečního typu staré méně než sto tisíc let. Planety kolem

Ptala se Jana Žďárská

Kdo je...

**RNDr. Martin Ferus,
Ph.D. (*1983)**

je český fyzikální chemik. Vystudoval Přírodovědeckou fakultu Univerzity Karlovy 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. Spolu se svými studenty obdržel několik akademických cen za simulace chemických následků dopadů asteroidů na rané planety.



ARIEL, dalekohled s českou účastí, má pátrat i po stopách života na vzdálených světech

nich ještě nekrouží, protože jejich vznik vyžaduje akreční procesy trvající miliony až desítky milionů roků. Ale měření odhalila informace o přítomnosti prebiotických organických látek již v protoplanetárním disku.

V současné době mnozí astronomové říkají, že je Země výjimečná, tudíž se může na první pohled zdát, že najít mladou exoplanetu zemské velikosti bude už z hlediska statistiky tvrdý oříšek. Pravdu však odhalí až mise TESS a hlavně PLATO, schopné detekovat malé oběžnice zemského typu. Pak budeme mít skutečnou statistiku. Ani potom ovšem nebude vyhráno, protože satelit ARIEL dokáže podrobně studovat planety typu superzemě a větší. Nicméně i superzemě mohou o rané Zemi leccos napovědět. Okno do minulosti tedy ARIEL sice otevře, ale ani za deset let nebude úplně dokonán. V závislosti na úspěchu hledačů exoplanet a rozeznávání mladých hvězd i exoplanet od těch starších, což není jednoduché, může být dokonce hodně zamlžené. Všechno ve vědě je k diskusi, ale já věřím a zůstávám optimistou.

? Mohl byste nám nejprve přiblížit základní ideu mise ARIEL?

Půjde o Cassegrainův dalekohled vybavený mimoosým parabolickým zrcadlem o rozměrech 0,7 krát 1,1 metru. V porovnání s Hubbleovým či Webbovým teleskopem bude vypadat jako „blecha“, dostane však do výbavy sadu tří pokročilých spektrometrů pracujících v oblastech tepelného sálání, v nichž lze zaznamenat unikátní spektrální signatury – tedy jakési nezaměnitelné „otisky prstů“ řady plynů, iontů, těkavých látek a aerosolů. Tyto spektrometry, konkrétně NIRspec, AIRS0 a AIRS1, jsou naladěny na pásma vlnových délek 1,1 – 1,95 – 3,9 – 7,8 mikrometru. Satelit má zkoumat velké plynné planety až po kamenné světy typu superzemě.

? A jaké jsou konkrétní úkoly mise?

Určitě přinese víc fascinujících otázek než uspokojivých odpovědí. Řadu podnětů snad vyřeší její následovníci, tedy kosmická observatoř LUVOIR neboli „velký průzkum v ultrafialové optické a infračervené oblasti“, se zrcadlem o průměru patnácti metrů (podotýkám, že Hubble měří 2,4 metru a James Webb 6,5 metru), která poletí až deset let po ARIELu, zřejmě v roce 2039. A také HabEx, jenž odstartuje už rok po něm a přímo se zaměří na pátrání po výskytu života na exoplanetách. ARIEL se má sou-

V porovnání s Hubblem či Webbem bude ARIEL malý jako blecha. Ponese však sadu tří pokročilých spektrometrů

středit především na jejich stavbu, evoluci i formování a zkoumat chemické složení tamních atmosfér pomocí takzvané tranzitní spektroskopie.

? Jak takový průzkum probíhá?

Tranzitní spektroskopie zkoumá chemické složení planety v okamžiku jejího přechodu přes kotouček mateřské hvězdy. Podobným způsobem – pozorováním přechodu Venuše přes sluneční kotouč – zjistil v roce 1761 Michail Lomonosov, že má druhá planeta naší soustavy atmosféru. Poprvé se tak

podarilo přinést jednoznačný důkaz, že i cizí oběžnici může obklopotvat vzdušný obal jako Zemi. V Lomonosovově době však nebyly principy spektroskopie známy, takže se nic nevědělo o chemickém složení tamní atmosféry.

