



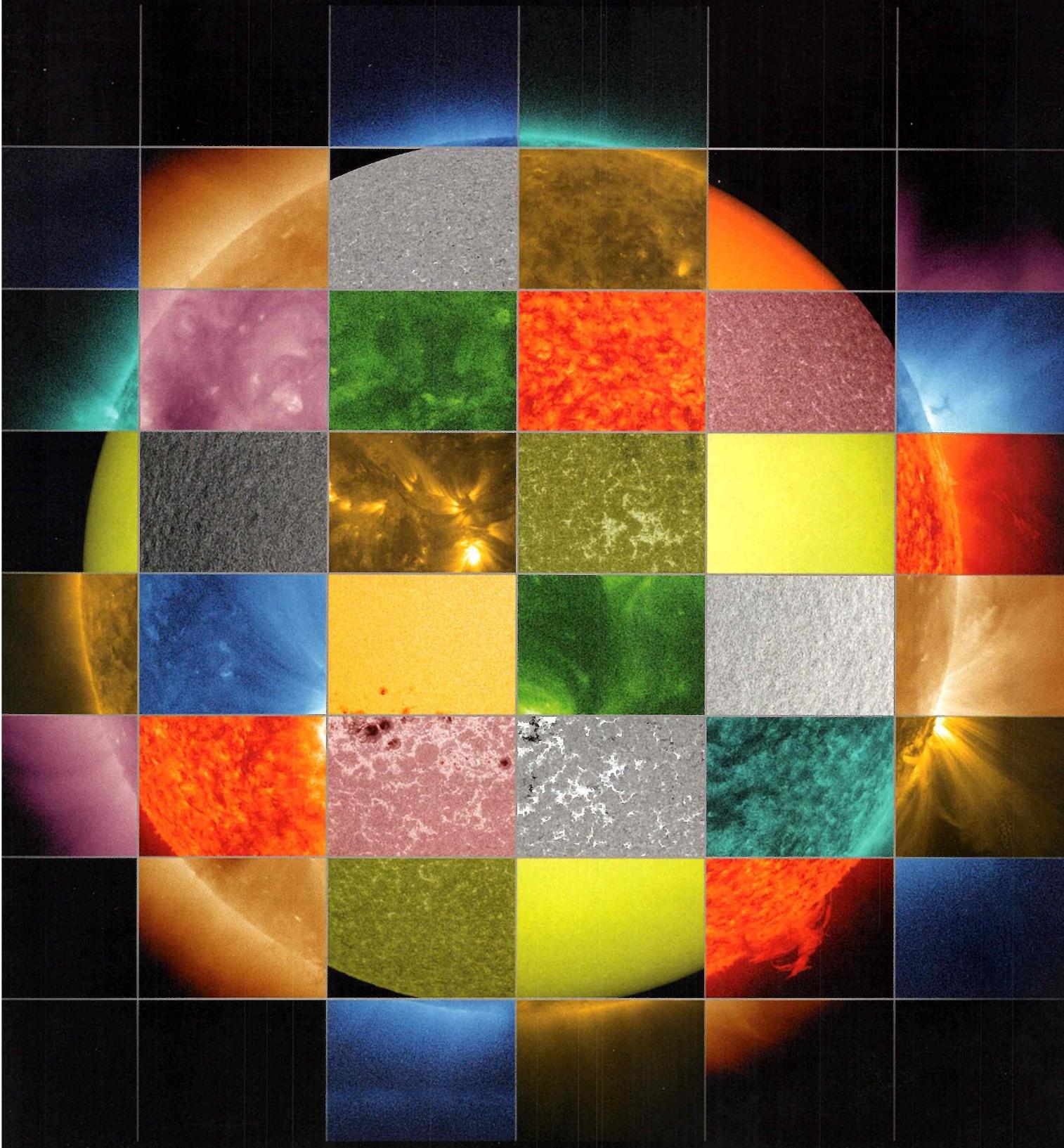
Číslo 6

december 2019 – január 2020

Ročník 50

Cena 3,00 €

KODAKOS



9

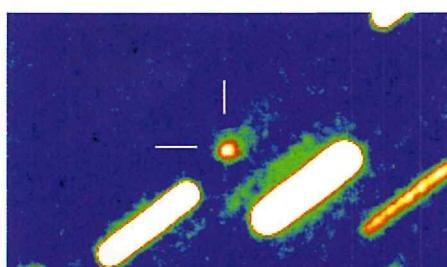
770323 049000

Prvá medzihviezdna kométa

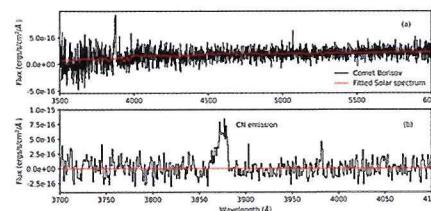
Po medzihviezdnom objekte 'Oumuamua, ktorý preletel cez Slnečnú sústavu v roku 2017 a mal asteroidálny charakter, máme aj prvú medzihviezdznu kométu. Objekt 2I/Borisov, po objave označený ako kométa C/2019 Q4 (Borisov), je medzihviezdzna kométa s excentricitou dráhy 3,36.

Dňa 30. augusta 2019 objavil Gennadij Borisov na Kryme nový objekt. Ukázalo sa, že nie je súčasťou našej Slnečnej sústavy (neobieha okolo Slnka), ale prichádza z medzihviezdzneho priestoru. Rýchlo sa zistila kometárna povaha objektu. Hned od objavu sa spojite pozoruje, pričom po celom svete bolo získaných 261 meraní polohy na 17-dňovom oblúku dráhy. Z týchto pozorovaní bola vypočítaná predbežná dráha komety voči Slnku, kde jedným z parametrov je tzv. numerická excentricita. Jej hodnota charakterizuje tvar dráhy – ak je excentricita medzi nulou a jednotkou, je dráha eliptická so Slnkom v jednom ohnisku, pre excentricitu väčšiu ako jednotku je dráha hyperbolická, čo znamená, že kométa okolo Slnka len preletí a nikdy viac sa do Slnečnej sústavy nevráti – ide teda o jednorazové stretnutie telies.

U objektu Borisov vyšla excentricita až 3,36, takže o hyperbolickej dráhe a teda medzihviezdnom pôvode nemôže byť pochýb. Sklon roviny dráhy k rovine ekliptiky je 44 stupňov, z čoho vyplýva, že objekt Borisov



Kométa Borisov (označená úsečkami) na 4-minútové snímke z 13. septembra 2019. Snímku získali M. Pikler a M. Husárik pomocou 0,61 m ďalekohľadu observatória Astronomického ústavu SAV na Skalnatom plese. Obrazy hviezd sú predĺžené vďaka pohybu ďalekohľadu, ktorý počas expozície sledoval pohyb komety medzi hviezdami.



Spektrum komety 2I/Borisov, na dolnom obrázku lepšie rozlíšenie okolo emisného pásu kyánu CN (0-0), ktorý patrí k najvýznamnejším emisiám aj u komét Slnečnej sústavy. Získané 26. 9. 2019 ďalekohľadom Gran Telescopio Canarias s priemerom objektívov 10,4 m.

sai pri približovaní k Slnku nedostal do blízkosti Jupitera, ktorý by mohol zmeniť jeho dráhu. Takže parametre dráhy sú zmenené málo a skutočne ide o medzihviezdznu návštevu. Tomu zodpovedá aj označenie objektu – z pôvodného kometárneho označenia bolo zmenené na objekt s predponou „I“ pre medzihviezdzne objekty.

V čase objavu bola kométa Borisov vzdialenosť 3 astronomickej jednotky od Slnka a 3,8 AU od Zeme. Najbližšie k Slnku bude 8. decembra 2019 vo vzdialnosti 2,025 AU (za dráhou Marsu). V stredných a veľkých ďalekohľadoch je viditeľná ráno pred východom Slnka. Najbližšie k Zemi bude 28. decembra 2019, viditeľná už len tesne nad obzorom. Po Novom roku nebude z našich zemepisných šírok pozorovateľná, dobré podmienky pre pozorovanie veľkými ďalekohľadmi budú však na južnej pologuli. Do celosvetových pozorovaní tohto objektu sa zapojili aj 0,61 m a 1,3 m ďalekohľady observatória Astronomického ústavu SAV na Skalnatom plese.

Astronómovia postupne spresňujú dráhu a získavajú fyzikálne pozorovania. Údaje sú zatiaľ neisté, postupne sa budú zlepšovať. Odhadu priemeru kometárneho jadra sa pohybujú v rozsahu od 1,4 do 16 km. Hlavne nás zaujíma, či zloženie kometárnych plynov a prachu bude rovnaké ako u komét našej Slnečnej sústavy, alebo sa bude niečim lísiť. Dňa 13. septembra 2019 získal ďalekohľad Gran Telescopio Canarias spektrum komety C/2019 Q4 (Borisov) vo vizuálnej oblasti, ktoré odhalilo, že zloženie tohto objektu sa podobá na komety Slnečnej sústavy.

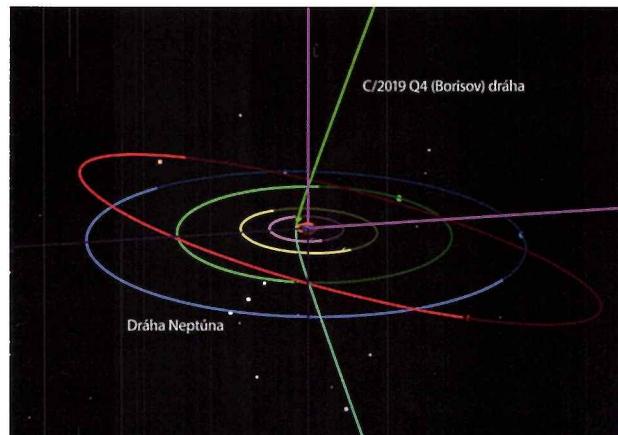
Medzihviezdzna kométa sa môže vo výnimočných prípadoch zachytiť na heliocentrickú obežnú dráhu pri prechode cez Slnečnú sústavu. Počítačové simulácie ukazujú, že Jupiter je jediná planéta dostatočne veľká na to, aby ju zachytila, a že sa dá očakávať, že k tomu dôde raz za šesťdesiat miliónov rokov. Možné príklady takýchto zachytených komét sú komety 96P/Machholz 1 a C/1996 B2 (Hyakutake), ktoré majú odlišné chemické zloženie ako komety Slnečnej sústavy.

Je taktiež možné, že kométa pôvodne obieha júca okolo Slnka sa po interakcii s treťím hmotným telesom stane

medzihviezdnym objektom. Takýto proces prebehol začiatkom osemdesiatych rokov, keď kométa C/1980 E1 (Bowell), spočiatku gravitačne viazaná na Slnko, prešla blízko Jupitera a bola dostatočne urýchlená na to, aby dosiahla únikovú rýchlosť zo Slnečnej sústavy. Dráha sa zmenila z eliptickej na hyperbolickú s excentricitou 1,057, kométa smeruje do medzihviezdzneho priestoru.

Objavenie objektu Borisov necelé 2 roky po objekte 'Oumuamua podnietilo diskusiu o počte medzihviezdných objektov v Slnečnej sústave. D. E. Trilling z univerzity vo Flagstaffe s 9 spolupracovníkmi skúmali pravdepodobnosť odhalenia takého objektu. Predpokladali, že pri tvorbe planét unikne zo vznikajúcej planetárnej sústavy do medzihviezdzneho priestoru množstvo hmoty asi $20 M_{\oplus}$, čo je používaná hodnota pre Slnečnú sústavu. Pri súčasnej úrovni detekcie takýchto medzihviezdných objektov je odhad 0,2/rok, pri rozsiahlejšej a detailnejšej detekcii sa počet zvýší na 1 za rok.

Takže sa nepochybne máme na čo tešiť.



Dráha komety 2I/Borisov s perihéliom za dráhou Marsu.



Otvoriteľ Gennadij Borisov s 0,65 m ďalekohľadom vlastnej konštrukcie, ktorým kometu objavil.

Záhadné pyramídy na trpasličej planéte Ceres

Na Cerere sa vypína mohutný vrch. Prečo iba jeden? Kam sa podeli ostatné ľadové sopky tohto aktívneho telesa?

Cereru objavili v roku 1801. Spočiatku ju považovali za novú planétu, obiehajúcu okolo Slnka medzi Marsom a Jupiterom. Po niekoľkých desaťročiach jej status znížili na najväčší objekt pásu asteroidov. (Dnes ju zaradujeme do skupiny trpasličích planét, kam vedci pred nedávnom zaradili aj Pluto, o ktorom sme sa v škole dlho učili ako o deviatej planéte Slnečnej sústavy.)

Vďaka sonda Dawn sa Cerera stala jedným z najlepšie preskúmaných malých objektov Slnečnej sústavy. Sonda okolo nej krúžila 44 mesiacov vďaka tomu, že misiu opakované predĺžili. (Po ukončení misie nad Cererou presmerovali sondu k asteroidu Vesta, okolo ktorého obiehala 13 mesiacov).

Ľadový obor

To, čo z vyše 70 000 snímok povrchu Cerery vedci zistili, prekvapilo aj špecialistov, planetológov. Napríklad: najvyšší tamojší vrch Ahuna Mons dosahuje výšku bezmála 5 000 metrov. Tvarom pripomína ozrnutú pyramídu, nie je to však horúci štitový vulkán, aké poznáme na Zemi, ale ľadová sopka, kryovulkán. Podobné útvary sondy objavili aj na Neptúnovom mesiaci Tritón, či na Neptúnovom mesiaci Enceladus. Ich aktivita vzniká vďaka vnútornému teplu, ktoré v prípade Tritóna a Enceladu, ale aj početných sopiek na Jupiterovom mesiaci Io, generujú silné slapové sily ozrutných planét.

Ahuna Mons je však najvyšším ľadovým vulkánom celej Slnečnej sústavy. Čo generuje teplo v jeho prípade? Vedľ podistým opakované vyvrhovala zo svojho vnútra nielen teplú vodu, ale aj ľahko taviteľné horniny.

Sonda Dawn svahy Ahuna Mons dôkladne preskúmala. Z analýzy spektier vysvitlo, že sa tam ukladali aj soli. Napríklad uhličitan sodný, pôvodne rozpustený vo vode, vyvierajúcej

zo sopky v podobe viac či menej pravidelných fontán. Roztok okamžite zamrzol a po vyparení vodného ľadu na svahoch ostala iba soľ. Vedcov zarazilo, že na svahoch sopky neobjavili nijaké vedľajšie krátery. Jedným z možných vysvetlení je pomerne nízky vek vulkánu; má maximálne 240 miliónov rokov, môže však byť aj oveľa mladší.

Dlho to vyzeralo, že Ahuna Mons je jediným významnejším vrchom na Cerere. To by však bolo zvláštne, pretože sopky nemajú rady samotu, a zvyčajne sa vyskytujú v skupinách alebo reťazcoch.

Michael Sori z University of Arizona: „Pôvodne na Cerere bolo oveľa viac ľadových vulkánov. Tie však postupne zanikali spolu s tým, ako sa menili geologické obdobia.“

Predstavte si hustú tekutinu podobnú na med, ktorá pomaly steká dolu svahmi a rozlieva sa do okolia. Planetológovia tento jav nazvali „viskózna relaxácia“. Povrch Cerery sice nie je kvapalný, dokáže sa však pohybovať rovnako ako ľadovce. Dokáže pomaly „tieť“ podobne ako med. Túto úlohu zohráva vysoký podiel vodného ľadu vo vrchných vrstvách trpasličej planéty.

Zvyšky ďalších kryovulkánov

Poznatky M. Soricha nedávno zverejnili týždenník *Nature*. Na snímkach zo sondy Dawn vedci doteraz objavili na Cerere 22 podzemných vyvýšení. Tito kandidáti na bývalé ľadové sopky sú vysokí zhruba 1100 metrov, pričom na ich povrchu sa rozkladajú viac či menej rozsiahle roviny. Najnápadnejší „bývalý“ kryovulkán Yamor Mons sa nachádza nedaleko severného pólu. V jeho kráteri rozlíšili vedci stopy po početných impaktoch. To znamená, že vulkán je oveľa starší ako Ahuna Mons.

Všetky tieto „vyhasnuté“ kryovulkány sú v porovnaní so svojou výškou až päťkrát širšie. Ostatné vrchy a vyvýšenia sú podstatne nižšie. Podľa Soricha sa takto prejavujú dôsledky viskóznej relaxácie, ktorej „motorom“

sú rozdielne teploty. Na severnom póle Cerery zaznamenali teploty pod mínus 170 °C, okolo rovna iba mínus 115 °C.

Vedci z toho odvodili, že polovicu tamojších sopiek tvorí spolovice vodný ľad. Na extrémne chladných pôloch je ľad oveľa tvrdší ako v miernejších šírkach, preto sú polárne vulkány odolnejšie. Väčšina ostatných sopiek je relaxovaná. Inými slovami: ich ľadové sú teplejšie a preto mäkkšie. Podľa Soricha na Cerere každých 50 miliónov rokov „vyrastie“ jedna nová sopka.

Nad Škvavnitým kráterom

V júni 2019 sa sonda Dawn premiestnila na nižšiu, eliptickú dráhu. Výhoda: v bode najväčšieho priblíženia bola od povrchu vzdielená iba 35 kilometrov. V tom čase sonda exponovala s desaťnásobným rozlišením aj snímky impaktného krátera Occator s priemerom 92 km. Na snímkach vedci objavili nápadné svetlé škvavnny.

Uprostred krátera sa vypína svetlá asymetrická kopa. Aj ju kedysi splodili dávne kryovulkanické aktivity. A podľa všetkého aj tu kedysi tryskali z povrchu fontány slanej vody. Postupom času sa vodný ľad vyparil a v kráteri ostali iba ložiská prevrstvených solí.

Na východnej strane krátera objavili kamery svetlé škvavnny, ktoré neskôr pomenovali Škvavnitý kráter. Aj okolo nich sa vyskytuje zmes solí a vodného ľadu, ktoré majú najviac 2 milióny rokov. Podľa Andreea Nathuesa z Inštitútu výskumu Slnečnej sústavy Maxa Plancka to dokazuje, že Cerera je ešte vždy aktívna. Nathues v časopise *Icarus* píše: „Zmeny na povrchu Cerery majú sezónny charakter. Údaje z prístroja VIR (Visible and Infrared Spectrometer) v priebehu 6 mesiacov potvrdili významné zväčšenie ľadových plôch na povrchu Cerery.“

Andrea Raponi z INAF (*Istituto Nazionale di Astrofisica*) v Ríme študovala kráter Juling s priemerom 20 km. Povrch krátera tvorí zmes hornín a ľadu. Takéto útvary sa označujú ako blokové ľadovce.

Raponi: „Zistili sme, že keď sa intenzita slnečného žiarenia zvyšuje, ľad v kráteri Juling pribúda. Kombinácia menšej vzdialenosťi od Slnka na obežnej dráhe a sezónneho efektu umožňuje vodnej pare unikať spod povrchu.“ Na zatienenom a oveľa chladnejšom severnom okraji krátera para opäť zamŕza. Ocitne sa v mrazovej pasci. Tam sa ľadový ostrov zväčšíl o 2 km². Vedci zaznamenali aj zosuvy pôdy, ktoré spôsobili oteplenie.

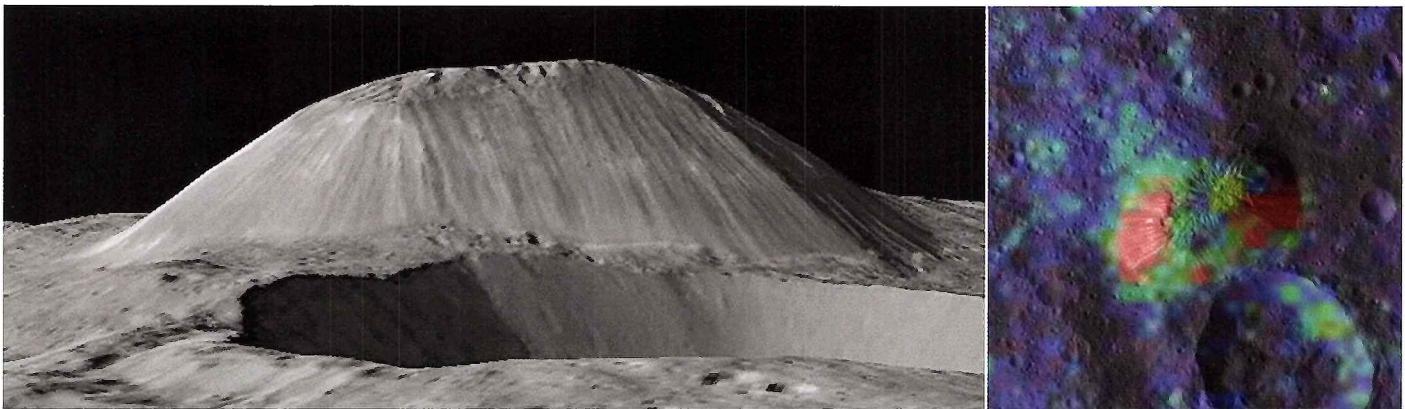
Nový cieľ pre astrobiológov

K zvláštnostiam Cerery patrí aj bohatstvo chemických prvkov a zlúčenín. Podľa Simona Marchiho z Juhozápadného výskumného inštitútu v americkom štáte Colorado pripomína chemickú fabriku: „Má v porovnaní so všetkými objektmi vnútornej Slnečnej sústavy priam jedinečnú mineralógiu.“

Marchiho tím sa pokúsil pomocou počítača zrekonštruovať nepokojnú minulosť Cerery,



Dawn bola prvou sondou, ktorá preskúmala dva odlišné objekty Slnečnej sústavy.



Ahuna Mons, vysoký bezmála 5000 metrov, je najvyšším vrchom trpasličej planéty Ceres. Sonda Dawn zaznamenala na jej svahoch veľké množstvo uhličitanu sodného (zelená a červená farba na vedľajšom obrázku). Planétku pomenovali po rímskej bohyne úrody.

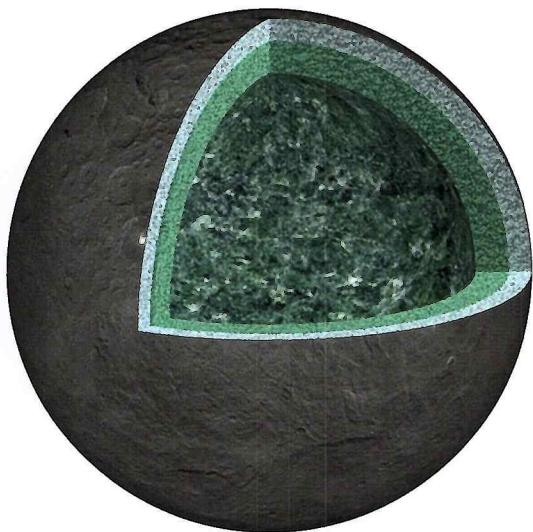
najmä so zretelom na chemicky rôznorodé planetoidy z jej susedstva. Vedci zistili, že najmenej 4,5 % svojej súčasnej hmotnosti trpasličia planéta získala v priebehu 4,5 miliardy dlhého vývoja práve z tohto zdroja. Marchi: „Až 20 percent povrchu Cerery – pokial’ ide o hmotnosť – tvorí uhlík; je to viac ako pätnásobok oproti meteoritom bohatým na uhlík. Horniny na povrchu Cerery obohacujú aj organické látky a produkty erózie, ktoré spôsobujú reakcie medzi vodou a horninami.“

Cerera však zatiaľ ani zdaleka nevydala všetky tajomstvá. Vedci pochybujú, či je tento objekt pôvodnou súčasťou pásu asteroidov. Je možné, že tam privandrala z iných oblastí našej sústavy. Svedčia o tom najmenešom zlúčeniny amoniaku, prítomnosť ktorých objavili v spektrách Cerery. Práve tieto látky vedcov najviac vzrušili. Čo spôsobilo chemické zvetrávanie, ktoré dokazuje vplyv vody v globálnom meradle? Alebo by dnešný povrch mohol byť dnom volakedajšieho oceánu?

Pred misiou Dawn bola Cerera iba najväčšou planétkou. Poznatky z tejto misie ovplyvnia podistým aj ciele a výbavu sond, ktoré sa oneľaho vydajú k Európe a k Enceladu. V oboch prípadoch ide o objekty obalené ľadovou kôrou, ktorá nepochybne skrýva globálne oceány. Nie je vylúčené, že aj v nich by sa mohol zrodiť život.

Význam malých objektov z roka na rok rastie. Konjunktúru zažijú aj planetológovia. Už onedlho poletia k Cerere čínska a americká sonda.

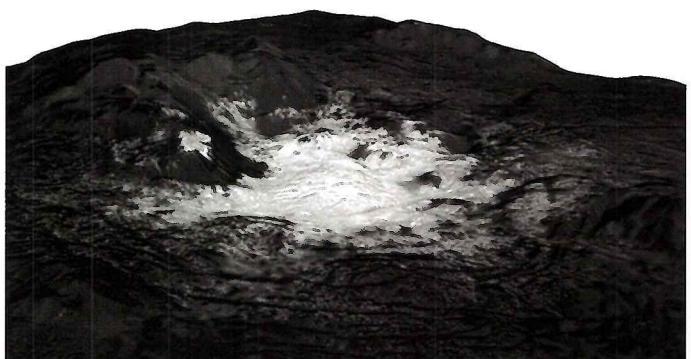
Bild der Wissenschaft, jún 2019, E. G.



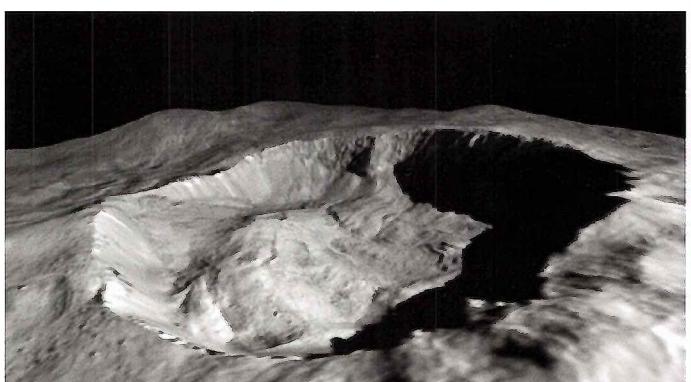
Ceres je poskladaná z viacerých vrstiev. Pod špinavou ľadovou kôrou, ktorá má hrúbku cca 40 km, sa nachádza plášť z vodného ľadu a pod ním jadro z hornín premiešaných s vodou. Diferenciáciu spôsobil dávny rozpad rádioaktívneho prvkú alumínium-26 (^{26}Al). Rozpad uvolnil teplo, vďaka ktorému sa už v mladej Slnčnej sústave vytvoril plášť z vodného ľadu. Najvrchnejších 10 km plášta sa však neroztopilo. Voda sa na celkovej hmotnosti trpasličej planéty podielala 25 percentami. Inými slovami: Na Cerere je päťkrát viac vody ako na Zemi!



Impaktný kráter Occator s priemerom 92 km je hlboký 4 kilometre.



Cerealia Facula je svetlá štruktúra s priemerom 15 km na dne krátera Occator. Túto najjasnejšiu škvruňu na Cerere netvori iba ľad, ale aj ložiská najrozličnejších solí (uhličitan sodný a chlorid dusičnatý). Tieto ložiská odrážajú toľko svetla ako špinavý sneh. Snímky a údaje, ktoré umožnili vytvoriť túto montáž, získala sonda z výšok 35 až 385 kilometrov.



Kráter Juling je hlboký 2500 m. Sonda Dawn objavila na svahoch tohto krátera ľad.

Čo priniesla izraelská sonda na Mesiac?

Polstoročie od prechádzky prvých ľudí po Mesiaci pozorujeme zvýšený záujem viacerých štátov a dokonca aj súkromných vesmírnych agentúr o skúmanie nášho najbližšieho nebeského spoločníka. Najprv sa podaril husársky kúsok Číne, ked 3. 1. 2019 pristála jej sonda Čchang-e 4 mäkkö na odvrátej strane Mesiaca. Bol to nový krok vo vesmíre, napoko na odvrátej strane Mesiaca zatiaľ žiadna sonda nepristála.

Mäkké pristátie na odvrátej strane Mesiaca sa komplikuje tým, že nie je možné udržať priame rádiové spojenie, ale signál sa musí prenášať sprostredkovane. Čína preto musela najskôr vyslať retranslačnú sondu na obežnú dráhu okolo libračného bodu L2 sústavy Zem – Mesiac.

Ďalší krok do vesmíru urobil Izrael. Dňa 22. 2. 2019 odštartovala z Kennedyho vesmírneho strediska raketa SpaceX Falcon 9, ktorá okrem niekoľkých ďalších kozmických aparátov niesla na palube aj izraelskú sondu Beresheet. Sonda mala mäkkö pristáť na Mesiaci v Mori jasu. Zaujímavosťou je, že sondu zostrojila súkromná izraelská agentúra SpaceIL, takže aj v tomto prípade išlo o novinku vo výskume kozmu, napoko zatiaľ ešte žiadna súkromná agentúra nevypustila sondu k Mesiacu s cieľom mäkkö pristáť na povrchu.

Beresheet sa vydala zložitou cestou

Najprv sonda zamierila na parkovaciu dráhu cca 200 km nad Zemou a potom postupne zvyšovala excentricitu svojej dráhy, až kým ju nezachytila gravitácia Mesiaca. Preto mohol

byť pristávací manéver zahájený až 11. 4. 2019. Ešte 15 km nad povrhom Mesiaca fungovalo všetko bezchybne. Zrazu však zrejme zlyhali brzdiace motory a sonda sa voľným pádom zrútila na povrch Mesiaca.

Izrael sa mal stať štvrtým štátom na svete, ktorého sonda pristála na Mesiaci. Prvá bola sovietska Luna 9, ktorá tam pristála v januári 1966. Tesne po nej, v máji 1966, tam pristál americký Surveyor 1. Tretou krajinou bola už spomínaná Čína so sondou Čchang-e 3, ktorá pristála v Dúhovej zátoke v decembri 2013. Štvrtá mala byť India, no štart jej (neskôr neúspešnej) misie sa postupne odkladal, takže na rad prišiel Izrael. Škoda havárie v posledných sekundách, napriek tomu však Izrael dopravil na Mesiac historicky najmenšiu sondu, cieľom ktorej bolo pristáť na jeho povrchu.

Najmenšia sonda na Mesiaci

Sonda vysoká 1,5 m mala priemer aj s rozloženými nohami 2,2 m a hmotnosť' necelých 600 kg, no tri štvrtiny z toho tvorilo palivo, určené na pristávací manéver. Pri pristávaní vážila len 180 kg, z toho 30 kg bola palivová rezerva. Niet sa čomu čudovať, že v riadiacom stredisku v Yehude (Tel Aviv, Izrael) s veľkým sklamaním sledovali haváriu sondy v priamom prenose. Situáciu komentoval aj izraelský premiér Benjamin Netanjahu, ktorý vyjadril vôleu pokračovať v tomto programe aj s prispením vládnych financií.

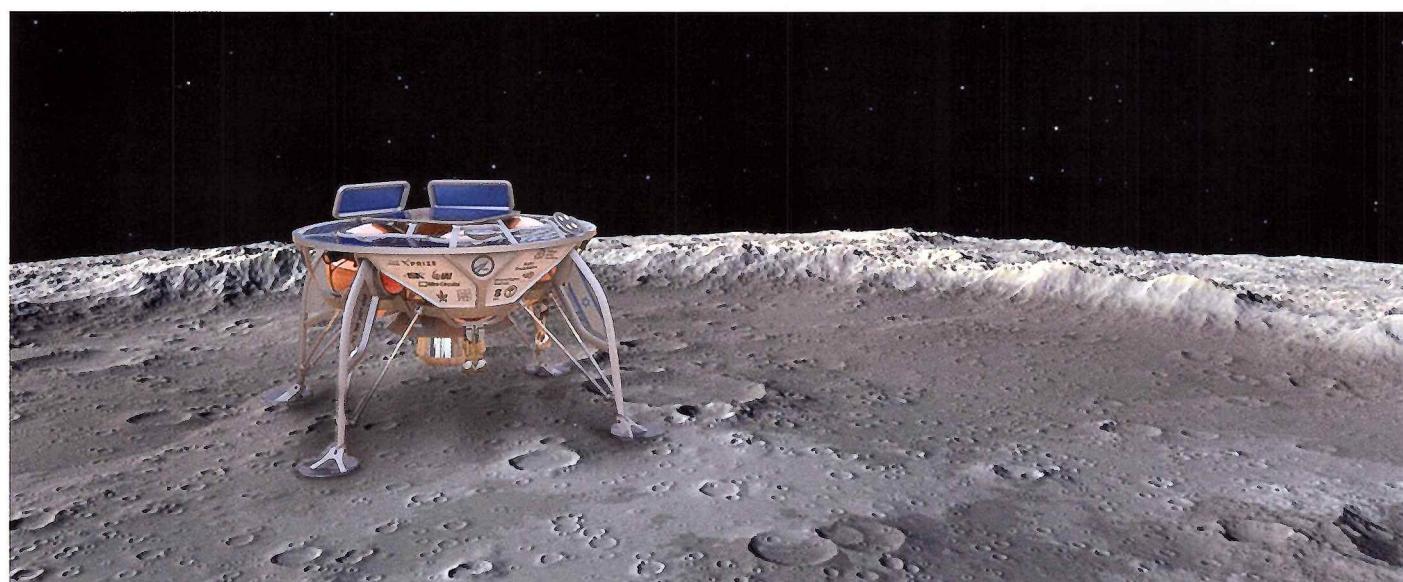
V tomto momente by sa mohol náš príbeh skončiť. Na opačnom konci sveta, v konferenčnej miestnosti v Los Angeles, však sledoval s veľkým napäťom pristávanie sondy Beresheet

ešte jeden človek. Bol ním Nova Spivack, zakladateľ neziskovej nadácie archivovania dát „Arch Mission Foundation“ (AMF).

Vesmírny megaarchív

Cieľom organizácie AMF je rozoslať do vesmíru na rôzne nebeské telesá veľké množstvo archivovaných informácií o súčasnom stave ľudstva tak, aby prečkali milióny, ba miliardy rokov. Vychádza sa z toho, že ľudstvo na Zemi môže skončiť svoj vývoj, prípadne môže byť úplne zničené zbraňami, pandémiami, umelou inteligenciou, dopodom asteroidu, vulkanizmom, kozmickým žiareniom, erupciou, výbuchom supernovy, prípadne inými prírodnými katastrofami globálneho charakteru. Archivované informácie v podobe takýchto knižníc, ako sa im hovorí, by mohli pomôcť našim potomkom vo vývoji, alebo pri odhalovaní histórie Zeme. Nova Spivack je dokonca presvedčený, že dátá by raz mohli poslúžiť aj mimozemskej civilizácii, aby sa dozvedela o našej dávnej existencii.

Celý problém tkvie v tom, že pre archivovanie informácií treba použiť také metódy a také nosiče, ktoré by dokázali pretrvať bez straty informácií až miliardy rokov. A práve prvá takáto knižnica, tzv. mesačná knižnica, bola na sonda Beresheet, ktorú Spivack tak úzkostlivio sledoval. Napriek havárii sondy by aspoň časť knižnice mohla prežiť. AMF používa na ukladanie dát špičkové technológie. Mesačná knižnica sa skladá z 25 niklových diskov hrubých iba 0,04 mm, zaliatych v syntetickej živici. Prvé 4 disky obsahujú analógové informácie o tom, ako treba prečítať zostá-



Vízia sondy Beresheet po mäkkom pristáti na Mesiaci, ktoré sa neuskutočnilo.

vajúcich 19 diskov, na ktorých sú dátá uložené v digitálnej forme. Okrem encyklopédických dát knižnica obsahuje aj tajné informácie o veciach, ktoré chce AMF odhalovať počas budúci 50 rokov (napríklad rozlúštené tajomstvá trikov celosvetovo známeho iluzionistu a kúzelníka Davida Copperfielda).

Vypustenie tejto knižnice do kozmu nebolo prvým pokusom Spivacka o takúto aktivitu. V roku 2018 si vyprosil u Elona Muska, aby mu zobrajal do kozmu 5D disk s digitálnymi kópiami kníh Isaaca Asimova z jeho slávnej série „Nadácia“. S humorom jemu vlastným Musk uložil disk do priečinky spolujsazdca pod prístrojovú dosku auta Tesla Roadster, ktoré teraz obieha okolo Slnka.

Ladislav Hric, SÚH Hurbanovo

Zdroje: Optoelectronics Research Centre,
University of Southampton, BBC



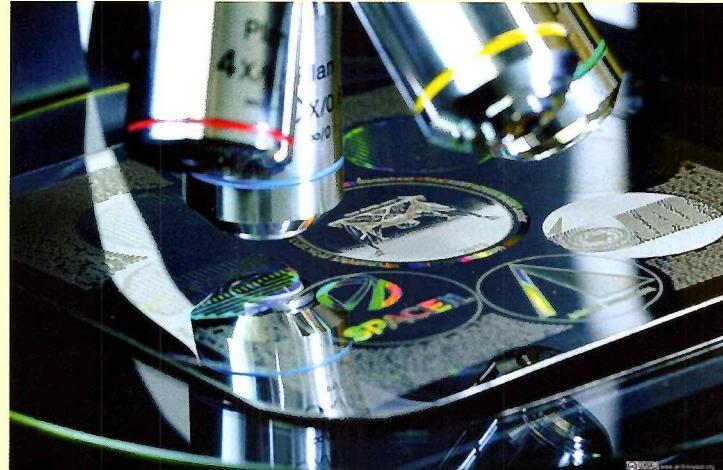
Sonda Beresheet počas letu k Mesiacu si urobila „selfie“.

Trvalé uloženie dát

5D technológiu poznáme už viacero rokov, no v praxi sa začína realizovať aj vďaka super rýchlym femtosekundovým laserom s krátkymi impulzmi, trvajúcimi len 10^{-15} sekundy. Energia laseru, sústredená do menšieho objemu, je výkonnejšia. Laser vytvára nanoštruktúry v silikátovom skle a takto zapisuje obrovské množstvo dát. Na disk s priemerom 2,5 cm je možné uložiť 360 TB dát, pričom disk odoláva teplote až 1000 °C. Pri teplote 190 °C je životnosť disku podľa viedcov 13,8 milióna rokov. Pri izbovej teplote sa uvádzajú neuvieriteľné čísla – až 10^{20} rokov. Túto novú technológiu rovinuli vedci na univerzite v Southamptone pod vedením profesora Petra Kazanského z Centra optoelektronického výskumu.

Na Mesiaci je život

Je to ako z toho vtipu o bačovi. Keď sa ho turisti pýtali, kde sa naučil tak rýchlo rúbať stromy, odpovedal: „Na Sahare!“ Keď sa turisti čudovali, že tam predsa stromy nie sú, odpovedal: „No teraz už nie...“ Takže aj keď všetci dobre vieme, že na Mesiaci život nie je, izraelskí vedci môžu povedať: „Ale teraz tam už je!“ Pôvodný projekt vypustenia sondy Beresheet neuvažoval, že by na palube bola DNA alebo neobrádaj živé organizmy. V poslednej chvíli niekoho napadlo, že by to mohol byť dobrý mediálny fakt, preto v zatavenom disku vyslali na Mesiac tisíce miniatúrnych živočíchov, tzv. pomaliek, ktoré by tam mali prečkať aj miliardu rokov. Pomalky (*Milnesium tardigradum*) sú cca 0,5 mm veľké mnohobunečné bezstavovce, ktoré majú svaly, no pohybujú sa veľmi pomaly. O to odolnejšie však sú, a dokážu prežiť prakticky vo všetkých extrémnych podmienkach. Na Zemi vegetujú už vyše pol miliardy rokov. Len pre zaujímavosť: dokážu prežiť teplotu až 150 °C, ale aj takmer absolútny mráz -272,8 °C. Taktiež bez problémov prežili haváriu jadrovej elektrárne, lebo ani dávka 570 000 röntgenov ich nezabije, pričom pre človeka je smrteľná už 1140-násobne nižšia dávka 500 röntgenov. Keďže sa vedia ponoriť do zvláštneho stavu zvaného kryptobióza alebo anhydrobióza, vedia prežiť vo vákuu, bez vody aj bez kyslíka. Okrem toho vedia vyrobí briosko, v prípade ohrozenia sa ním pokryjú, čím zastavia svoj metabolismus; vtedy vraj ani nestarnú. Ak sa dostanú do vhodného prostredia, znova ožijú. Napriek tomu, že sonda Beresheet havarovala, pomalky sa na Mesiac dostali a nepochybne tam prežijú možno ešte dlhšie, ako si myslíme. Okamžite po zverejnení týchto informácií sa objavili názory, že súkromná agentúra si dovolila zamoríť Mesiac pozemským životom, že to môže mať nedozierne následky a tak podobne. Ide naozaj o zložitý problém z iného, ako prírodovedeckého hľadiska. Lenže predsa aj americkí astronauti, ktorí kedysi „kempovali“ na Mesiaci, tam po sebe zanechali takmer sto vreciek naplnených odpadom z ich palubného WC. Tak v čom je vlastne problém?



Niekoľko vrchných vrstiev Mesačnej knižnice možno prečítať s pomocou mikroskopu, pod nimi sú však ešte ďalšie údaje uložené v 21 vrstvách.



Pomalka, veľmajster prežívania v extrémnych podmienkach.

Môže byť v morí na Saturnovom mesiaci Enceladus život?