Po změření spektra následně ARIEL podělí data získaná během tranzitu záznamem těsně po přechodu, a co bude chybět, to se vyhodnotí jako absorpční spektrální otisk atmosféry planety. Uvedeným způsobem observatoř probádá asi tisíc exoplanet. Vědci se pak soustředí na hledání spektrálních signatur vody,

ARIEL v kostce

Typ dalekohledu:	Cassegrainův
Hlavní zrcadlo:	parabolické 0,7 × 1,1 m
Hmotnost:	950 kg
Start:	2028
Raketa:	Ariane 6-2 (při startu rovněž vynese tzv. stíhač komet, Comet Interceptor)
Umístění:	librační bod L ₂
Plánovaná délka mise:	4 roky
Spolupráce:	přes 50 institucí ze 17 zemí ESA

čpavku, metanu, kyanovodíku, oxidu uhličitého či fosfinu na tělesech zemského typu, ale i dost exotických látek, jako jsou binární sloučeniny titanu, vanadu či křemíku s kyslíkem, vyskytující se v atmosférách horkých plynných planet.

? Na jakou částku jsou vyčísleny?

ARIEL bude stát asi šest set milionů dolarů, ale James Webb už vyšel na deset miliard! ARIEL má pozorovat kolem tisíce exoplanet. Webb jich plánuje obsáhnout dvacet osm, zhruba od velikosti Marsu po obrovské světy násobně větší než Jupiter.

Na rozdíl od Webbova teleskopu nepřinese dálkový průzkum exoplanet pomocí ARIELu pár třesniček na dortu, ale půjde o systematické pozorování po dobu čtyř let. Získáme tak statistická data ukazující průřez chemickým složením, klimatem, oblačností a strukturou mraků – protože na cizích planetách je může tvořit suchý led jako na Marsu, kyselina sírová jako na Venuši či písek a oxidy kovů jako na plynných obrech – a dále vznikem i vývojem. Jde o první misi vědeckého programu ESA nazvaného Cosmic Vision, věnovanou měření chemického složení a tepelných struktur exoplanet.

až do roku 2032. Bod se nachází daleko za oběžnou dráhou Měsíce, jeden a půl milionu kilometrů od Země v jejím věčném stínu. ARIEL se stane takovým osamoceným astronomem někde daleko za lesem.

? Co bude v programu mise zajišťovat česká strana?

Pod vedením vědců z Ústavu fyzikální chemie Jaroslava Heyrovského Akademie věd bude zodpovídat za reprezentaci České republiky, kontakt s konsorciem pro výrobu satelitu a hlavně za vývoj, testování a vznik hlavních optických komponent – systému zrcadel vyvazujících svazek světla z eliptického primárního zrcadla do spektrálního optického systému. Vyrobí je turnovské centrum TOPTEC Ústavu fyziky plazmatu Akademie věd. Česká strana zajistí i konstrukce, optické montáže a kryogenní testy.

Nechceme pouze plnit databáze čísla. Za každou chemickou látkou se může skrývat zajímavý příběh a důležité údaje

? Jedná se o první misi, jež se bude věnovat zkoumání velkého množství tranzitujících exoplanet. Jakým způsobem posune vědu za hranice Sluneční soustavy?

První takovou možností ve skutečnosti nabídne chystaný Vesmírný dalekohled Jamese Webba. Disponuje přístrojem NIRSPEC pro analýzu záření od zeleného viditelného světla až po tepelné sálání v rozsahu 0,5–5 mikrometrů a pro analýzu dlouhovlnného tepelného záření v oblastech 5–12 či 4,9–28,8 mikrometru v závislosti na rozlišení, jež má být srovnatelné a v některých oblastech vyšší než u ARIELu. Jeho cílové objekty lze srovnat s těmi u mise ARIEL. Ale James Webb má plnit celou řadu úkolů a studium exoplanet představuje pouze jeden z nich. Je prostě příliš drahý, než aby se použil „jen“ na jednu věc. ARIEL bude pracovat pouze na exoplanetách, od velikosti násobků Země až po plynné obry, přičemž náklady na misi dosahují zlomku v porovnání s Webbem.

? Ví se už, která raketa observatoř vynese a kde se poté bude ARIEL pohybovat?