Sonda Cassini objavila na Saturnovom mesiaci Enceladus organické molekuly. Vo vode pod zamrznutým globálnym oceánom. Ide o produkty chemických reakcií, alebo by to mohli byť zvyšky organizmov, ktoré žijú v hlbinách pod zamrznutým povrchom?

Trinásť rokov skúmala neúnavná sonda Cassini záhadu plynového obra Saturna a jeho mesiacov. Záplavu údajov budú planetológovia vyhodnocovať ešte dlho. Už teraz však vieme, že geologicky aktívny mesiac Enceladus vedcov prekvapil. Dokonca niekoľkokrát. Zvláštne sú napríklad gejzíry vodnej parý a kryštálikov ľadu, tryskajúce z povrchu v oblasti okolo južného pólu mesiaca. Vedci sa iba dohadujú, aký mechanizmus ich môže pocháňať. Slnko prakticky nemá šancu, pretože

Enceladus prijíma v porovnaní so Zemou iba 1 % slnečnej energie. Teploty na povrchu úplne zaľadneného mesiaca padajú aj pod -200 °C.

Premenlivé jadro udržiava teplo

Pod ľadovou kôrou Encelada sa skrýva globálny oceán. Svedčia o tom údaje vyplývajúce z mapovania gravitačného poľa mesiaca. Voda v tomto globálnom oceáne, chránenom hrubou vrstvou ľadu, nezamíra. Odkiaľ sa však berie energia, ktorá udržiava vodu v kva-palnom skupenstve? Sú to slapové sily? Enceladus obieha okolo Saturna po eliptickej dráhe, takže gravitácia obrej planéty ovplyvňuje mesiac nerovnomerne, pričom uvoľňuje teplo.



Z oblastí okolo južného pólu Encelada tryskajú až do výšky 500 km ľadové fontány. Astrobiológovia v nich objavili organické molekuly a ich fragmenty pochádzajúce z oceánu pod ľadovou kôrou.

Ibaže: produkcia tepla v ľadovej kôre je nedostatočná na to, aby voda pod ňou nezamírala. Bez dodatočného zdroja tepla by globálny oceán v priebehu niekoľkých miliónov rokov zamrzol až do dna. Pochopiť pôsobenie slapo-vých sôl v sústave Saturna teda vôbec nie je jednoduché. Na početné mesiace obrej planéty totiž nepôsobí iba gravitácia obrej planéty, ale aj gravitačné interakcie medzi nimi navzájom.

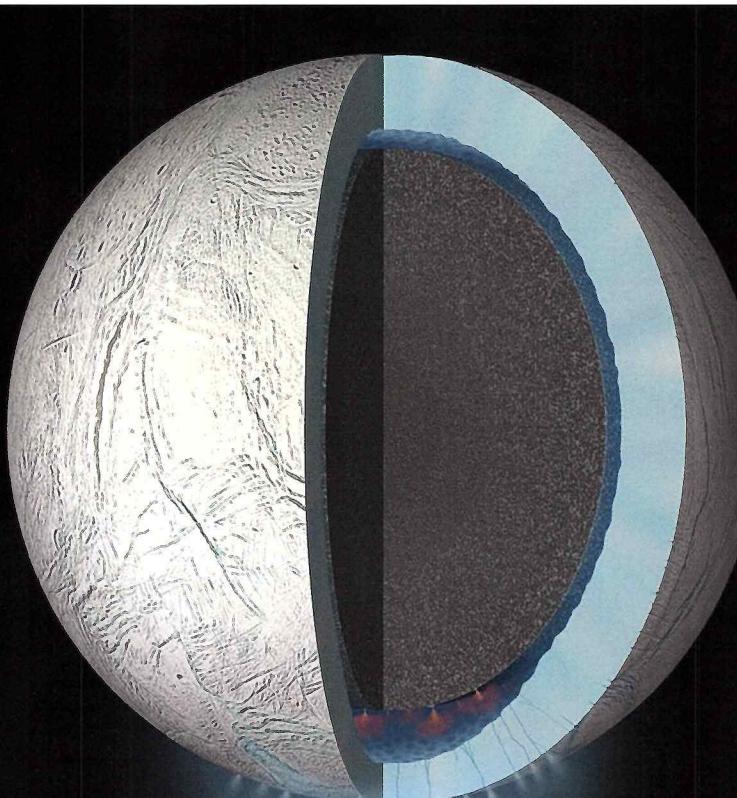
Tím Gaeila Chobleta z Nantes University objavil dodatočné zdroje tepla na Encelade v jadre telesa. Z výpočtov tímu vyplynulo, že jeho jadro je plastické, premenlivé.

Choblet: „Jadro nie je tvorené konsolidovanými horninami. Ide skôr o zmes štrku a piesku, popretkávanú vznikajúcimi i zanikajúcimi dierami.“

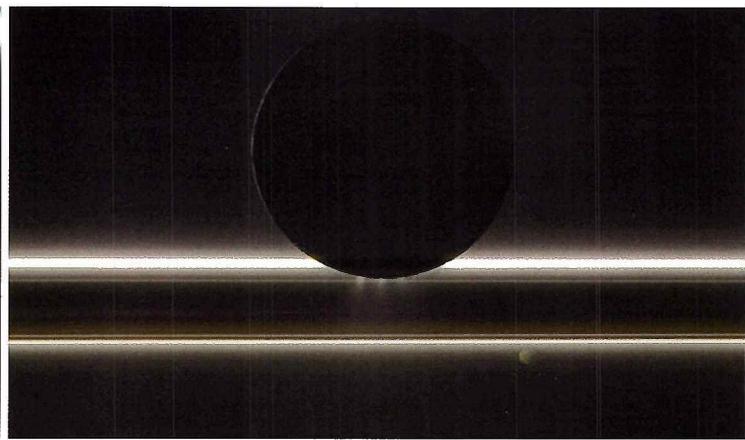
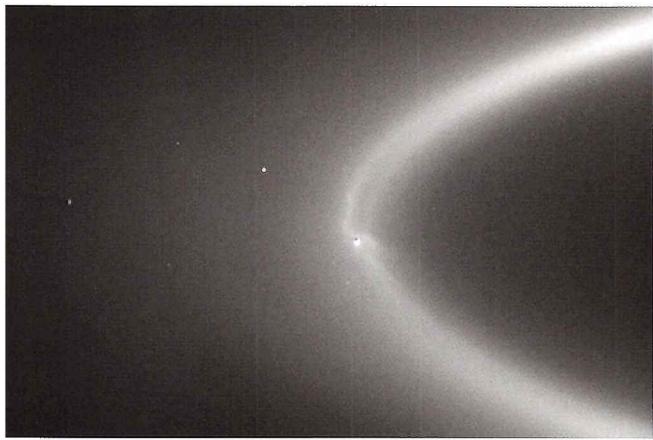
S priemerom 504 km je Enceladus pomerne malý. Preto tlak pôsobiaci na jeho jadro je výrazne nižší ako pri väčších telesach a teplota v jeho vnútri je nižšia. Aj preto si jadro mohlo udržať vysokú porozitosť z čias, keď sa Enceladus iba formoval. Malo to svoje dôsledky: slapové sily Saturna produkujú v sypkom jadre Encelada silnejšie trenie, zdroj dodatočného tepla. Vedci výkon tohto prírodného generátora odhadujú na 10 až 30 gigawattov, čo zodpovedá výkonu 8 veľkých atómových elektrární.

Samotné vnútro Encelada napokon pripomína jadrový reaktor: voda z oceánu nad ním presakuje poréznym jadrom, pričom sa zohreje až na 200 °C. Podľa modelu, ktorý vyvinul Chobletov tím, sa ohriata voda hromadí najmä pod polárnymi oblasťami, a keď sa ochladí na 100 °C, preniká do vyšších vrstiev globálneho oceánu. To je v súlade s údajmi zo sondy Cassini, podľa ktorých je ľadová kôra nad pólmi oveľa tenšia ako nad rovníkom.

Najtenšia je ľadová kôra nad južným pólom, kde dosahuje hrúbku iba 900 až 1000 m. Pre-



Pod ľadovou kôrou Encelada sa na južnej pologuli nachádza chladné more, ktoré od spodu vyhrieva jadro mesiaca. Trhlinami v ľadovej kôre uniká vodná para i nepatrné kryštáliky ľadu.



Kryštáliky ľadu z kryovulkánov na Encelade (svetlá škvarka) vytvárajú difúzny prstenec. Tento druhý najväčší prstenec Saturnu hrubý 2 000 km sa sformoval vo vzdialosti milión kilometrov od obrej planéty. Tvoria ho nepatrné zrnká vodného ľadu s prímesami kremičitanov, oxidu uhličitého a amoniaku. Zrnká s priemerom zhruba 3,001 mm sú menšie ako červené krvinky.

Žo sa však gejzíry prehrázli na povrch iba nad užným póлом? Vedci sa nazdávajú, že ľadová kôra nad južným pólem bola už dávnejšie tenšia a formovateľnejšia než nad pólem severným. To mohlo uľahčiť naštartovanie procesu, ktorý postupne zosilnel.

Francis Nimmo z University of California sa názdáva, že v dávnejších dobách sa gejzíry obavovali aj v iných oblastiach Encelada. Údaje, ktoré o tom svedčia, jeho tím onedlho zverejní.

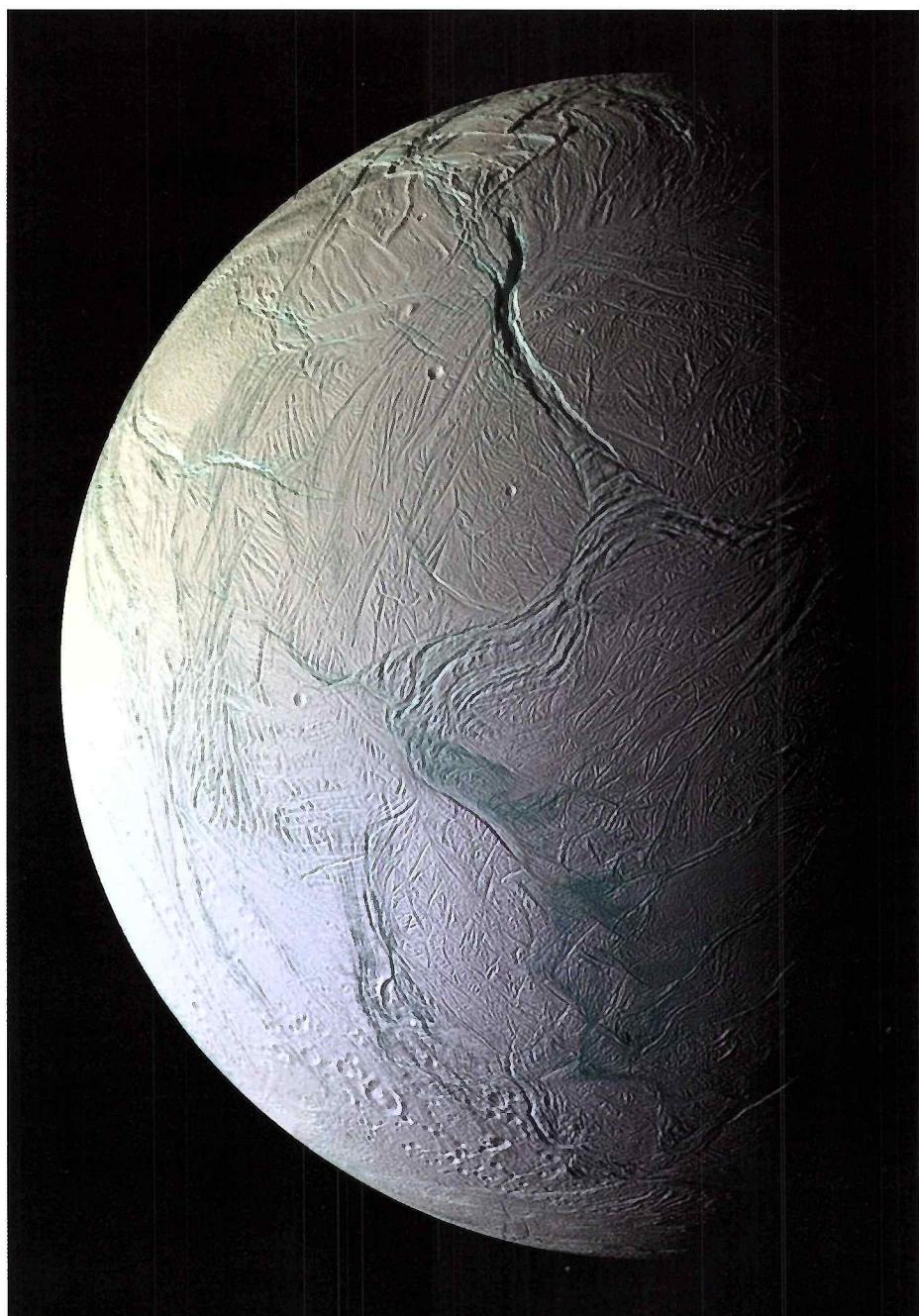
Senzácia: makromolekuly pod ľadom

Ohnivý zánik sondy Cassini v atmosféri Saturna naplánovali vedci aj preto, aby sonda nemohla kontaminovať sústavu obrej planéty pozemskými mikroorganizmami. Preto riadenú kolíziu s Enceladom či Titanom vylúčili. Opatrnosť bola na mieste: vlni zverejnili vedci nové analýzy údajov z prístroja Cosmic Dust Analyzer (CDA) na palube sondy. Z údajov vyplynulo, že vo vode v oceáne na Encelade sa deje čosi veľmi zvláštne.

„Objavili sme tam organické makromolekuly,“ hovorí Frank Postberg z tímu Cassini. „Dosahujú relatívnu atómovú hmotnosť až 200. Iba pre porovnanie: prstencová molekula benzolu má relatívnu hmotnosť 78. Existujú náznaky, že sa vyskytujú aj molekuly s relatívnu atómovou hmotnosťou až 1000. Ne pochybujeme o tom, pretože väčšina molekúl, ktoré sme zmerali, sú iba fragmentmi podstatne zložitejších makromolekúl.“

Niet sa čomu čudovať, že prestížny vedecký časopis *Nature* zverejnili tento článok ako senzáciu.

Iediným nemeckým prístrojom na palube Cassini bol práve CDA. Vyvinuli ho v Inštitúte Maxa Plancka pre jadrovú fyziku v Heidelbergu. Tento prístroj skúmal jadierka prachu veľké 1 µm (0,001 milimetra). Tieto čiastočky zachytila sonda nad južným pólem Encelada ako aj v Saturnovom prstenci E. Tento zo Zeme sotva rozlišiteľný prstenec je tvorený nepatrými kryštálikmi ľadu, ktoré chrlia gejzíry na južnom pôle. V oboch prípadoch ide o zamrznuté kvapôčky vody z oceánu pod ľadovou kôrou.



Saturnov mesiac Enceladus, ktorý objavil v roku 1789 William Herschel, má priemer 504 km. Obrázok poskladali z niekoľkých desiatok snímkov zo sondy Cassini 9. októbra 2008 počas jedného zo obeletov vo výške 25 km!

Údaje z CDA pomohli vedcom odhaliť, aké podmienky vládnu na Encelade. Napríklad to, že oceán je slaný a na jeho dne existujú horúce vývery.

Slovo má astrobiológia

Údaje z CDA zaujali astrobiológov, ktorí na ich základe navrhli niekoľko laboratórnych testov. S cieľom vysvetliť, či by mohli pozemské mikroorganizmy prežiť aj v extrémnych podmienkach Encelada. Tím Simona Rittmanna z Viedenskej univerzity nedávno

zverejnili viac o tom, aké podmienky v prostredí globálneho oceánu na Saturnovom mesiaci vlastne panujú a či by tam dokázali prežiť organizmy zo skupiny Archea. Tieto metanogénne prokaryoty, teda jednoduché „predbunky“ bez jadra, pokladáme za jednu z najstarších foriem života na Zemi. Produkujú metán a ako zdroj energie na jeho výrobu používajú vodík a oxid uhličitý. Tieto plyny sonda vo fontánach Encelada zaznamenala opakovane.

Podľa Rittmanna sú tieto organizmy doslova

veľmajstrami prežívania: „Zistili sme, že by sa dokázali rozmnogožovať aj v podmienkach, ktoré panujú na Encelade. Časť metánu vo fontánach môže mať biologický pôvod.“

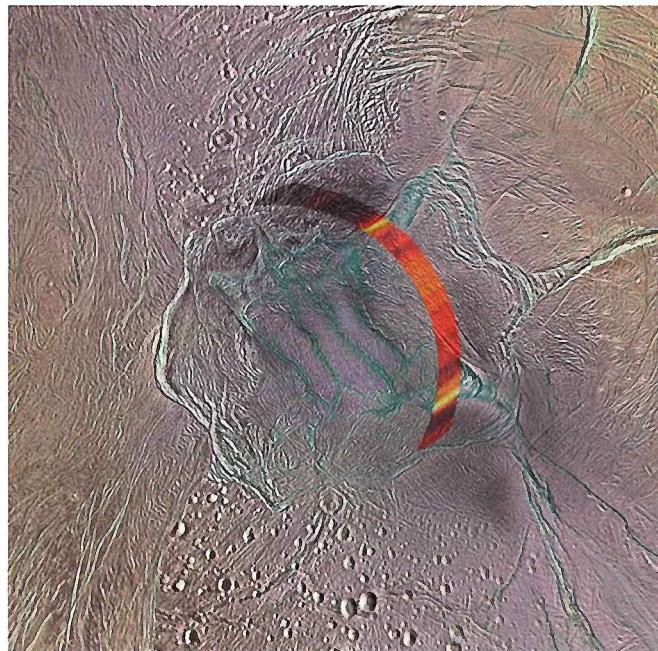
Vedci svoju hypotézu otestovali pomocou iného mikroorganizmu. Druh *Methanothermococcus okinawaensis*, presnejšie jedna z jeho odrôd, sa prejavil ako mimoriadne prispôsobivý. V hlbokých prepädlinách okolo Japonska sa adaptoval na vysoký tlak aj na vysokú teplotu. Tie-to baktérie žijú v hydro-

termálnych hniezdach v hĺbke 1000 metrov. Tlak a teplota v oceáne Encelada sú vďaka modelovým výpočtom už dávnejšie známe. Počas experimentov otestovali vedci produktivitu týchto robustných jednobunkových organizmov v týchto podmienkach. Ukázalo sa že japonské mikróby sa čulo rozmnogožovať a pod tlakom 50 barov. S rastúcim tlakom však ich aktivita slabla.

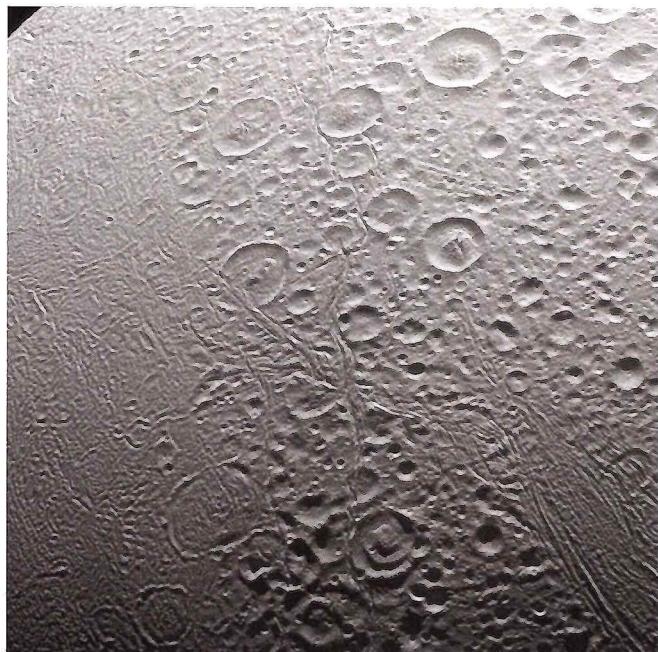
Vedci v laboratóriu otestovali aj iné baktérie druhu Archea. Frank Postberg však nie je pre svedčený, či sú tieto experimenty vo všetkých detailoch skutočnou simuláciou podmienok vládnúcich na Encelade: „Kolegovia uskutočnili svoje pokusy v kyslom prostredí. Z našich analýz i údajov ďalších prístrojov na sonda Cassini však vyplýva, že na Encelade panuje alkalické prostredie s hodnotami 9 až 10, pH. Podobné, ako okolo hydrotermálnych polí na dne Atlantického oceánu, ktoré sú unikátnymi biotopmi.“

Postberg, najväčší znalec Encelada, považuje doteraz objavené organické makromolekuly iba za vrchol ľadovca: „Údaje z Cassini našli hypotézu významne podporujú. Približne desať rokov preto vyšleme k Saturnu ďalší sondu, pretože nikde inde v Slniečnej sústavе nie je skúmanie potenciálneho mimozemského sídliska jednoduchšie ako práve okolo Encelada.“

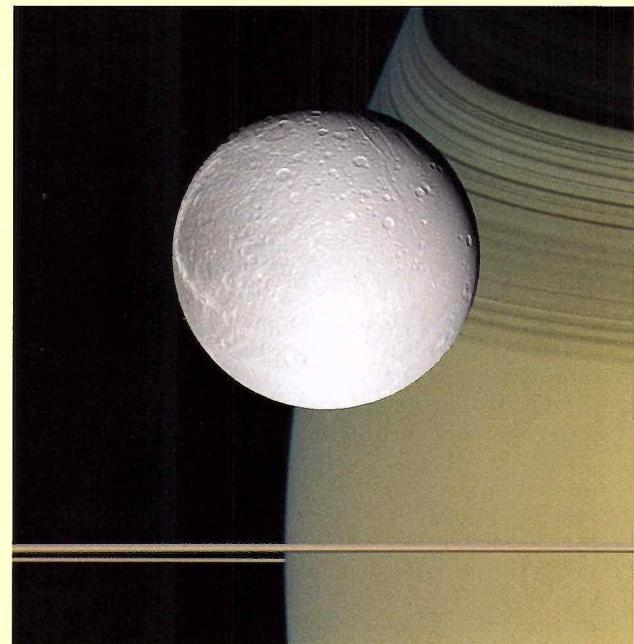
Bild der Wissenschaft 1/2019, E. G



Modrasto sfarbené „tigrie pásy“ na južnom póle Encelada sa tiahajú okolo trhlín v ľadovej kôre okolo kryovulkánov. Červený pás široký 25 km ukazuje jedno z meraní, v tomto prípade v mikrovlnnej oblasti 2,2 cm. Ukazuje teplejšie trhliny (žltá farba) v porovnaní s ich okolím. Ide o jeden z nepriamych dôkazov existencie oceánu ukrývajúceho sa niekoľko kilometrov pod ľadovou kôrou.



Severný pól Encelada je iný ako jeho južný protipól. Množstvo kráterov svedčí o tom, že povrch severnej pologule je veľmi starý. Sonda Cassini exponovala snímku 27. novembra 2016 z výšky 32 000 km.



Blízke vzťahy s Dionou

Enceladus obehne okolo Saturna, medzi mesiacmi Mimas a Tethys, za necelých 33 hodín. Obreh planéty nastavuje stále tú istú tvár – rovnako ako to robí náš Mesiac v prípade Zeme (hovoríme o viazanej rotácii). S vonkajším mesiacom Saturna, s Dionou, má Enceladus orbitálnu rezonanciu 2:1. Kým Dionne doviší jeden obeh okolo Saturna, Enceladus to stihne dvakrát. Táto rezonancia stabilizuje mierne eliptický tvar obežnej dráhy Encelada, ktorá by sa bez rezonancie už dávno premenila na kruhovú. Eliptická dráha tohto mesiaca výrazne prispieva k tomu, že sa jeho vnútropôsobením slapových javov zahrieva.

špirálovej galaxii M106, nedaleko centrálej čiernej diery, hniezdi vodný megamaser osilňovač mikrovlnných emisií molekúly). Maser ponúka nezávislý spôsob meraja vzdialenosť medzi Zemou a M106, vďaka čomu môžeme získať presnejšie hodnoty Hubblovej konštanty.

Ako rýchlo sa rozpína vesmír?

kozmológiu čosi neštimume. Dva medzinárodné tímy pomocou dvoch odlišných, ale varených metód určili dve rozdielne hodnoty Hubblovej konštanty (H_0). Napriek tomu, niekolokrát preverili presnosť svojich eraní a vylúčili vplyv rozličných možných prúch. Pritom: hodnota H_0 prezrádza aktuálnu rýchlosť rozpínania vesmíru. Od hodnoty H_0 závisí vek vesmíru i jeho budúcnosť. Izletí sa rozpínajúci sa vesmír do stratena? ebo skončí tak, ako začal - v singularite?

„dla kozmológov osud vesmíru riadi tajomná ľavá energia. Môže sa jej pôsobenie meniť? Šobelista Adam Riess tvrdí: „Nemôžeme to ľúčiť.“ Ocitli sme sa na prahu novej fyziky?

Teror o konštantu

ory okolo Hubblovej konštanty neprešapujú. Na to, aby astronómovia určili H_0 iamo, musia pozorovať množstvo galaxií získať o každej dve klúčové informácie: určiť jej vzdialenosť a zmerať rýchlosť, ktorou sa nás vzdáluje. Druhý údaj odvodzujú priačo z červeného posunu galaxie. Odhadnúť vzdialenosť je zložitejšie.

V rokoch 1960 až 1980 tím Allana Sandagea z Carnegie Observatories pravidelne meral hodnoty H_0 v rozmedzí 50 až 55 km za sekundu na megaparsek (1 parsek = 3,26 svetelných rokov). Iný tím pod vedením Gérarda de Vaucouleurs z University of Texas zverejňoval hodnoty okolo $H_0 = 100 \text{ km s}^{-1} \text{Mpc}^{-1}$! Tento rozdiel bol taký fatálny, že spory vedúcich oboch tímov prerástli do vzájomného osočovania.

Pritom oba tímy pri určovaní vzdialenosť použili tradičnú metódu merania kozmických vzdialenosťí. Oba tímy monitorovali vo vzdialených galaxiach premenné hviezdy – cefeedy. Jasnosť týchto obrích hviezd kolísala v rytme ich pulzácií. Períoda pulzácie cefeedy je priamo úmerná jej svietivosti. Pre túto vlastnosť cefeedy astronómovia využívajú ako „standardné sviece“ – objekty so známou svietivosťou (absolútnej hviezdnej veľkosťou). Z pozorovanej (zdanlivej) a absolútnej hviezdnej veľkosti cefeedy je možné určiť jej vzdialenosť.

Ked' sa vedcom podarilo zmerať vzdialenosť cefeedí na našej Galaxii, s úspechom začali túto metódu využívať aj pri výpočte vzdialenosťí iných galaxií.

Spory kvôli Hubblovej konštante však vzpla-

nuli aj pred osemnástimi rokmi. V roku 2001 zverejnili vedci pracujúci na Klúčovom projekte HST (Hubble Space Telescope's Key Project) hodnotu $H_0 = 72 \text{ km s}^{-1} \text{Mpc}^{-1}$ s nepresnosťou plus minus $8 \text{ km s}^{-1} \text{Mpc}^{-1}$. Tím Wendy Freemanovej monitoroval cefeedy v galaxiách vzdialených zhruba 80 miliónov svetelných rokov. Získané údaje využil potom na kalibracie iných indikátorov vzdialenosťí v galaxiach až po hranicu 1,3 miliardy svetelných rokov. V tejto vzdialenosťí ovplyvňuje rozpínanie vesmíru rýchlosť vzdialenosťí galaxií omnoho výraznejšie ako vlastné pohyby galaxií v kopách, do ktorých patria.

Neskôr viaceré tímy s použitím tradičnej metódy namerali hodnoty H_0 cca $73 \text{ km s}^{-1} \text{Mpc}^{-1}$. V dobrej zhode s Klúčovým projektom HST, ale s vyššou presnosťou. Čo sa však nestalo: tímy, ktoré skúmali reliktové žiarenie (mikrovlnné žiarenie kozmického pozadia, CMB), pozostatok po big bangu, prispeli „do súťaže“ hodnotami H_0 okolo $67 \text{ km s}^{-1} \text{Mpc}^{-1}$!!

Pritom všetky tieto merania boli natoľko presné, že zistený rozdiel hodnôt Hubblovej konštanty sa nedal vysvetliť nepresnosťou meraní.



Interagujúce špirálové galaxie NGC 4038, NGC 4039 Tykadlá (Antennae) v súhvezdí Havrana, vzdialenosť 65 miliónov svetelných rokov. Zakrivené prúdy hviezd, vzniknuté zrážkou galaxií pred 900 miliónmi rokov, pripomínajú tykadlá hmyzu. V Tykadlách vzplanula supernova typu Ia (SN2007sr) a nachádza sa v nej aj veľa ceféid. Skúmanie podobných objektov pomáha vedcom pochopiť vzťahy medzi dvomi typmi štandardných svieci.



Špirálová galaxia M101 v súhvezdí Veľkej medvedice sa nachádza pomerne blízko: vo vzdialnosti 21 miliónov svetelných rokov. Vďaka tomu môžu vedci dôkladne skúmať supernovu typu Ia (SN2011fe), ktorá vybuchla v roku 2011 v jednom z jej špirálových ramien. Vedci v tejto galaxii zmerali aj períody a jasnosť 272 ceféid.

Hodnota Hubblovej konštanty je $73 \text{ km s}^{-1} \text{ Mpc}^{-1}$

Viacerí kozmológovia sa nazdávajú, že treni okolo H_0 utichnu vtedy, keď sa zmerajú sý tematické chyby. Ostatné, mimoriadne presné a niekoľkonásobne preverené merania všetko nádeje vyvracajú.

Riess: „Možnosť, že sa podarí takto objasniť chybu, odhadujem na menej ako 0,01 percenta.“

Ibaže: do hry vstúpil tím okolo projektu SH0ES (Supernova H_0 for the Equation of State), veľké medzinárodné konzorcium podriadené Riessovým vedením. V roku 2018 tím zverejnil, že hodnota $H_0 = 73,5 \text{ km s}^{-1} \text{ Mpc}^{-1}$ s relativnou neurčitosťou 2,2 percenta.

SH0ES pracovali rovnakou metódou ako kozmológovia z Klúčového projektu HST, ale používali výkonnejšie prístroje. Sústredili sa najmä na supernovy typu Ia, čiže biele trpaslíky v interagujúcich dvojhviezdných sústavách, ktoré po dosiahnutí Chandrasekharovej hmotnosti kolabujú a vybuchujú, pričom ich absolútnej hviezdnej veľkosti je vždy rovnaká. Vedci starostlivo kalibrovali ich svietivosť s cielom určiť, ako rýchlo sa zjasňujú a pohybujú. Ukázalo sa, že tieto supernovy sú priamo ideálnymi štandardnými sviečkami. Ďalšou výhodou týchto supernov je ich neuveriteľná svietivosť, takže ich možno detegovať aj v oveľa väčších vzdialostiach ako ceféidy.

Riessov tím sa zameriava najmä na blízke galaxie, v ktorých sa dajú monitorovať ceféidy, no v ktorých v ostatných rokoch vzplanuli supernovy typu Ia. Tím predbežne analyzoval 19 takýchto galaxií. Analýza ďalších 19 galaxií zabezpečí vyššiu spolahlivosť kalibrácie. Na overenie údajov z ceféid aj supernov využíva Riessov tím aj ďalšie indikátory vzdialenosťí. Napríklad zákytové dvojhviezdy v Veľkom Magellanovom oblaku a vodné magenty v špirálovej galaxii M106.

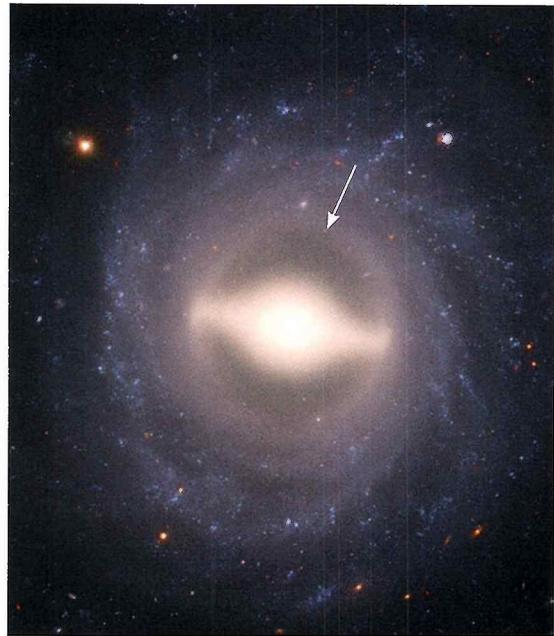
Vďaka údajom satelitu Gaia/ESA a vylepšeným kamerám HST tím spresnil aj vzdialosť ceféid v našej Galaxii. Hodnota H_0 v porovnaní s údajmi Klúčového projektu HST nelisia, miera neurčitosti je však približne nižšia.

Ďalší tím, ktorý pracuje na Carnegie Supernova Project (CSP), získal podobné výsledky. V tomto roku zverejnil hodnoty $H_0 = 72,7 \text{ km s}^{-1} \text{ Mpc}^{-1}$, získané vďaka meraniam v rôznych spektrálnych oblastiach, s neurčitosťami len 2,3 a $2,1 \text{ km s}^{-1} \text{ Mpc}^{-1}$.

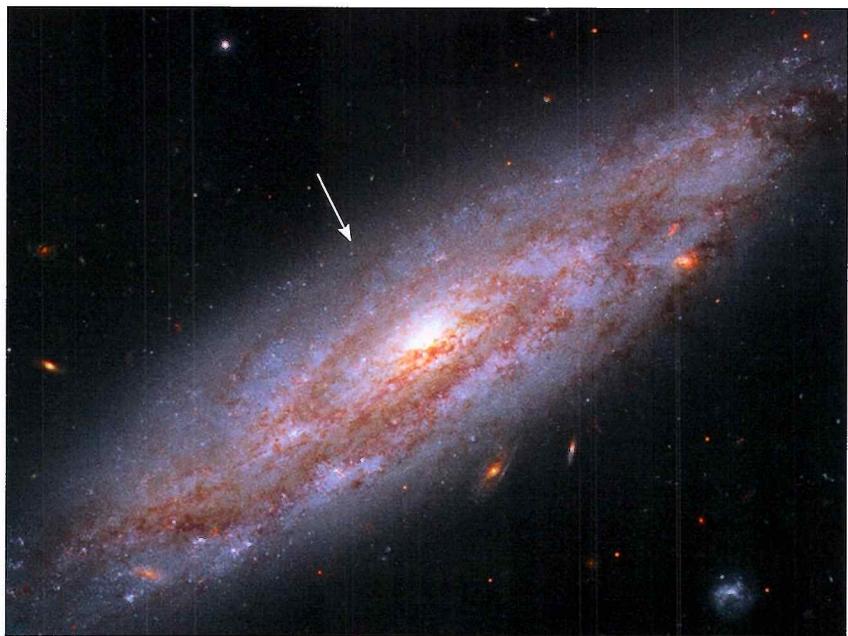
Christopher Burns, vedúci tímu CSP zdôraznil, že monitorovali rovnaké ceféidy, dvojhviezdy a masery ako tím SH0ES. Použili však odlišnú metódu analýzy údajov zo supernov a upravovali variácie jasnosti i efekty červeného posunu. Napriek tomu dospeli k porovnatelným výsledkom.

Ch. Burns: „Korektúry sme urobili inak, v chádzajúcich odlišných predpokladov a rečiach súborov údajov. Dospeli sme k rovnakej odpovedi. Kvôli istote by sme však mohli využiť aj inú metódu.“

V snahe podporiť výsledky tímov SH0ES a CSP objavila sa v aréne skupina H0LiCC (H0Lenses in COSmograil Wellspring). Skupina vzápätí zverejnila novú hodnotu H_0 , ktorú pomocou úplne inej metódy.



Supernova Ia (SN2009ig) vybuchla aj v špirálovej galaxii s priečkou NGC 1015 v súhvezdí Veľryby, vzdialenej 118 miliónov svetelných rokov. Jej polohu označuje šípka. V galaxii NGC 1015 objavili viac ako 40 ceféid.



Aj v špirálovej galaxii NGC 3972 v súhvezdí Velkej medvedice vzdialenej 65 miliónov svetelných rokov nedávno explodovala supernova (SN2011by). (Pozri šípku.) Objavili v nej aj niekoľko desiatok ceféid a stala sa významným objektom, na ktorého prepája dve priečky na kozmickom rebríku vzdialenosť.

Tím projektu H0LiCOW skúmal žiarenie vzdialených kvazarov, ktoré môžeme skúmať iba vďaka prírodným gravitačným šošovkám v popredí. Nakol'ko sa svetlo vzdialených kvazarov šíri mnohými cestami, lúč žiarenia z rovnakého kvazaru nedopadajú na Zem v rovnakom čase. Vďaka tomu dokázali vedci odvodit H_0 analýzou časových oneskorení. Výsledkom je hodnota $H_0 = 72,5 \text{ km s}^{-1} \text{ Mpc}^{-1}$ s 3-percentnou neurčitosťou.

Sherry Suyu, vedúca tímu H0LiCOW: „Naše údaje sú v senzačnej zhode s údajmi tímov SH0ES a CSP. Inými slovami: všetky tímy, ktoré merali H_0 v lokálnom vesmíre, dospej prakticky k rovnakému výsledku: $H_0 = 73 \text{ km s}^{-1} \text{ Mpc}^{-1}$.“

Kdežo! H_0 rovná sa $67 \text{ km s}^{-1} \text{ Mpc}^{-1}$!

Keby sa nám nedávno nepodarilo zmapovať mikrovlnné žiarenie kozmického pozadia, Hubblovu konštantu by sme mohli považovať za uzavretý problém. **Údaje z CMB sú však mimoriadne závažné** bez ohľadu na fakt, že nejde o priame meranie H_0 . Práve naopak: sú to vlastne predpovede toho, čím by tátu konštantu mala byť, ak by sme, pravdaže, poznali podmienky v mladom vesmíre vrátane toho, **do akej miery hlavné konstanty vesmíru ovplyvňujú jeho rozpínanie**.

Hmota, ktorej žiarenie vnímame ako CMB, je plodom big bangu. Podľa predpokladov bol vesmír až do dosiahnutia veku asi 380 000 rokov hustým, nepriehľadným morom ionizovanej hmoty (plazmy). Zvukové vlny šíriace sa plazmou nutili hmotu zahustovať sa či rednúť vo viac či menej hustých oblastiach. Tieto oblasti dnes vnímame ako teplotné fluktuačie zaznamenané v CMB.

Po uplynutí 380 000 rokov rozpínajúci sa vesmír vychadol do takej miery, že elektróny sa mohli spájať s jadrami atómov, čím vznikali neutrálne atómy. To umožnilo žiareniu, ktoré zostało po big bangu, šíriť sa volne do všet-

kých smerov. Žiarenie, ktoré pôvodne patrilo do viditeľnej časti spektra, počas 13,8 miliárd rokov posunula kozmická expanzia až do mikrovlnnej časti spektra.

Do akej miery sa zvukové vlny zapísali do CMB v podobe teplotných fluktuácií? O tom rozhodla presne namiešaná zmes skrytej (tmavej) a normálnej hmoty. Satelity WMAP a Planck zmerali tieto nepravidelnosti na celej oblohe s vysokou presnosťou. Podrobnejšia analýza údajov zo sondy Planck, skombinovaná s inými údajmi, umožnila kozmológom zistiť, že vesmír sa skladá zo 68,3 % skrytej (tmavej) energie, 26,8 % tmavej hmoty a iba 4,9 % tvorí viditeľná hmota. Ked' kozmológovia dosadili tieto údaje do Einsteinových rovníc všeobecnej teórie relativity vyšlo im, že Hubblova konšanta $H_0 = 67,4 \text{ km s}^{-1} \text{ Mpc}^{-1}$, s neurčitosťou iba $0,5 \text{ km s}^{-1} \text{ Mpc}^{-1}$!!!

„Predpovede CMB o hodnote H_0 vychádzajú z toho, že zloženie vesmíru je dobre popísané normálnou, barionickou hmotou, chladnou tmavou hmotou a tmavou energiou. Ak by bol tento opis neúplný, predpovede by boli nesprávne, ale dôkazy o tom nemáme,“ tvrdí Gary Hinshaw z University of British Columbia.

Výsledok sondy Planck je v súlade aj s inými štúdiami CMB, ale je nápadne nižší ako hodnoty H_0 , ktoré namerali vedci z projektov SH0ES, H0LiCOW a CSP.

Donald Schneider z Penn State University: „Priznávam, že som svoju odbornosť nadobudol počas éry, keď sme čo do neurčitosti pripúšťali faktor dva ($H_0 = (57 - 100) \text{ km s}^{-1} \text{ Mpc}^{-1}$). Preto nechápem, prečo je dnes toľko vzrušenia, keď

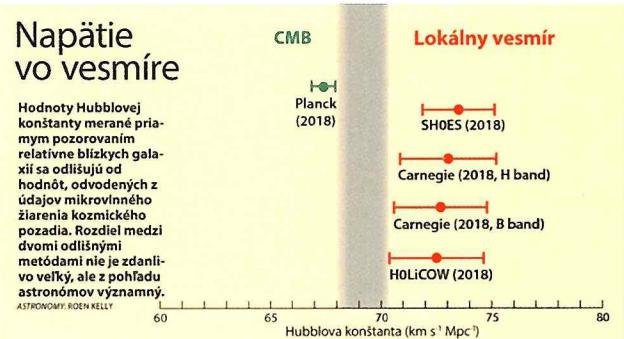
sú výsledky odlišujú iba o niekoľko percent.“ Čo sa však stane, ak tieto trenice pretrvajú?