Ariane 6-2 jej v roce 2028 umístí do libračního centra L₂, tedy do bodu, kde se vyrovnává odstředivá síla a gravitační působení Země a Slunce. Tam bude observatoř nerušeně provádět pozorování

? Co je nejdůležitějším cílem českých vědců?

Kromě zmíněného pátrání po podmínkách vzniku života na Zemi a výroby sady zrcadel optické soustavy dalekohledu je záměrem vytvořit katalog spekter cílových chemických látek, které se očekávají v atmosférách exoplanet. Nechceme však pouze plnit databáze čísla. Za každou látkou se může skrývat zajímavý příběh a spousta důležitých údajů. To, o jakou chemikálii se jedná a v jaké koncentraci se v ovzduší exoplanety vyskytuje, nám může hodně napovědět nejen o chemii atmosféry, ale také o podstatě tělesa samotného, o jeho povrchu a nitru. A může to také znamenat, že na exoplanetě vzniká



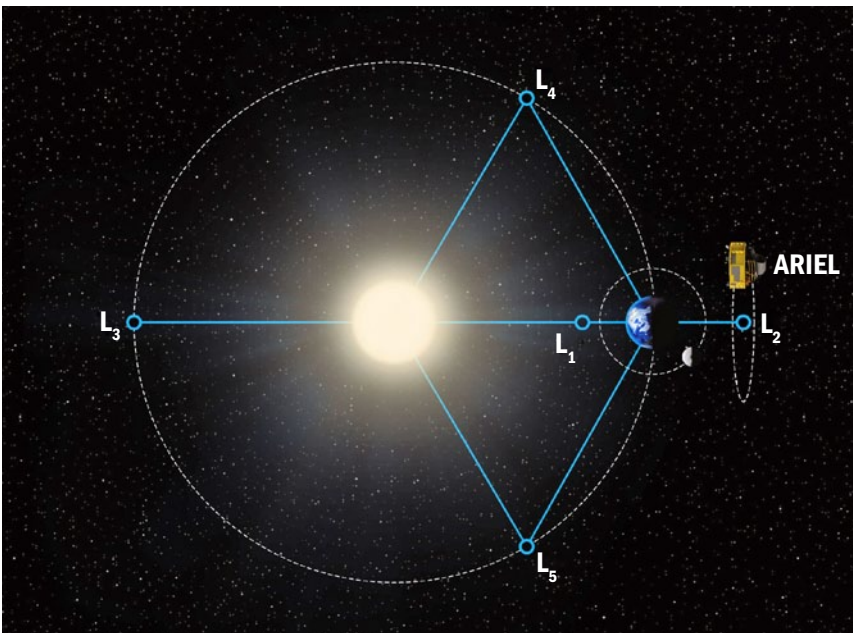
Planety typu superzemě, jež dokáže ARIEL podrobně studovat, mohou leccos napovědět o rané Zemi

Slovníček

Evropská kosmická agentura (ESA) v současnosti v rámci svého vědeckého programu připravuje množství programů k výzkumu kosmu. Chystají se **malé mise (S)**, **středně velké (M)**, **velké (L)** a tzv. příležitostné, zaměřené na zapojení ESA do projektů mezinárodních partnerů. Rozpočet misí „M“ činí standardně 500 milionů eur, u „L“ jde o miliardu a u „S“ o 50 milionů, bez přístrojového vybavení.

Jako **superzemě** se označují extrasolární planety, jež hmotností převyšují Zemi, ale zároveň nepřesahují desetinásobek dané hodnoty – jsou tedy méně hmotné než ledové obří Sluneční soustavy. Superzemě definuje pouze jejich hmotnost, a termín tak nijak nevypovídá o tamních povrchových podmínkách či obyvatelnosti.

financování vývoje a výroby vědeckých přístrojů či experimentů, jež navrhuje výzkumná pracoviště v členských státech ESA. Má umožnit financování nákladného vývoje zejména v menších členských zemích a podpořit spolupráci vědeckých pracovišť s průmyslovými



ARIEL bude pracovat v libračním bodě L₂, ve věčném stínu modré planety

život, že tam dávno existuje nebo že se tam třeba vyskytuje průmyslová civilizace. Pracovně tyto molekuly nazýváme markery: Podobně jako se v medicíně hledají markery nemocí, my se je pokusíme najít pro různé jevy, které na exoplanetách probíhají.