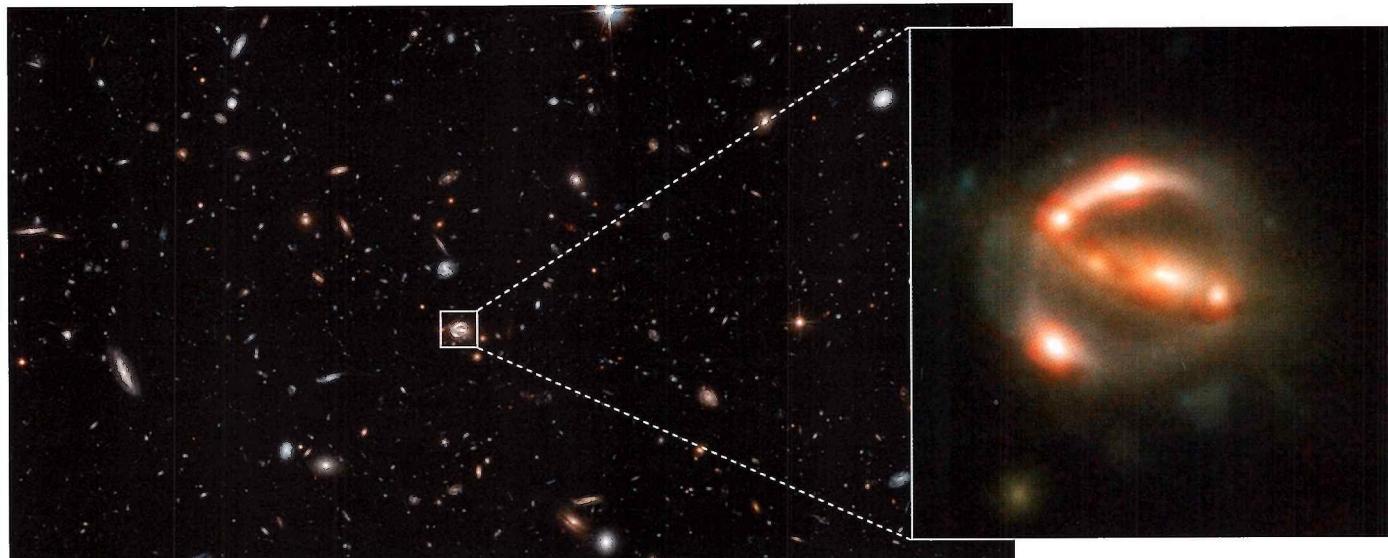
Na prahu neznámej fyziky

Ak budúce pozorovania potvrdia údaje, ktoré vedcov tak rozhádali, platný kozmologický model (Λ CDM) sa poriadne otrásie. Parameter Λ reprezentuje Einsteinovu kozmologickú konštantu, nemeniacu sa vlastnosť priestoru. Model predpokladá, že kozmologická konštantă reprezentuje aj tmavú energiu, ktorá je zodpovedná za čoraz rýchlejsie rozpínanie vesmíru. Parameter CDM (cold dark matter, chladná tmavá hmota) zase hovorí, že väčšinu hmoty vo vesmíre tvoria (doposiaľ neobjavené) ľahké častice, ktoré sa pohybujú pomerne pomaly.

Λ CDM model veľmi dobre popisuje reálny vesmír a je v súlade v podstate s každým súborom astronomických údajov. Z modelu vyplýva, že čo do priestoru je vesmír vo veľkých škálach plochý. Znamená to, že dva paralelné lúče svetla, ktoré by sa pohybovali prázdnym galaktickým priestorom, by boli rovnobežné aj po miliárdach svetelných rokov.

Model zároveň predpokladá, že Einsteinova všeobecná teória relativity uspokojuivo vysvetluje vesmír na veľkých škálach. Tento model bol a je taký úspešný, že sa ho vedci len tak





Vzdialený kvazar B1608+656, skúmaný za pomocou vplyvu gravitačnej šošovky na žiarenie kvazaru, umožňuje nezávislý spôsob určovania kozmických vzdialostí. Na zväčšenej snímke vidíme aj dve galaxie v popredí, ktoré sformovali svetlo kvazaru do 4 oblikov. Prírodná gravitačná šošovka je vzdialá 5 miliárd svetelných rokov, šošovkovaný kvazar sa nachádza o ďalšie 4 miliardy svetelných rokov ďalej.

ľahko nevzdajú. Ba čo viac: nepripúšťajú ani jeho podstatnejšie modifikácie.

Riess: „Model však obsahuje veľa neznámej fyziky.“ Netušíme, aké častice vytvárajú tmavú hmotu. Netušíme ani to, či naozaj ide o častice. Napokon, veľa experimentov zameraných na detegovanie tmavej hmoty bolo neúspešných.

Čo však spôsobuje, že sa vesmír rozpína čoraz rýchlejšie? Einsteinova kozmologická konštantá? Či neznámy druh dynamického poľa, ktoré sa mení v čase? Alebo ešte čosi iné?

Riess: „Nemalo by nás zatiaľ znepokojoval, že dynamiku vesmíru nedokážeme vysvetliť presnejšie... Ved fyzike 95 % vesmíru vôbec nerozumieme.“

Hinslow: „Mňa prekvapuje, že Λ CDM model funguje tak dobre ako funguje.“

Skľučujúca výzva

Určenie H_0 je pre fyzikov veľkou výzvou. Ani tí najtvorivejší nedokážu zatiaľ ponúknut' ideu, ktorá by túto záhadu vyriešila. „Nie je ľahké nahradiť Λ CDM model niečim iným, keď vieme, že stojí na obrovskom množstve údajov z mladého i neskoreho vesmíru, ktoré sa nevylučujú“, konštuuje Joanna Dunkleyová, fyzička z Princeton University.

Riess: „Všetci sa zhodneme na tom, že ak hľadáme zdroj niečoho, bude (tento zdroj) asi súvisieť s fyzikou mladého vesmíru.“

Vivian Poulinová z Johns Hopkins University zverejnila nedávno naozaj slabnú ideu. Spolu s kolegami navrhli, že **istá forma tmavej energie**, ktorá mierne ovplyvňovala rozpinanie vesmíru, pôsobila iba v období 20 000 až 100 000 rokov po big bangu. Podľa Pou-

linovej existujúcu „calamádu“ údajov môže vysvetliť iba tmavá energia. Krása tejto myšlienky spočíva v tom, že nie je príliš exotická. Inou priateľou myšlienky by bola **existencia štvrtého typu neutrína**. Veda ho zatiaľ neobjavila. Táto éterická častica, známa aj ako „sterilné neutrino“, by významne zvýšila predpokladaný podiel žiarenia vo vesmíre. Väčší podiel žiarenia by v prípade Λ CDM modelu viedol k zvýšeniu hodnoty Hubbleovej konštanty. Tej, ktorá vyplýva z meraní CMB. Obe myšlienky by možno trenice okolo H_0 utlmiť bez toho, aby sa Λ CDM model podstatnejšie zmenil. Objavujú sa však aj bizarrejšie nápady.

Napríklad: **čo ak celková priestorová geometria vesmíru nie je plochá?** Takýto vesmír by bol dynamicky nestabilný a nebol by v súlade s pozorovaniami CMB, podľa ktorých „musí byť vesmír takmer plochý“.

Alebo: **čo ak tmavá energia nie je kozmologickou konštantou**, pretože ju generuje neznáme dynamické pole, ktoré sa v čase mení? Podľa Vivian Poulinovej by takéto pole muselo mať „exotické“ vlastnosti, pretože v rozpiňajúcim sa vesmíre by sa nemohlo zmenšovať. Ba čo viac: takéto pole by nemuselo byť z hľadiska fyziky absolútne. Taká predstava je aj pre ostrielených fyzikov „silný tabak“. Považujú ju za príliš divokú.

Podľa najradikálnejšej predstavy **žijeme v extrémne riedkej oblasti vesmíru**. Joanna Dunkleyová zhrnula výhrady mnohých kozmológov voči tejto myšlienke do jedinej vety: „**Prečo by práve naša lokálna oblasť mala byť oproti zvyšku vesmíru iná?**“

Utlmenie rozbrojov

Všetky tímy svojim metódam a výsledkom hlboko veria. S konkurentmi sa škriepia, ale spory už neústia do animozit. Naopak: vedci spoločne hľadajú dno hlbokého tajomstva. Pozorovatelia nadalej redukujú svoje chyby. Až po hladinu 1 percenta. Využívajú sa nové meracie prístroje.

Napríklad: Freedmanová viedie veľkú medzi-



Špirálová galaxia NGC 3370 v súhvezdí Leva, vzdialenosť 98 miliónov svetelných rokov. Nájdeme v nej supernovu Ia SN1994ae, ktorá vybuchla pred 25 rokmi, a 65 ceféid.

národnú skupinu, ktorá už čoskoro zverejní novú H_0 určenú pomocou metódy „rebríka vzdialenosť“ (distance ladder). Nebude však stavať na údajoch z cefeíd. Pomocou Hubblovho vesmírneho ďalekohľadu bude pozorovať najjasnejšie červené obry v halách vzdialých galaxií.

Červené obry sú výnimco nejasné objekty. Navýše, meranie jasnosti v galaktických halách neruší svetlo iných hviezd z okolia, ako je to v prípade cefeíd, mladých hviezd, ktoré sa nachádzajú v prepchátych diskoch galaxií. Červené obry sú jednoduchšími objektmi ako cefeidy. Najmä preto, lebo nemajú komplexné, dynamické atmosféry.

Freedmanovej tím zmeral vzdialenosť červených obrov v 17 galaxiach, ktoré hostili aj supernovy typu Ia. Táto nová metóda umožňuje úplne nezávislú kalibráciu vzdialenosťí supernov typu Ia. Čo je, podľa kozmológov, hotová bomba.

Ďalekohľady zamerané na veľké prehliadky oblohy pomôžu astronómom spresniť predstavy o tom, ako sa variácie hustoty v mladom vesmíre podielali na veľkoškálovom rozložení galaxií. Tieto stopy, známe ako baryónové, akustické oscilácie, umožnia vedcom lepšie pochopíť vývoj kozmickej expanzie v strednom veku vesmíru. To uľahčí vedcom prepojiť pozorovania CMB mladého vesmíru s meraniami „rebríka vzdialenosť“ v modernom vesmíre.

Joanna Dunkleyová pozoruje pomocou Atacama Cosmology Telescope v Čile. Tento prístroj umožňuje podrobne pozorovania polarizácie CMB. Výsledkom bude ďalšie nezávislé meranie H_0 . Hovorí: „Pripojíme naše údaje k údajom zo sondy Planck a významne tak znížime neurčitosť Hubblovej konštanty určenej z merania CMB. Iba tak zistíme, či sa

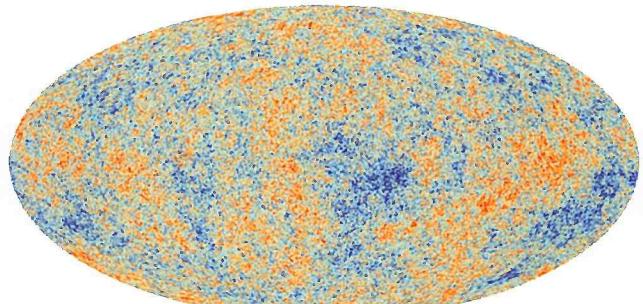
významne odlišuje od lokálnej hodnoty H_0 , a či sa nesúlad medzi nimi zmierni.“

Na spresnení hodnoty H_0 sa budú podieľať aj detektory gravitačných vln LIGO a Virgo. Z jedinej udalosti gravitačného splynutia dvoch neutrónových hviezd (17. augusta 2017) určili vedci hodnotu $H_0 = 70 \text{ km s}^{-1} \text{ Mpc}^{-1}$ s neurčitosťou 15 percent. Ak sa detektorom LIGO a Virgo počas najbližších desiatich rokov podarí detegovať niekoľko tuctov gravitačných splynutí neutrónových hviezd, vedci ich už dokážu kalibrovať. Ako štandardné sirény (teda nie štandardné sviece, pretože ide o analógiu k pozdĺžnym zvukovým vlnám vyvolaným zmenami hustoty prostredia) nám pomôžu spresniť H_0 až k hranici 1 percenta.

Ak platí, že $H_0 = 67,4 \text{ km s}^{-1} \text{ Mpc}^{-1}$ (podľa merania sondy Planck), vesmír má 13,8 miliardy rokov. Ak by sa však hodnota H_0 blížila k $73 \text{ km s}^{-1} \text{ Mpc}^{-1}$, mohlo by to jeho odhadovaný vek znižiť o stovky miliónov rokov. V závislosti na tom, aké zmeny by vyžadoval model Λ CDM.

Ovela dôležitejším plodom treníčok okolo H_0 by mohlo byť lepšie pochopenie tmavej energie, ktorá kontroluje osud vesmíru.

Ak je Einsteinovou kozmologickou konštantou naozaj tmavá energia, vesmír sa bude rozpínať donekonečna smerom k tepelnej smrti (big chill, veľký chlad), keď sa všetka hmota nadobro rozptýli a vychladne. Ak by



Európsky satelit Planck získal doteraz najpresnejšie údaje o mikrovlnnom žiareni kozmického pozadia (CMB). Skombinovaním týchto údajov so štandardným modelom vesmíru získali vedci novú hodnotu Hubblovej konštanty. Takto získaná hodnota H_0 je o málo menšia ako H_0 určená na základe merania vzdialenosťí a rýchlosťí blízkych galaxií, ale tento rozdiel je pre astronómov významný.

však išlo o dynamicky sa meniacu tmavú energiu, ktorej vplyv postupne klesá, rozpínanie vesmíru by mohlo byť v budúcnosti nahradené jeho kolapsom, až by sa všetka hmota zrútila do singularity (big rip).

Hinshaw: „Ak je tmavá energia nestabilná, môže sa rozpadnúť alebo nadobudnúť novú formu a zmeniť zákony fyziky s nepredvídateľnými dôsledkami.“

Ak by rozbroje medzi pozorovateľmi pokračovali aj po dosiahnutí hranice 1% neurčitosťi, získame mimoriadne silný dôkaz o tom, že trenice boli a sú odôvodnené. To by si vyzádalo zmeny v Λ CDM modeli, čo by väčšinu kozmológov bezpochyby nadchlo.

Asi najlepšie by však bolo, ak by tieto spory vedcov nasmerovali k lepšiemu pochopeniu podstaty tmavého vesmíru, teda tmavej hmoty a tmavej energie.

Astronomy, jún 2019, E. G., R. G.



Astronómovia pomocou zmien jasnosti 16 cefeíd určili, že NGC 3982 v súhvezdí Veľkej medvedice je od nás vzdialenosť 68 miliónov svetelných rokov. Supernova SN1998aq, výrazne najjasnejší objekt, vzplnula v tejto galaxii v roku 1998. Aj v tomto prípade využili vedci rozličné typy objektov na spresnenie odhadu vzdialenosťí vo vesmíre.



Svetlo blízkej hviezdy sťažuje pozorovanie NGC 7250, nepravidelnej galaxie vzdialenej 45 miliónov svetelných rokov, ktorá sa premieta do súhvezdia Jašterice. Objavili v nej supernovu SN2013dy a 22 cefeíd. NGC 7250 zohrala v meraní Hubblovej konštanty možno najvýznamnejšiu rolu.

Hublov vesmírny d'alekohľad

Pri príležitosti blížiaceho sa 30. výročia vypustenia HST prinášame ďalší diel seriálu článkov venovaných najvýznamnejším vedeckým úspechom tohto legendárneho kozmického dalekohľadu.

Jednou z oblastí, ktorú vedecké pozorovania HST doslova zrevolucionizovali, je výskum vlastností a evolúcie hviezd – stelárna astromómia. Hviezdy nám na prvý pohľad pripadajú stále a nemenné. Opak je však pravdou a každá hvieza sa mení minimálne kvôli tomu, že sa vyvíja. Evolúciu hviezd poháňajú zmeny chemického zloženia v ich jadrach v dôsledku termonuklearnej syntézy. A keďže zdroje sú obmedzené, časom sa nevyhnutne vyčerpávajú a hvieza sa dostane do záverečného štátia svojej evolúcii. Umieranie hviezd môže byť veľmi dramatické a búrlivé. Svedčia o tom mnohé zábery, ktoré za takmer tridsať rokov získali prístroje HST.

*doc. RNDr. Rudolf Gális, PhD.
Univerzita P. J. Šafárika v Košiciach
Zdroj obrázkov: NASA, ESA*

1. Koniec života veľmi hmotných hviezd býva dramatický: po spotrebovaní všetkých dostupných zásob paliva termonuklearne reakcie ustanú, jadro sa zrúti a vznikne neutrónová hvieza alebo čierna diera. Kollapse sprevádza ohromná explózia – vzplanutie supernovy. Počas explózie sú vonkajšie obálky umierajúcej hviezy rozmetané do priestoru, čím obohacujú medzihviezdnu hmotu o ľahšie chemické prvky. Pozostatky supernov môžeme pozorovať ako rozpínajúce sa emisné hmloviny. Táto snímka, zostavená z 24 samostatných expozícií HST, doposiaľ najpodrobnejšie zachytáva celú *Krabiu hmlovinu* (M1), jeden z najzaujímavejších a najlepšie preštudovaných vesmírnych objektov. Vznikla počas vzplanutia supernovy 4. júla 1054 a zaznamenali ju japonskí a čínski astronómovia. Výbuch si všimli aj americkí indiáni zo severnej Arizony a vďaka nim sa táto udalosť v podobe niekoľkých kresieb zachovala až do dnešných dní. Jasnosťou šestkrát prekonala Venušu a nasledujúcich 23 dní bola vidieť aj cez deň voľným okom. Potom postupne slabla a z oblohy sa definitívne stratiла za ďalších 653 dní. Pozostatok po supernove znova násil až v ére dalekohľadov, v roku 1731, britský amatérsky astronóm John Bevison a nezávisle, v roku 1758, aj Charles Messier. V centre *Krajej hmloviny* je neutrónová hvieza 1,5-násobne hmotnejšia ako Slnko s priemerom iba 10 km, ktorá je zdrojom modravého žiarenia vnútra hmloviny. Ide o produkt elektrónov, rotujúcich takmer rýchlosťou svetla okolo siločiar extrémne silného magnetického pola. Energia tohto žiarenia, označovaného ako synchrotronové, osvetľuje celú hmlovinu; keďže sa získava na úkor rotačnej energie neutrónovej hviezy, jej rotácia sa postupne spomaľuje. Vláknoté štruktúry pozdĺž celej

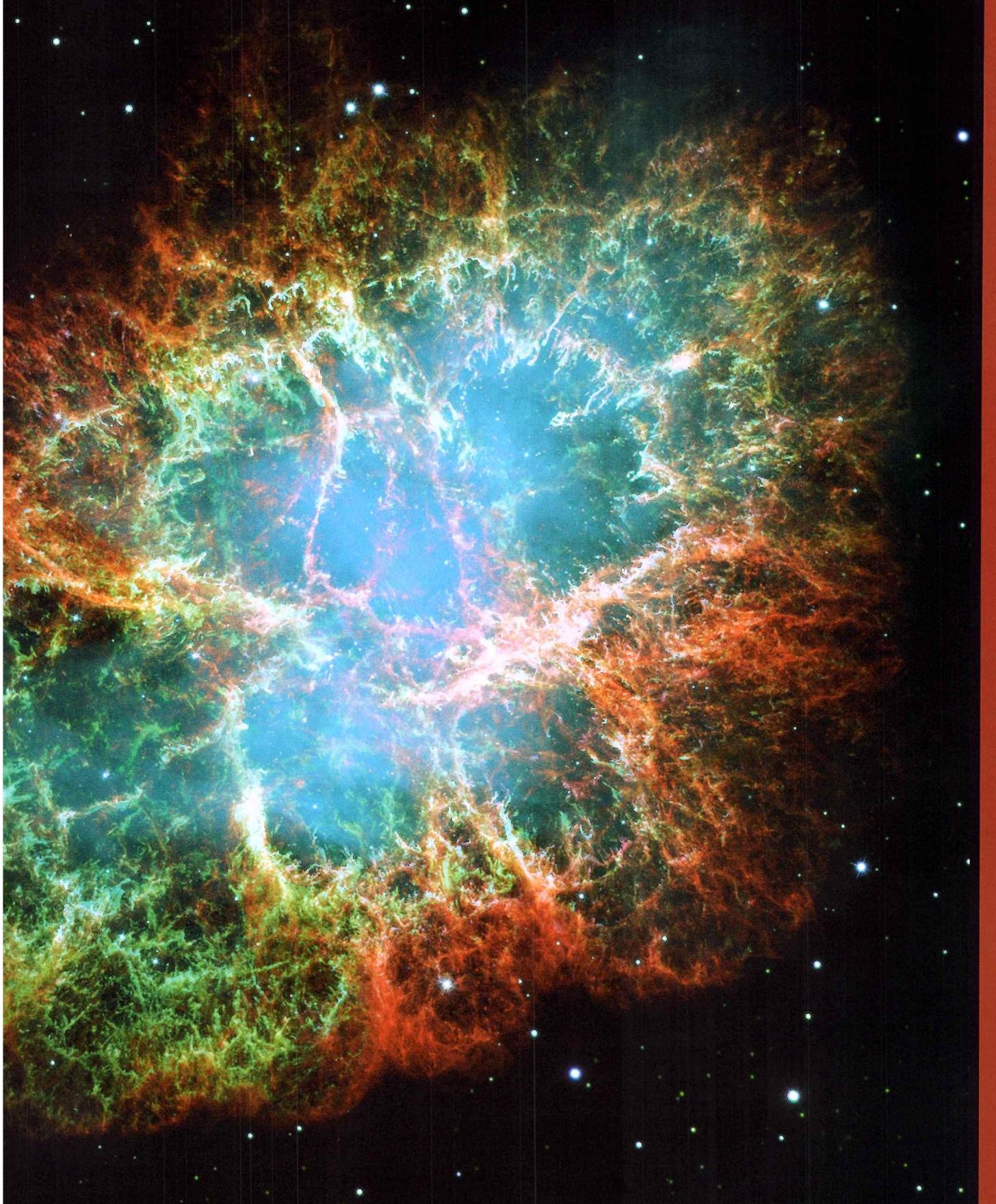
hmloviny sú väčšinou z vodíka, ale aj ľahších chemických prvkov, pretože sú to vlastne roztrhané zvyšky pôvodnej hviezy. Krabia hmlovina sa nachádza v smere súhvezdia Býk vo vzdialosti 6 500 svetelných rokov, má skutočný priemer 6 svetelných rokov a stále sa rozprína rýchlosťou vyše 1000 km/s.

2. Planetárne hmloviny dostali svoje meno v časoch, keď sa na pozorovania vesmíru používali ďalekohľady s malým uhlovým rozlíšením, v ktorých tieto objekty pripomínaли disky planét. Aj keď už dávno vieme, že nemajú nič spoločné s planetami, ich názov sa používa aj v súčasnosti. Planetárna hmlovina IC 418, známa tiež ako hmlovina Spirograf, vyzerá na tejto detailnej snímke ako vesmírny drahokam žiariaci množstvom faziet. Snímka odhaluje pozoruhodné textúry, ktoré sa prepletajú touto planetárnu hmlovinou. Ich pôvod však nie je úplne jasný. Planetárna hmlovina leží vo vzdialosti asi 3 600 svetelných rokov od Zeme v smere súhvezdia Zajac. Jej skutočný priemer je asi 0,3 svetelného roka.

3. Zdá sa, že táto krehká bublina sa pokojne vznáša v hlbinách vesmíru. Zdanlivý pokoj scény však ukryva vnútorné napätie. Plynná obálka totiž vznikla zrážkou nárazovej vlny hmoty vyvrhutej počas vzplanutia supernovy s medzihviezdým plynom a prachom. Táto bublina, označovaná aj ako SNR B0509-67.5 (alebo SNR 0509), je posledným dôkazom monumentálnej explózie vo *Velkom Magellanovom mračne*, malej galaxii vzdialenej asi 160 000 svetelných rokov od Zeme. Zvlnenie povrchu obálky môže byť spôsobené buď jemnými zmenami v hustote okolitého medzihviezdneho plynu, alebo fragmentmi z počiatocnej explózie. „Rubás“ miútnej hviezy má v súčasnosti priemer 23 svetelných rokov a rozširuje sa rýchlosťou viac ako 18 miliónov km/h.

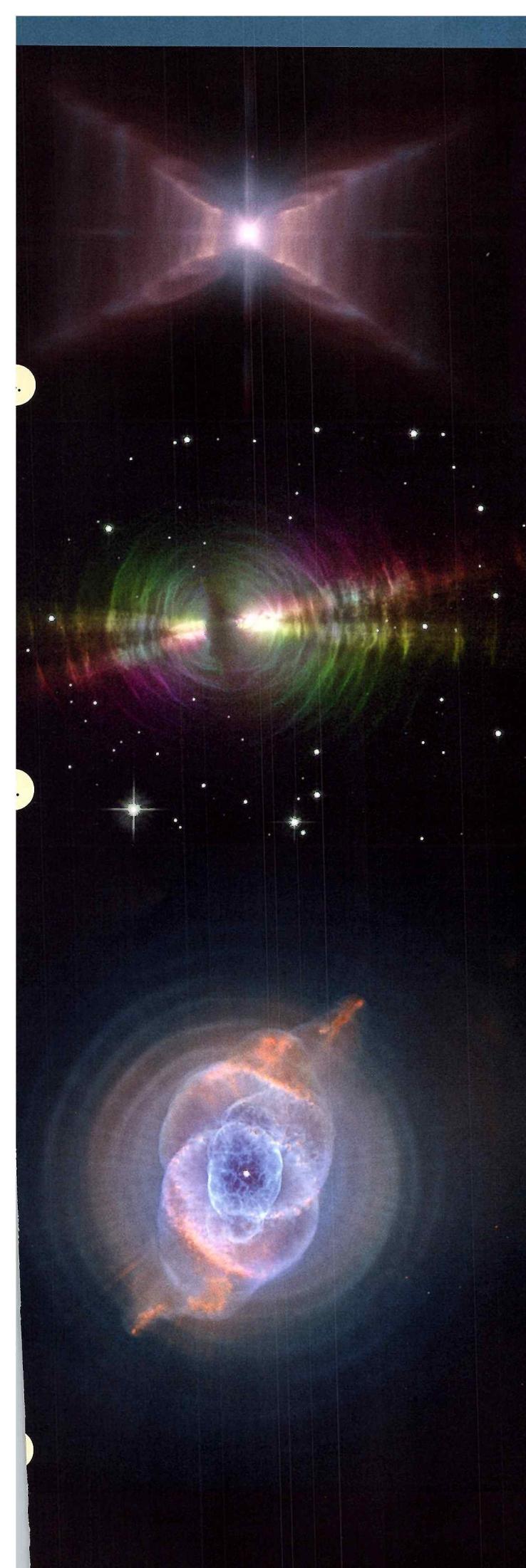
4. V prípade hmloviny obklupujúcej hviezdu HD 44179 astronómovia možno nepozorujú bájne „schody do neba“, no podarilo sa im nasnímať prinajmenšom niečo rovako fascinujúce: štruktúru pripomínajúcu schodisko alebo rebrík, ktorá obklupuje umierajúcu hviezdu. Hmlovina je tiež známa ako *Červený obdlžník* vďaka svojmu unikátnemu tvaru a zdanlivej farbe zachozených na prvých snímkach pozemských ďalekohľadov. Detailný obrázok HST však odhaluje, že hmlovina má tvar skôr ako písmeno X s ďalšími štruktúrami žiariaceho plynu, pripomínajúcimi priečky rebríka. Astronómovia predpokladajú, že tento tvar vznikol z prúdov plynu a prachu, unikajúcich z hviezdy v centre hmloviny podobnej nášmu Slnku, avšak na konci jej života. Tieto kuželovité prúdy sú orientované presne opačnými smermi. Výrony hmoty, ktoré začali asi pred 14 000 rokmi, sa pravidelne opakovali každých niekoľko stoviek rokov, takže výsledná štruktúra hmloviny pripomína sadu do seba vložených vínových pohárov videných z boku. O niekoľko tisíc rokov jadro hviezy skolabuje a vytvorí bieleho trpaslíka, ktorého prenikavé ultrafialové žiarenie rozžiari okolitý plyn. Budeme pozorovať planetárnu hmlovinu. V súčasnosti však je ešte hvieza príliš chladná a hmlovina žiari iba svetlom centrálnej hviezy, rozptyleným na prachových časticach v hmlovej. Nevieme presne, ktoré molekuly v prachovom mračne dávajú hmlovine nápadne červenú farbu, pravdepodobne však ide o istý druh uhlovodíkov, ktoré sa formujú v chladných prúdoch hmoty opúšťajúcich centrálnu hviezdu. Astronómovia tiež zistili, že centrálny objekt je v skutočnosti dvojica hviezd, ktoré obiehajú okolo spoločného ľahšika s periodou 318 dní. Interakcia medzi týmito dvomi hviezdami pravdepodobne spôsobila vznik hrubého prachového prstenca, ktorého pritomnosť odhalil HST,

Zo života hviezd III: zomieranie



2.

3.

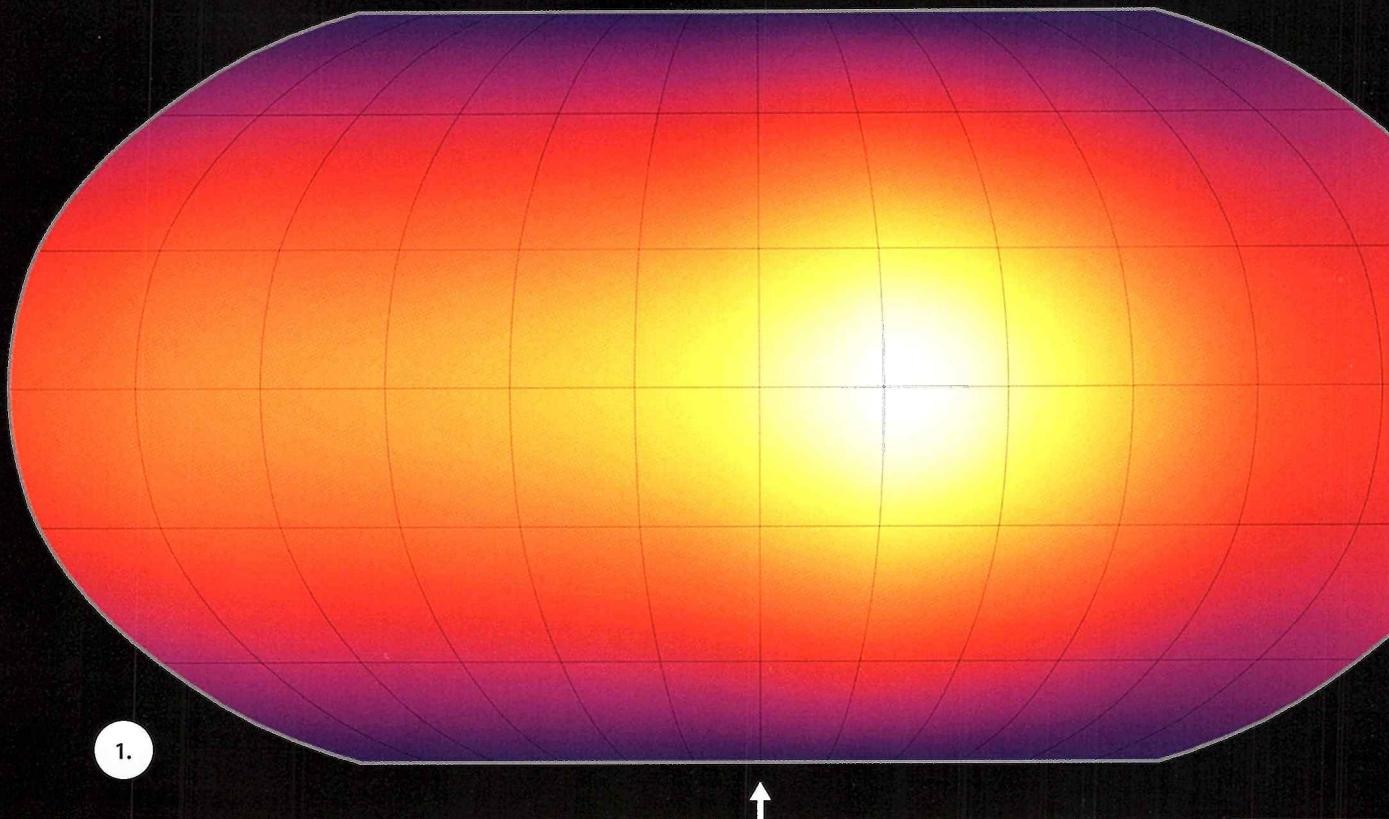


a ktorý nám bráni priamo vidieť dvojhviezdu v centre hmloviny. Tento prstenec tiež usmerňuje výrony hmoty v smere jeho osi, ktoré potom vytvárajú fantastické dvoj-kužeľovité štruktúry pozorované zo Zeme ako stupienky hmloviny *Červený obdlžník*. Hmlovina sa nachádza vo vzdialosti 2 300 svetelných rokov v smere súhviedia *Jednorožec*.

5. Hmlovina *Vajíčko* (CRL 2688), ktorá sa podobá vlniacemu bazénu osvetlenému podvodnými svetlami, ponúka nevšedný pohľad na bežne neviditeľné prachové obálky, obklopujúce starnúcu hviezdu. Tieto prachové vrstvy, ktoré siahajú od hviezdy do vzdialnosti jednej desatiny svetelného roka, majú štruktúru cibule, vytvárajúc okolo hviezdy sústredné prstence. Hrubý prachový pás, prechádzajúci takmer vertikálne cez obraz, blokuje svetlo centrálnej hviezdy. Dvojité lúče svetla vyžarované zo zahalenej hviezdy osvetľujú čierny prach, podobne ako svetlo baterky vytvára kužeľ svetla v zadymenom prostredí. Objekty tohto typu pomáhajú astronómom pochopiť, ako hviezdy podobné nášmu Slnku dodávajú do vesmíru uhlík a dusík – chemické prvky dôležité pre život. Výskum tejto hmloviny ukazuje, že umierajúce hviezdy ich vysokými rýchlosťami vyvrhujú pozdĺž preferovanej osi a môžu tvoriť dokonca viac prúdov podobných výtryskom. Kolíziou tejto rýchlo sa pohybujúcej hmoty a plynu a prachu pomaly expandujúcich vrstiev dochádza k emisii žiarenia vodíka, ktorú však odhalia iba infračervené pozorovania. Hmlovina *Vajíčko* sa nachádza vo vzdialosti 3 000 svetelných rokov a premieta sa do súhviedia *Labuť*. Obrazok vznikol kombináciou pozorovaní HST zo septembra a októbra 2002.

6. Na detailnom zábere vyzerá hmlovina *Mačacie oko* (NGC 6543) ako prenikavé plamenné oko telesnosti zbaveného černokňažníka Saurona. Podobne ako tátó prízračná postava z filmovej adaptácie Tolkienovho Pána prsteňov aj hmlovina je záhadná a nevysvetliteľná. Ide o jednu z najkomplexnejších planetárnych hmlovín, aké pozorujeme, hoci bola medzi prvými objavenými planetárnymi hmlovinami. Jej štruktúra pozostáva z koncentrických obálok, prúdov vysoko rýchlosného plynu a nezvyčajných, nárazovými vlnami vyvolaných zhľukov hmoty. Na obrázku možno rozlísiť jedenásť koncentrických prstencov. Každý prstenec je v skutočnosti jasný okraj sférickej bubliny premietnutej na oblohu. Koncentrické obálky naznačujú, že hviezda odvrhovala hmotu v sériach pulzov približne každých 1 500 rokov. Existuje niekoľko vysvetlení tohto správania: od cyklov magnetickej aktivity podobných cyklom slnečných škvŕn cez pôsobenie hviezdnego sprivedodcu, ktorý obieha okolo umierajúcej hviezdy až po hviezdné pulzácie. Približne pred 1 000 rokmi sa charakter straty hmoty náhle zmenil a vo vnútri prachových obálok sa začala tvoriť samotná hmlovina. Tá sa doteraz rozpína, ako ukazuje porovnanie obrázkov hmloviny z HST v rokoch 1994, 1997, 2000 a 2002. Zostáva však otázkou, čo spôsobilo túto dramatickú zmenu. *Mačacie oko* sa nachádza vo vzdialosti asi 3 000 svetelných rokov a premieta sa do súhviedia *Drak*.

Pokračovanie nabudúce



Infračervené astronomické oko: Spitz

Kozmos už dlhšie prináša a komentuje objavy, ktoré priniesol Hubblov vesmírny dalekohľad (HST), nakoľko sa bliží 30. výročie jeho vypustenia. Podobnú pozornosť si však zaslhuje aj ďalší vesmírny dalekohľad, verejnosti menej známy. Spitzerov dalekohľad totiž priniesol rovnako dých berúce objavy v infračervenej oblasti elektromagnetického žiarenia (IR), ktoré pomohli astronómom lepšie chápať vesmír a objekty v ňom, či už ide o našu Slnečnú sústavu alebo o najvzdialenejšie galaxie na okrajoch pozorovateľného vesmíru.

Spitzer v kozme pracuje už 16 rokov. NASA oznámila, že 30. januára 2020 toto úspešné observatórium definitívne vypne.

Spitzer – astronóm

Tento vesmírny dalekohľad je formálne známy pod skratkou SIRTF (Space Infrared Telescope Facility). Pomenovanie dostal po významnom americkom astronómovi a teoretickom fyzikovi, ktorý pracoval v rôznych oblastiach vedy. **Lyman Strong Spitzer Jr.** (na fotografií) sa okrem štúdia vývoja hviezd venoval aj fyzike plazmy a navrhhol stelárator, zariadenie na získavanie energie termonukleárnej fúziovej izotopov vodíka. Spitzer už v roku 1946 navrhhol umiestniť astronomické dalekohľady do otvoreného kozmického priestoru. Oproti pozemským pozorovaniam videl ich obrovské výhody, čo by znamenalo veľký krok dopredu v astronomickom výskume. Pochopiteľne, Spitzer bol aj jedným z prvých zástancov projektu HST.

Spitzer – satelit

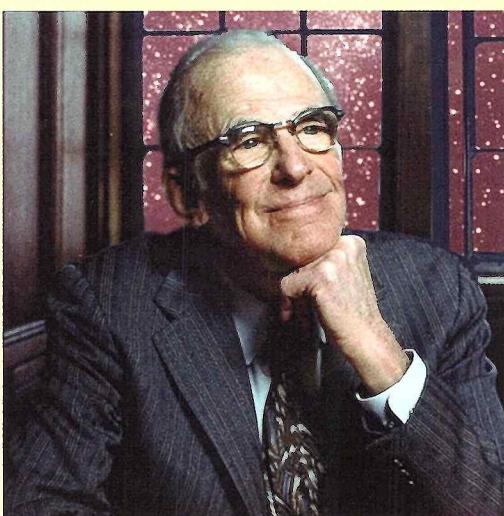
Spitzerov dalekohľad bol vypustený 25. augusta 2003 z Mysu Canaveral (Florida) na heliocentrickú dráhu veľmi podobnú dráhe našej Zeme. Kedže sa však po nej pohyboval pomalšie, od Zeme sa postupne vzdalaoval; v roku 2019 ho od nás delilo vyše 250 miliónov km. Má priemer iba 85 cm a ohniskovú vzdialenosť 10,2 m. Na pozorovania blízkeho aj vzdialenejšieho vesmíru v IR oblasti spektra slúži trojica prístrojov: IR kamera, IR spektrometer a IR detektor polí. Na chladenie citlivých detektorov mal k dispozícii 3601 kvapalného hélia, a práve to bolo určujúcim faktorom jeho životnosti. Predpokladalo sa, že misia bude trvať 2,5 až 5 rokov. Napriek tomu, že sa chladiace médium minulo

15. mája 2009, cenné pozorovania né aj po tomto termíne v tzv. teplej chladiaceho média).

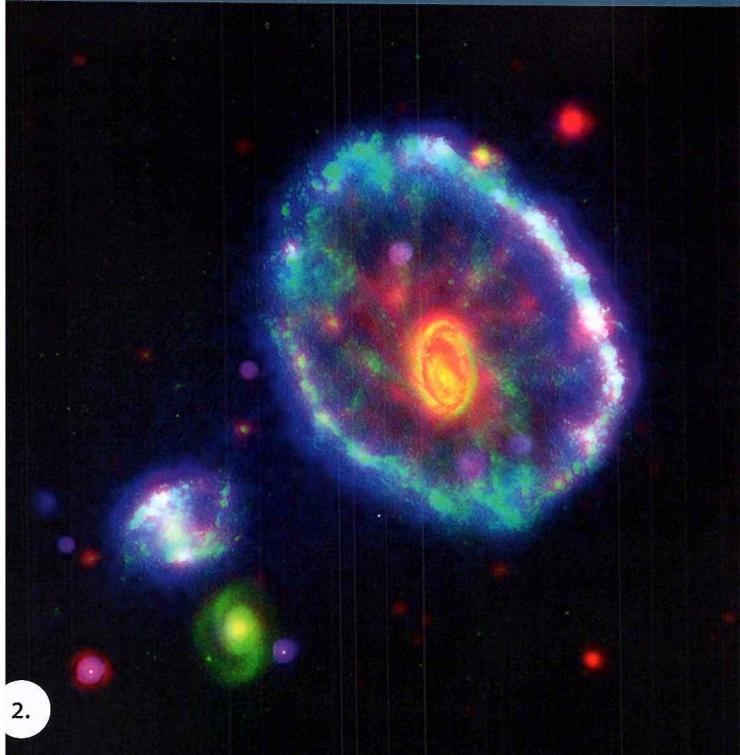
Dalekohľad nadsluhuje už vyše 11 niesol veľa významných objavových záberov rozličných nebeských. Spomeňme priame zachytenie vý exoplanét HD 209458 b a TrES-1, tvrdenie teórie, že Galaxia je skutočnosťou galaxiou s priečkou, alebo zatmenie atmosféry exoplanéty HD 189733b, tohto potvrdil existenciu skrytého Saturna a zachytil čiernu dieru v laxii. S jeho pomocou bola z 800 statných záberov vytvorená aj fórmula Mozaika Mliečnej dráhy.