? Exoplanety jsou aktuálně v hledáčku vědeckého programu ESA. Které další mise se jim nyní věnují?

V současné době představuje důležitou misi satelit pro charakterizaci exoplanet CHEOPS, vypuštěný loni osmnáctého prosince, který má zkoumat jejich fotometrii při přechodu přes kotouček mateřské hvězdy. Neumí tedy měřit spektra jako ARIEL či Webbův dalekohled, ale dokáže zjistit úbytek světla při tranzitu, z čehož lze dovodit například velikost exoplanety. Další misí je PLATO, tedy „planetární tranzity a oscilace“, jež se má zaměřit na vlastnosti potenciálně obyvatelných exoplanet kolem hvězd slunečního typu. Od dubna 2018 je pak v provozu satelit NASA nazvaný TESS, který zkoumá cizí světy blízko jasných stálic a provádí systematický celooblohový průzkum.

? Jaký přínos bude mít zapojení českých firem a vědců do mise ARIEL?

Průmyslový výzkum a vývoj jdou ruku v ruce se zapojením vědců. Na ARIELU

se zatím přímo podílí pouze společnost TOPTEC z Turnova, která pro něj dodá zrcadla. V souvislosti s misí pak ještě řešíme projekt rovněž s turnovskou firmou CRYTUR, jež vyvíjí nové zdroje pro spektroskopii v blízké infračervené oblasti. Mohly by se využít pro záznam laboratorních spekter cílových chemických látek hledaných v atmosférách exoplanet. Technický vývoj se financuje z programu PRODEX, který pokryje náklady na vyvinutí zrcadel TOPTECem ve výši 1,65 milionu eur.

Podobně jako se v medicíně hledají markery nemocí, my se je pokusíme najít pro různé jevy na exoplanetách

My jako vědci dostaneme na koordinaci a dohled nad vývojem zrcadel dvě stě tisíc eur na sedm let. Na veškerou vědu spojenou s misí to nestačí, v podstatě se tím pokryje pouze několik koordinčních schůzek v zahraničí, absolutně nezbytný materiál a malá část úvazku pro další vědce, management a studenty.

? Čím konkrétně se program PRODEX zabývá?

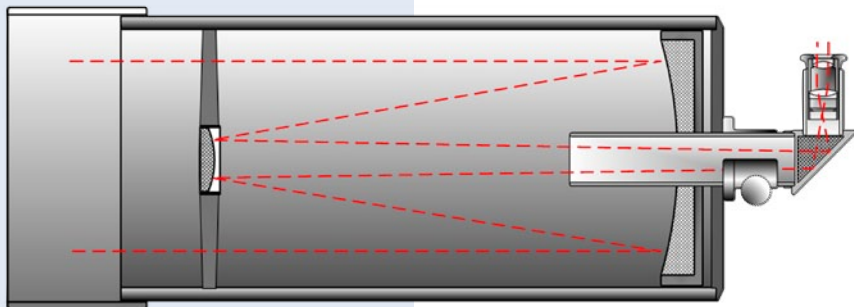
Jde o volitelný program Evropské kosmické agentury určený primárně pro

podniky. V České republice je určen výhradně pro průmyslový vývoj, takže vědu nefinancuje. Pokud se čeští vědci na průmyslovém vývoji nepodílejí, musejí žádat o granty jinde, například u Grantové agentury či z různých programů Ministerstva školství, Technologické agentury a Akademie věd. Jeden projekt Grantové agentury máme, ale ten nestačí. Pro nás znamená udělení grantu PRODEX na výrobu zrcadel teprve začátek shánění prostředků na související vědu. Ze zapojení českého průmyslu mám ovšem nesmírnou

» fakta

CASSEGRAINŮV DALEKOHLED

V Cassegrainově dalekohledu se světlo odražené dutým primárním parabolickým zrcadlem soustředí do malého vypuklého hyperbolického zrcadla. To jej následně odrazí do okuláru umístěného v ose přístroje. Primární zrcadlo tedy musí mít uprostřed otvor.