Pri mnohých ďalších pozorovaníach boli jeho dátá nevyhnutne spolu s údajmi viacerých, aj predlohami dalekohľadov, ale najmä ako posledného smírnych misií: HST, satelit na ultrafialového (UV) žiarenia Galaxy Evolution Explorer's Far detector), satelit na detekciu röntgenovej žiarenia (Chandra X-ray Observatory) a dalekohľad na palube lietadla typu letiaci v stratosféri (známy ako Stratospheric Observatory for Astronomy).

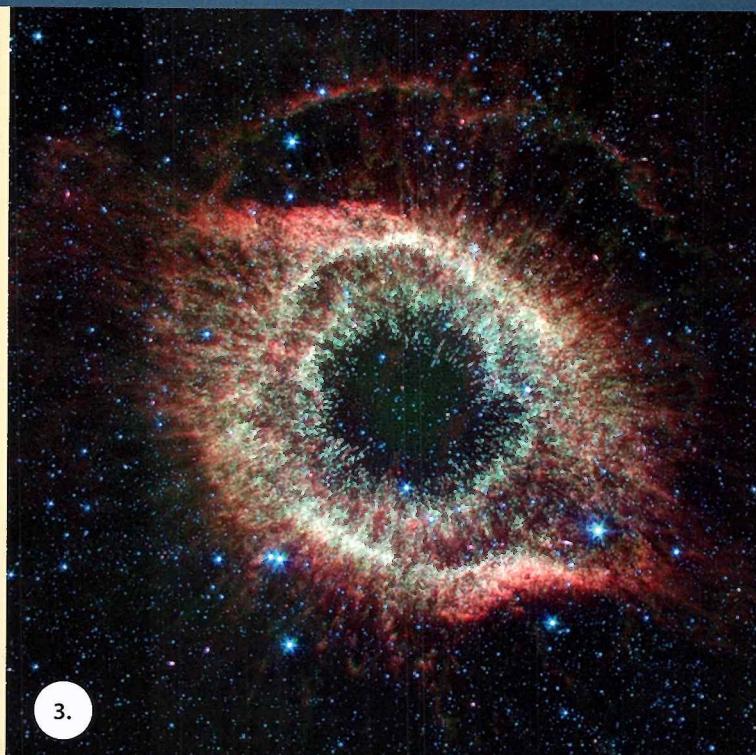
Prinášame niekoľko fotografií, ktoré dôkazujú za veľmi zaujímavé a zároveň pohľad. Spitzerov teleskop je samostatne, alebo v spolupráci s ďalšími satelitmi.



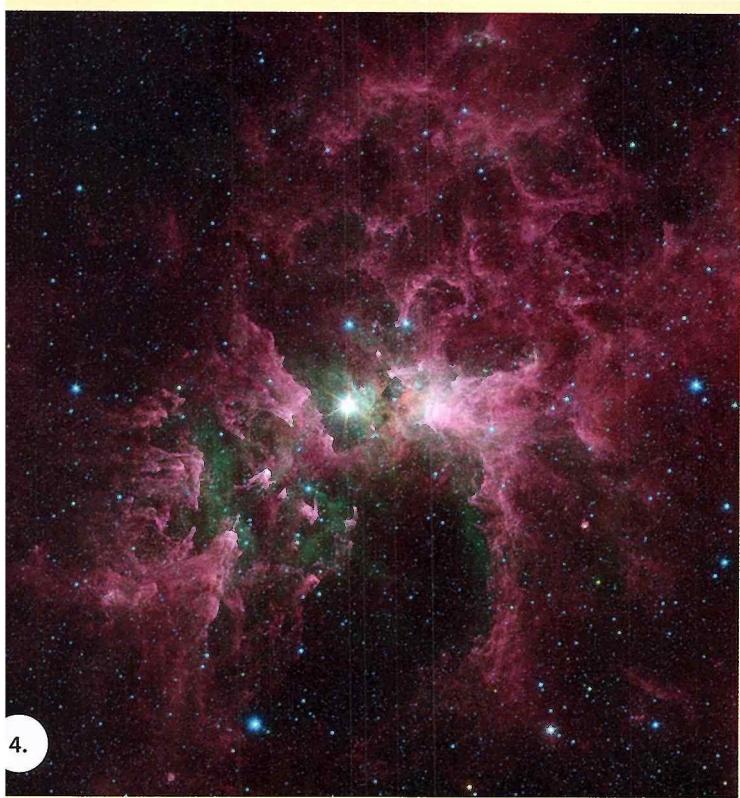
Ladislav Hric, SÚH



2.



3.



4.



5.

1. Toto je historicky prvá mapa exoplanéty, znázorňujúca rozloženie teploty na povrchu plynného obra HD 189733b; vznikla na základe IR dát zo satelitu Spitzer. Vyššiu teplotu znázorňuje jasnejšia farba. Táto obria planéta veľmi „lipne“ na svojej hviezde, nakoľko okolo nej obieha v blížšej vzdialosti ako Merkúr okolo Slnka. Na osvetlenej strane planéty je teplota až 930 °C, na odvrátenej 650 °C.
2. Na zloženej fotografii je galaxia Cartwheel, čo sa dá preložiť ako Koleso voza. Je to jeden z najzložitejších problémov galaktického kanibalizmu a dynamiky telies.

Dnes vieme, že cca pred 100 miliónmi rokov prešla malá galaxia ohniskom galaxie Cartwheel, pričom vznikli zhustenia hmoty, kde sa intenzívne tvoria nové hviezdy. Výsledkom je aj vonkajší modrý prstenec – silný zdroj UV žiarenia. Žlto-oranžový vnútorný prstenec a jadro v strede galaxie sú výsledkom optického a IR žiarenia. Ide o ďalšie zhustenie hmoty, ktoré vzniklo pri vzájomnej kolízii galaxií. Červený chumáč predstavuje organické molekuly, osvetlené žiareniom z blízkych oblastí so slabou hviezdotvorbou. Zatiaľ nie je jasné, ktorá galaxia spôsobila galaktický kanibaliz-

mus, no dvoch kandidátov z troch možných vidíme vľavo dole; bud' je to neónová škvRNA, alebo zelená spirála.

3. Prekrásny záber planetárnej hmloviny Helix, vzdialenej od Zeme 700 svetelných rokov, vznikol 4 roky po vypustení satelitu. V strede rozsiahlej hmloviny s priemerom 6 svetelných rokov je umierajúca hvieza – biely trpaslík, ktorý však na fotografii nie je vidieť.
4. Eta Carinae (Kýl) je jednou z najhmotnejších hviezd vo vesmíre. Ide vlastne o dvojhviezdnú sústavu s odhadovanou hmotnosťou 100 – 200 M_⊙. Sústava v dôsledku

vysoko energetických procesov stráca hmotu, ktorá deformuje okolité oblyky z plynu a prachu, vytvárajú sa dutiny a stĺpy hustejšieho materiálu. Tento záber je zložený zo záberov v troch oblastiach IR žiarenia. Emisie v oblasti $3,6 \mu\text{m}$ sú znázornené modrou farbou, zelená zodpovedá vlnovým dĺžkam $4,5 \mu\text{m}$; červená predstavuje žiarenie s vlnovou dĺžkou $8 \mu\text{m}$.

5. Táto fotografia je plodom úžasnej spolupráce štyroch satelitov, ktoré nezávisle získali fotografie galaxie Messier 101 nazývanej Veterník (Pinwheel Galaxy). Na oblohe sa nachádza v súhvezdí Veľkej medvedice. Galaxia je od nás vzdialenosť 21 miliónov

svetelných rokov a má priemer 170 000 svetelných rokov. Spitzer zaznamenal červené časti galaxie, tvorené najmä zahriatym prachom, kde vznikajú hviezdy. Žlté časti galaxie, ktoré tvorí optické elektromagnetické žiarenie hviezd detegované HST, dobre kopírujú oblasti s prachovou zložkou. Modrá farba znázorňuje ultrafialové žiarenie, produkované mladými horúcimi hviezdami, sformovanými cca pred miliónom rokov; autorom tejto časti fotografie je satelit GALEX. Najhorúcejšie oblasti galaxie majú purpurovú farbu, kde satelit Chandra pozoroval röntgenové žiarenie generované vzplanutím veľmi ener-

getických hviezd, emisiu plynu zohriateho na milión $^{\circ}\text{C}$ a materiál, ktorý spirálovitým pohybom dopadá a mizne pod horizontom udalostí čiernych dier.

6. Známa galaxia Messier 104 dostala názov Sombrero, napoklko vo viditeľnej časti spektra pripomína jej tvar mexický klobúk. Spitzer tentoraz spojil sily s HST, čím vznikol nezvyčajne informatívny pohľad do vnútorných častí galaxie. V centre tróni mimoriadne hmotná čierna diera. IR pohľad odhaluje prachovú štruktúru prstenca, rotujúceho okolo hmotného stredu galaxie, ktorá je od nás vzdialenosť 28 miliónov svetelných rokov.

Visible + Infrared



Visible

Infrared



Život s Hubblovým vesmírnym d'alekohľadom (2)

Vedecké výsledky získané pomocou HST sa prirodzene delia na tie, ktoré boli získané pred prvou servisnou misiou d'alekohľadu (SM-1) a na výsledky, ktoré prišli až neskôr. Spočiatku všetky snímky ovplyvňovalo chybnejší primárne zrkadlo, napriek tomu sa však podarilo získať aj vedecky cenné výsledky. Keď na ST-Sci našli spôsob, ako opraviť chybnejší obrazy pomocou softvéru, rýchlosť produkcie vedeckých výsledkov sa zvýšila. Tieto opravy však už po prvej servisnej misii neboli potrebné. Čitateľ si môže oživiť cestu, akou sa uberaťo získavanie vedeckých výsledkov tým, že si na internete nájdete adresu Hubblesite.org/news, a začne tlačovými správami od roku 1990.

Výsledky dosiahnuté pred SM-1

Reprezentatívna vzorka výsledkov z obdobia pred prvou opravou:

- Objav búrok v atmosfére Saturna, pričom HST sledoval aj ich priebeh a vývoj, vďaka čomu sa zlepšili naše znalosti o atmosfére tejto planéty.
- Objav náznakov vývoja galaxií a ich prechodu z jednej formy do druhej.
- Objav čiernych dier v jadre masívnych galaxií ako M87 (NGC 4486) doplnil poznanok, že ich existenciu zvyčajne sprevádzajú obrovské prúdy plazmy pohybujúcej sa vysokou rýchlosťou.
- Vysokorýchlosný prúd plazmy HST zistil aj pri jednom z prvých objavených kvazarov, čo ukázalo na „rodinné prepojenie“ bežných masívnych galaxií a kvazarov.
- Ukázalo sa, že veľa mladých hviezd v hmlovine Orión (M42, NGC 1976) obklopujú disky prachu a plynu, z ktorého sa môžu tvoriť planéty.

- HST získal dôkaz, že našu Galaxiu obklopuje halo z plynu, ktorý sa hýbe vysokou rýchlosťou.

Výsledky dosiahnuté po SM-1

Po prvej oprave optiky HST prišlo obrovské množstvo zaujímavých výsledkov a úžasných objavov. Pre nedostatok priestoru nie je možné uviesť všetky, nito vysvetľovať, čo priniesli. Pokúsim sa teda aspoň predstaviť čosi z mojich vlastných programov a zdôrazniť ich hlavný prínos.

Niekteré moje výskumné programy

Počas celej mojej kariéry ma fascinovala blízka hmlovina v Orióne, kde sa rodia nové hviezdy. Predovšetkým preto, že ide o najbližšiu oblasť zrodu hmotných hviezd. Predstavuje preto najlepšiu príležitosť skúmať fyzikálne procesy, ktoré v prostredí zaplnenom prachom a plynom prebiehajú. Dokonca ešte pred SM-1 sme v malej oblasti hmloviny Orión objavili protoplanetárne disky. Priviedlo nás to k preskúmaniu celého jasného jadra hmloviny a vysvetleniu rôznych foriem takýchto objektov, označených ako proplody. Druhou oblasťou môjho dlhoročného záujmu sú planetárne hmloviny (čo je zavádzajúci historický názov, ktorý sa zrodil preto, že prvý objavený útvary tohto typu „sa tvári“ ako planéty Urán a Neptún). Sú to však plynové obaly hviezd podobných Slnku, vyvrhnuté v záverečných štadiách ich vývoja, keď po vyčerpaní vodíkového a héliového paliva dôjde ku kolapsu jadra a vzniku bieleho trpaslíka. Najbližšou jasnou planetárnu hmlovinou je NGC 7293 (Helix Nebula). Pretože je blízko, môžeme sledovať, ako vyvrhnutý hviezdný

materiál vytvára zhluky plynu a prachu, ktoré sú potom vstrekané do difúzneho plynu v našej Galaxii. Výsledkom štúdie hmloviny Helix bolo zistenie, že takéto zhluky možno nájsť v najbližších (a najviditeľnejších) planetárnych hmlovinách. Znamená to, že plyn, z ktorého sa tvoria nové hviezdy obsahuje tiež zhustenia materiálu, z ktorých sa môžu rodiť nové planéty.

Zrejme najvýznamnejšie objavy HST

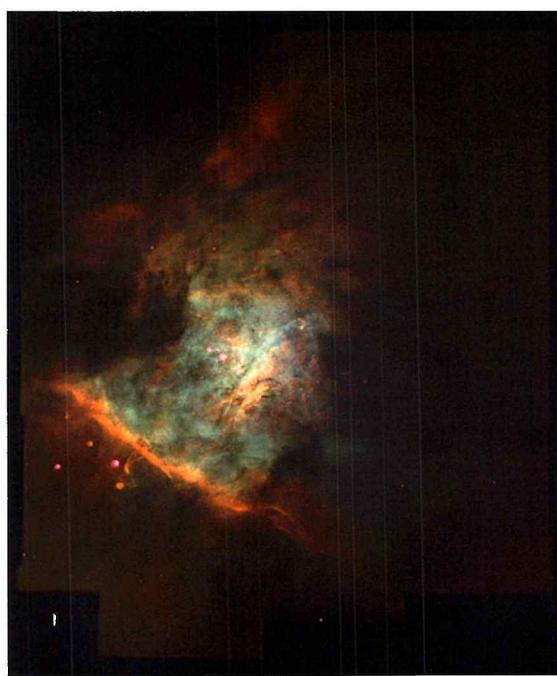
Hviezdotvorba. Raný výskum autora urobený v hmlovine Orión viedol k veľkému počtu podobných výskumov, ktoré sa zaoberajú inými oblasťami našej galaxie, kde vznikajú hviezdy. Vynikajúcim príkladom je Eta Carinae. Podobne ako v prípade Oriónu vyšlo najavo, že nové hviezdy sú nielen obklopené diskami materiálu, ale že z nich veľkou rýchlosťou uniká vysoko usmernený plyn vyvrhovaný kolmo k disku. Tento proces teraz môžeme sledovať aj v hmlovinách, ktoré sú až miliónkrát vzdialenejšie.

Supermasívne čierne diery.

Na snímkach jadier väčšiny rotačne symetrických galaxií je možné nájsť vysokú koncentráciu hviezd. Vzájomné gravitačné pôsobenie viditeľných hviezd však nemôže udržať toto hviezdné zoskupenie pokope. Túto dilemu je možné vyriešiť za predpokladu, že vnútri jadra galaxie sa ukrýva supermasívna čierna diera. Táto interpretácia bola potvrdená spektrami hviezd získanými HST, ktoré ukázali, že ich rýchlosť vyžadujú prítomnosť masívneho objektu, ktorý neprodukuje veľa svetla.

Spresnenie škály vzdialenosí vo vesmíre.

Škála vzdialenosí vo vesmíre sa zvyčajne vy-



Rovnako ako väčšina nových a výkonných dalekohľadov, aj HST si ako jeden zo svojich prvých cielov vzal na mušku hmlovinu v Orióne. Táto mozaika z desiatich rôznych po- hľadov ukazuje najjasnejšiu oblasť hmloviny.



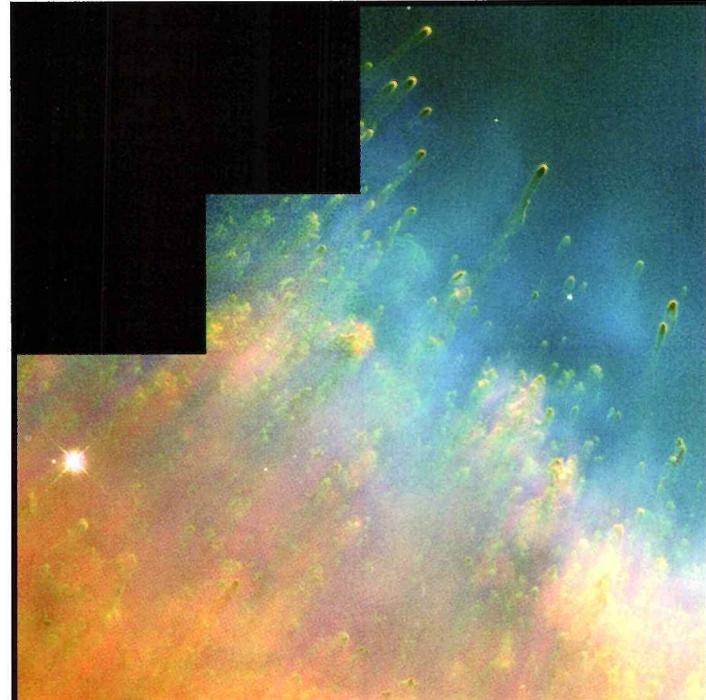
HST ako prvý dalekohľad zobrazil disky plynu a prachu, ktoré obklopujú novo vznikajúce hviezdy. Vzhľad týchto proplodov, ako tieto disky nazvali, závisí na ich vzdialenosí od najhorúcejších hviezd v Orióne. Dva jasné objekty na obrázku sú v blízkosti horúcich hviezd, zatiaľ čo tmavý objekt sa nachádza ďalej. Prvé dva objekty sú dobre vidieť, pretože plyn v ich diskoch odráža svetlo z hviezdy, zatiaľ čo prach v temnom objekte vráha tieň proti jasnému pozadiu hmloviny.



Planetárna hmlovina NGC 7293 Helix bola jedným z objektov, ktoré autor pomocou HST skúmal. Tento obrázok je mozaikou zloženou zo snímok HST (vnútorný jasný prstenc) a dalekohľadu na Cerro Tololo Interamerican Observatory (vonkajšie nejasné oblasti).

jadruje ako Hubblova-Lemaitreova konštantá, vyjadrujúca narastanie červeného posunu vzdialenosťí galaxií ako funkciu ich vzdialenosťí. Pôvodne bola známa ako Hubblova konštantá, nedávno k nej však pripojili meno Georges LeMaitrea. Zistilo sa totiž, že Lemaitre určil tento vzťah už pred Hubblokom a uznaniu tohto faktu zabránila iba dezinterpretácia jeho práce. Pre blízke galaxie je Hubblova-LeMaitreova konštantá určená cefeidami, pričom

táto metóda sa vďaka HST rozšírila na väčšie vzdialenosťí. Aby sme sa dostali za hranicu, ktorú poskytujú cefeedy, potrebujeme zdroje s ešte vyššou svietivosťou. Túto úlohu splnili supernovy typu Ia. Keďže svietivosti týchto explodujúcich hviezd v maxime sú rovnaké, ako ukázalo štúdium galaxií so známymi vzdialenosťami zistenými pomocou cefied, sú vhodnými štandardnými sviaciami. Tieto supernovy môžeme vidieť v oveľa väčších vzdialenosťach,



Pre vnútorné hranice hmloviny Helix sú charakteristické tisícky zhľukov plynu a prachu. Spolu tvoria asi jednu desatinu celkového materiálu vyvrhnutého z kolabujúcej centrálnej hviezdy.