Čubu z Fakulty jaderné a fyzikálně inženýrské ČVUT. Je do toho zapojená velká laserová infrastruktura PALS pod vedením Miroslava Krůse a spousta dalších. S CRYTURem Turnov vyvíjíme spektrální zdroje ve spolupráci s Janem Kubátem. Mohl bych napsat knížku „kdo je kdo“. Nejsme v tom sami a to mě těší.

? A co od mise ARIEL očekáváte vy osobně?

Abych parafrázoval Písně kosmické Jana Nerudy: Chci vědět, jestli jsme jediné žaby v jediné kaluži a jak jsme se v té naší vlastní kaluži vlastně vzali. ↻

Poděkování Martina Feruse: Kromě příspěvku MŠMT do programu PRODEX Evropské kosmické agentury podporuje související výzkumné aktivity Grantová agentura ČR v rámci projektu „Transformace planetárních atmosfér plazmatem a UV/XUV/rtg. zářením: Co můžeme očekávat na raných exoplanetách?“, reg. č. 19-03314S.

Mgr. Jana Žďárská působí jako místopředsdkyně Kosmologické sekce České astronomické společnosti, pracuje na Fyzikálním ústavu AV ČR. K astronomii ji v dětství přivedl otec, v rámci její popularizace se věnuje ponejvíc rozhovorům s vědeckými osobnostmi a reportážím z astronomických akcí

radost. Jednak jde o další příležitost pro naše firmy a hlavně – bez zrcadel z Turnova by satelit ARIEL žádná spektra nepořídil.

? Kteří z českých vědců se budou na akci podílet?

V misi ARIEL jsou dva čeští zástupci: já a kolega Svatopluk Civiš. Jsme takzvaní Co-PI, jak se v žargonu misí označují vedoucí spolupracující výzkumníci. V našem týmu se na výzkumu přímo podílí Antonín Knížek, náš nadaný student doktorského studia, který pracuje na chemii exoplanet, a diplomant Lukáš Petera. Nechybí nám ani manažerka projektu, kterou je Růžena Ferusová Živorová – s níž jsem se dobře oženil, aniž bych tušil, že budeme spolupracovat na misi zkoumající jiné světy. V TOPTeCu je hlavním koordinátorem technické části Lukáš Steiger. Samozřejmě je spousta našich kolegů a studentů, ať už u nás na ústavu, či mimo něj, kteří se věnují tématům souvisejícím s misí. S Petrem Kabáthem teď dáváme dohromady konsorcium výzkumníků exoplanet v České republice a já vedu pracovní skupinu Astrochemie a prebiotické chemie v rámci ARIELu. Zahrnuje vědce z celé republiky i ze světa, třeba manžele Šponerovy z Biofyzikálního ústavu Akademie věd v Brně, Markétu Vaculovičovou z brněnské Mendelovy univerzity, Libora Lenžu z Hvězdárny Valašské Meziříčí, Václava

Jak přechít světlo

Pokud pozorujeme ze správného úhlu exoplanetu obíhající mateřskou hvězdu, při přechodu přes její kotouč můžeme zaznamenat úbytek světla stálice, a změřit tak spektrum atmosféry sledované exoplanety. Představíme-li si, že se na ní také střídají roční období, pak se nám zdá, že v průběhu exoléta „dorůstá“, podobně jako Měsíc. Ve fázi úplňku během exopodzímu se však schová za mateřskou hvězdu, a protože k nám neputuje odražené světlo, detekujeme celkově nižší intenzitu záření – dochází k tzv. sekundárnímu tranzitu.

Jakmile se planeta vynoří, záření se vrátí k normálu a oběžnice během exozimy „couvá“, stejně jako náš souputník. Když na ní pak nastane exojaro, dojde na fázi „novu.“ Ve chvíli zástiny prochází světlo mateřské stálice atmosférou planety. Celková intenzita záření zaznamenaného dalekohledem klesá, a pokud jej rozložíme na jednotlivé barvy, respektive vlnové délky – tedy provedeme spektrální analýzu – spatříme temné pásy charakteristické pro různé chemikálie a aerosoly v planetární atmosféře.