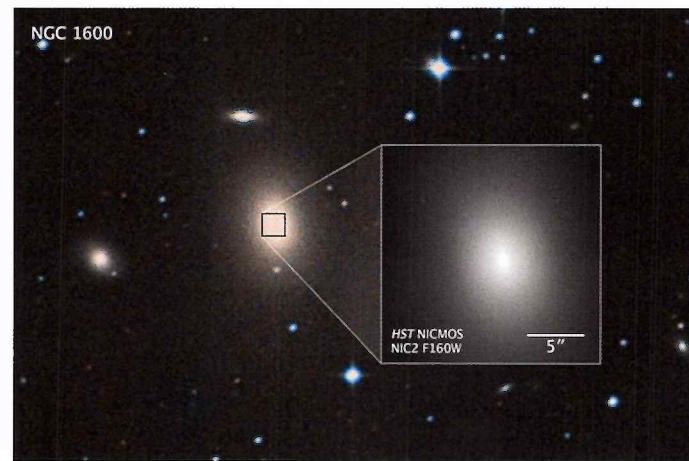
určitosť zvyšuje, pretože nájst supernovy v ich hostitelských galaxiách je náročnejšie.

Zijeme v rýchľujúcim sa vesmíre!

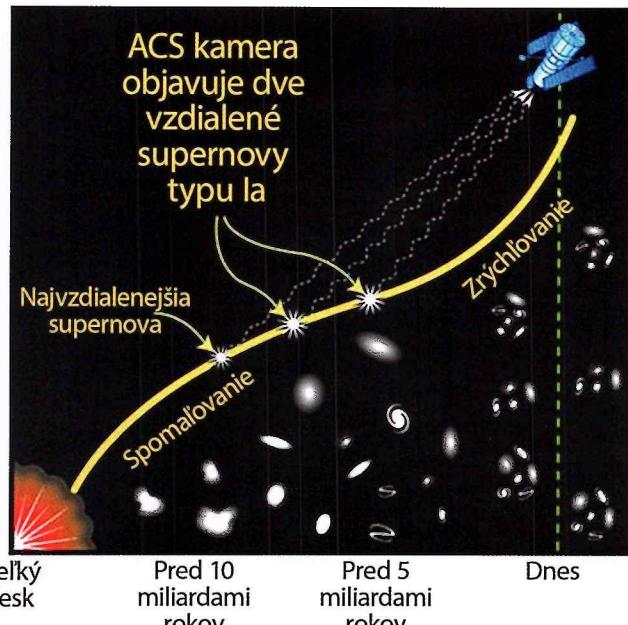
Prvú Nobelovu cenu za výsledky získané pomocou HST udelili za zistenie, že vesmír sa nielenže rozpína, ale že toto rozpínanie je v súčasnosti rýchlejšie, než ked' bol vesmír mladší. Tento výsledok je v rozpore s intuitívnym predpokladom. Ak by sa vesmír rozširoval balisticky, očakávali by sme, že sa rýchlosť jeho expanzie spomalí. Hypotéza prítomnosti veľkého množstva skrytej tmavej hmoty by toto spomalenie podporila. Výsledky výskumu svedčia o tom, že rozpínanie vesmíru sa v skutočnosti zrýchľuje, spôsobili prehodno-



Táto snímka HST zobrazuje iba malú časť obrovskej oblasti pri Eta Carinae, kde sa tvoria nové hviezdy. Ukazuje, že aj tu prebiehajú rovnaké procesy ako v hmlovine Orión. Hoci Eta Carinae leží tiež v našej Galaxii, je cca šesťkrát vzdialenejšia. Na rozdiel od hmloviny Orión, ktorá leží prakticky v rovine oblohy, tento pohľad ukazuje Eta Carinae takmer zboču. Umožňuje nám preto vidieť výtrysky unikajúce z diskov, obklopujúcich vznikajúce hviezdy a početné proplody.



Od elliptickej galaxie NGC 1600 so superhmotnou centrálnou čiernou dierou nás delí 200 miliónov svetelných rokov. Lavý panel ukazuje, že pozemské prístroje (Digital Sky Survey) nemôžu zobraziť kompaktné jadro hmloviny, zatiaľ čo HST to dokáže (NICMOS je infračervená kamera na palube HST). Vysoké rýchlosťi hviezd pohybujúcich sa v blízkosti jadra vysvetľujú enoromnej hmotnosti supermasívnej čiernej diery, ktorá má cca 17 miliárd M_{\odot} .



Tento obrázok ukazuje rýchlosť rozpínania vesmíru v rôznych okamihoch vývoja vesmíru, zistených z časov dopadu svetla od objektov, detegovaných HST, na Zem. Porovnanie rýchlosť expansie vesmíru v rôznych okamihoch ukazuje, že v súčasnosti sa táto rýchlosť zvyšuje, pričom od veľkého tresku mohlo uplynúť maximálne 13,8 miliardy rokov.

tenie základných rovníc pre modely vesmíru. Z hľadiska relativistických modelov vesmíru si toto zrychlenie vyžaduje energiu, a to aj bez prítomnosti tmavej energie.

Galaxie sa vyvíjajú ako vesmír starne.

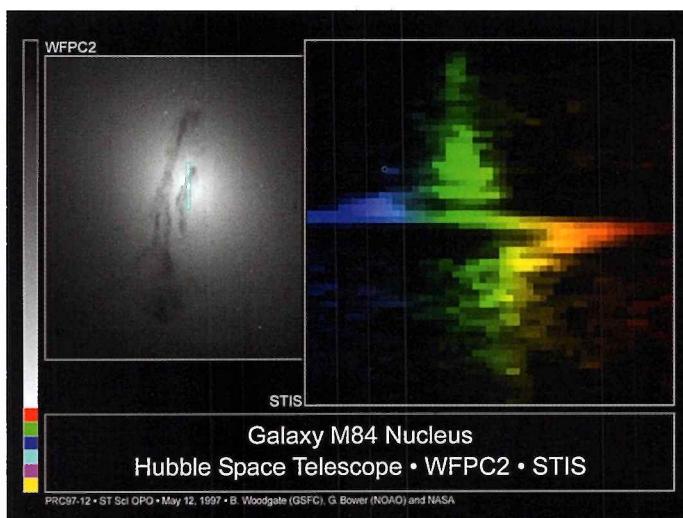
Kozmologická teória veľkého tresku nám hovorí, že skorý vesmír tvorila horúca plazma. Nemôžeme dúfať, že niekedy dokážeme pozorovať vesmír skôr, než keď mal cca 380 000 rokov. Svetlo sa začalo voľne šíriť až po tomto období, keď plyn dosiahol teplotu povrchu Slnka (3000 K). Dnes teda detegujeme svetlo

emitované až po tom, čo sa vďaka červenému posunu zmenilo na rádiové vlny, čiže na žiarenie kozmického pozadia s teplotou 2,7 K. Preto v skutočnosti vidíme vesmír, keď bol veľmi mladý a rýchlo sa ochladzoval. Vďaka počiatočným nehomogenitám hustoty plynu po veľkom tresku začali vznikať superhmotné hviezdy a galaxie, ktorých svetlo detegujeme. HST dokázal dohliadnuť až do obdobia formácie prvých galaxií, lebo prenikol až na hranicu detegovateľnosti extrémne slabých objektov. Zo snímok, ktoré získal, vypĺňa, že prvé galaxie boli veľmi rozptýlené a malé, ale postupne,

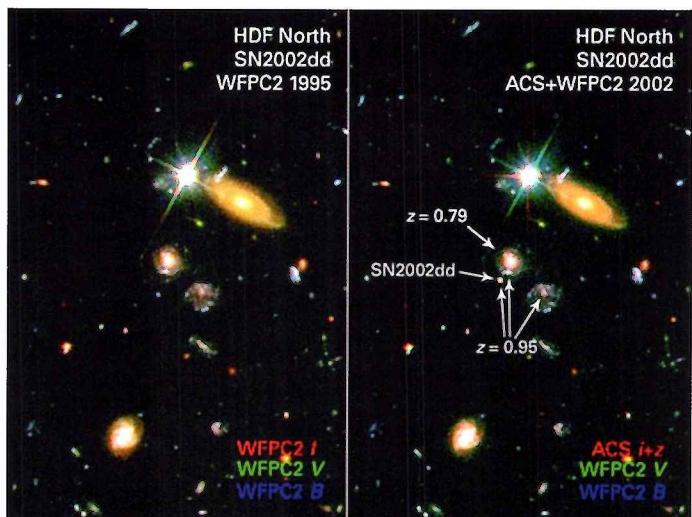
vďaka ich rotácií a vlastnej gravitácii, sa stávali viac symetrické. Galaxie sa začíiali zväčšovať, zrážať a spájať (lebo v ranom vesmíre boli všetky objekty k sebe bližšie). Jasné galaxie, ktoré nás dnes obklopujú, sú produkтом evolúcie, a snímky Hubblovho hlbokeho pola nám ukazujú vesmír za posledných 10 miliárd rokov.

Prof. C. Robert O'Dell, Vanderbilt University, Nashville, Tennessee, USA

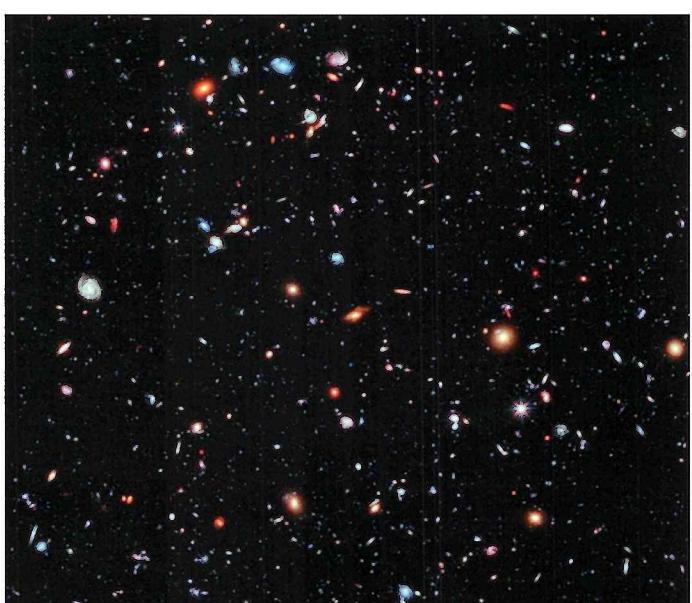
(Písané exkluzívne pre Kozmos. Dokončenie nabudúce)



Na ľavom paneli je snímka blízkej eliptickej galaxie M84 (NGC 4374) získaná HST. Pravý panel ukazuje spektrum podlhovastého pola zobrazeného na ľavom paneli. Vertikálna os v spektri zodpovedá rôznym oblastiam pozadia a vodorovná os ich radiálnym rýchlosťam. V hornej a dolnej časti štrbinu možno vidieť malú zmenu v rýchlosťi v dôsledku rotácie vnútornnej časti galaxie. Skokové zvýšenie rýchlosťi blízko centrálnej oblasti dokumentuje rýchlu rotáciu materiálu okolo supermasívnej čiernej diery v centre M84. Obrázky z HST ukazujú prúdy plynu, unikajúce vysokou rýchlosťou z čiernej diery.



Na oboch paneloch vidno tú istú malú oblasť Hubblovho hlbokeho pola (Hubble Deep Field North); cieľom tohto záberu je skúmať galaxie nachádzajúce sa v nebývalých vzdialostiach od nás. Obrázok vľavo vznikol v roku 1995, druhý v roku 2002, pričom „z“ je hodnota červeného posunu určených galaxií. Šípka smerujúca k SN2002dd ukazuje pozíciu supernovy, ktorá sa objavila medzi rokmi 1995 a 2002. Skoršia kalibrácia tvaru svetelnej krivky pri náraste a poklese jasnosti supernovy s jej svietivosťou umožňuje určiť jej vzdialenosť od materskej galaxie a teda aj vztah červeného posunu a vzdialosti (čiže rýchlosť rozpínania vesmíru).



HST strávil stovky hodín zobrazovaním malej oblasti severnej oblohy, kde už neprekáža svetlo hviezd Mliečnej dráhy. Každý ešte rozoznateľný útvar je galaxia, pričom čím slabšie tento útvar vidno, tým je v prie- mere galaxia vzdialenejšia. Schopnosť HST detegovať slabé objekty s vysokým rozlišením astronómom umožňuje sledovať vývoj galaxií až do obdobia krátko po veľkom tresku.

Apollo 14 Blúdenie na Sahare

V auguste 1970 priali do nemeckého Stuttgarta štyria Američania. Odtiaľ ich odviezli do Nördlingenu. Práve tam pred miliónmi rokov dopadol asteroid (Nördlinger Ries), ktorý po sebe zanechal úctyhodný kráter s priemerom 20 km. Štyria Američania, napospol skúšobní piloti, mali v tomto kráteri stráviť niekoľko dní. S cieľom naučiť sa rozoznávať typické horniny v impaktných kráteroch a v ich blízkom okolí.

Dvaja z amerických návštěvníkov Nördlingenu mali o rok neskôr pristáť na Mesiaci a preskúmať impaktné krátery v oblasti pristátia. Ďalší dva boli ich náhradníkmi.

Prvý let po Apolle 13

Alan Shepard sa stal v roku 1961 prvým Američanom, ktorý sa dostal do kozmu. Jeho cesta s lodou Mercury (nosič Redstone 3) trvala iba 15 minút. Nedostal sa ani na obežnú dráhu okolo Zeme. (Gagarina napodobnil o rok neskôr aj John Glenn.) Shepard mal potom tažkosti s vnútorným uchom, takže medzi astronautov sa vrátil až v roku 1969. Pôvodne mal letieť už s Apolom 13, vedenie NASA však usúdilo, že po takom dlhom výpadku mu pári mesiacov tréningu navyše nezaškodi.

Posádka Apollo 14 bola najstaršou a najmenej skúsenou posádkou. Veliča Shepard mal 47, pilot pristávacieho modulu Edgar Mitchell 40, pilot samotnej lode Stuart Roosa 37 rokov. Mitchell a Roosa boli úplnými nováčikmi. Shepard, ako vieme, strávil v kozme počas suborbitálneho (balistického) letu iba 15 minút 23 sekúnd. Veličskú kabínu Kitty Hawk pomenovali po mieste ležiacom na atlantickom pobreží Severnej Karolíny, kde sa bratom Wrightovcom po prvý raz podarilo odpútať sa od Zeme po-

mocou motorového lietadla. Pristávací modul Antares doslova meno podľa hviezdy zo súhvezdia Škorpióna. Po nehode Apolla 13 urobili inžinieri niekoľko zmien na servisnom module. Vylepšili najmä zásobovanie kyslíkom a lepšie bezpečili aj kyslíkové nádrže. Modul Antares mal pristáť na vysočine Fra Mauro, ktorú sformovali vyvrhnuté horniny po dopade asteroidu, do Mora dažďov. Pôvodne tam malo pristáť už Apollo 13.

Až keď zmizla búrka

V deň štartu, 31. januára 1971, panovalo nad Floridou veľmi zlé počasie. Čakalo sa na ústup frontu s búrkami, lebo všetci si ešte pamäťali, ako krátko po štarte Apolla 12 doň udrel blesk, ktorý spôsobil dočasný výpadok viacerých palubných systémov.

Tentoraz štart prebehol hladko. Apollo 14 sa usadilo na obežnej dráhe okolo Zeme, odkiaľ ho mal tretí stupeň rakety Saturn vyniesť na trajektóriu k Mesiacu. Manéver, pomocou ktorého sa loď Kitty Hawk mala spojiť s modulom Antares, sa však nedaril; Roosa sa oň pokúšal celých 100 minút. Márne. Až potom, čo riadiace stredisko na Zemi povolilo spustiť aj motory lode Kitty Hawk, sa spojenie podarilo. Neskôr už systém pracoval spoľahlivo. Iné problémy sa objavili až na obežnej dráhe okolo Mesiacu. Po odpútaní modulu prijal palubný počítač chybné signály. Ak by sa opakovali aj po zapojení pristávacieho motora, počítač by manéver automaticky vypol. V takom prípade by sa štvornohá pristávacia jednotka



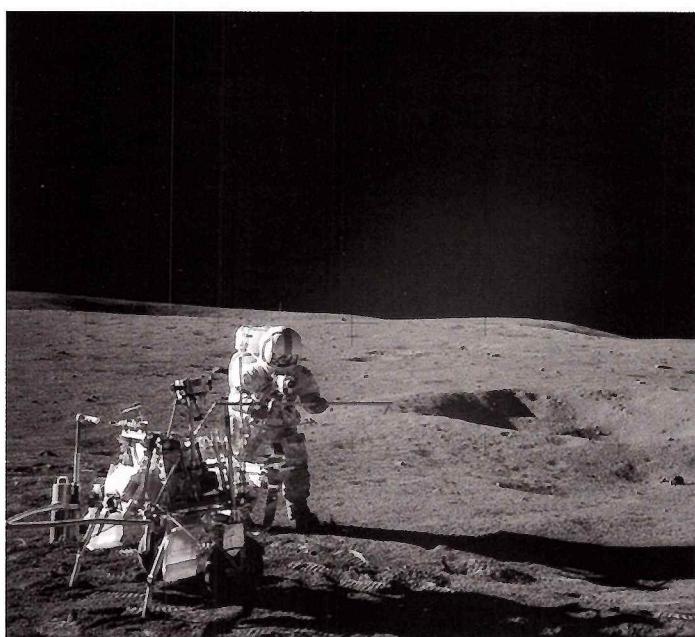
Tréning astronautov v impaktnom kráteri Nördlinger Ries. Na snímke Alan Shepard spolu s vedcami pri určovaní vzoriek hornín.

odpútalá od modulu Antares a astronauti by sa vrátili na velenísku lod.

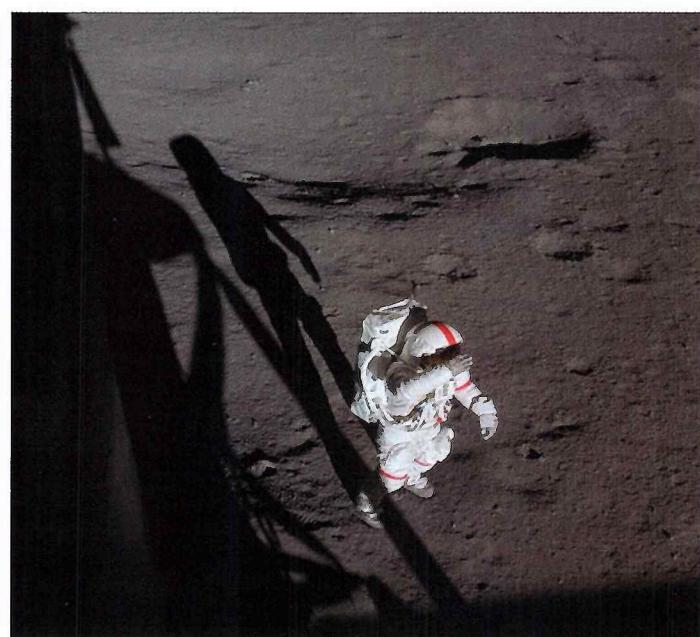
Inžinieri v Houston však našli riešenie: preprogramovaním počítača na module sa falošné signály ignorovali a nový kód poslali na Antares. Mitchell dokázal v tiesni do palubného počítača spoľahlivo naťukať všetky zmeny. Motory sa na poslednú chvíľu zapálili. Vzápäť museli astronauti riešiť aj problémy s pristávacím radarom.

Hamaky na Mesiaci

Prvý pohľad na ľahko zvlnenú krajinu v okolí miesta pristátia astronautov neveľmi nadchol. Sivá farba možno iba zdánlive prechádzala do hnedastej a naopak. Okamžite po pristáti rozmiestnili okolo modulu vedecké prístroje. Počas prvej vychádzky strávili v teréne vyše päť hodín. Okrem vylepšeného prístroja ASLEP inštalovali astronauti rad menších meracích prístrojov.



Mobilný „servisný stolík“ na Mesiaci: Alan Shepard montuje prístroj, pomocou ktorého naberie horniny z vrstvy tesne pod povrchom.



Alan Shepard na snímke Edgara Mitchella cez okno pristávacieho modulu. Astronaut si rukou zacláňa oči pred svetlom nízkeho Slnka.

Jedným z experimentov bolo odpálenie niekoľkých náloží s cieľom zmerať otrasy povrchu, a celých 21 hodín sa zaznamenával aj dopad častic slnečného vetra. Po prvom nasadení vonku sa astronauti vrátili do modulu a pospali si v závesných lôžkach – v hamakoch. Takýto pozemský komfort ich predchodcovia na Mesiaci nemali.

Počas druhej vychádzky mali nazbierať vzorky mesačných hornín na okrajovom vale nedalekého kráteru Cone s priemerom 300 m a hĺbkou 40 m. Až ku kráteru sa však nedostali. To vysvitlo až v roku 2009, po analýze snímok americkej sondy Lunar Reconnaissance Orbiter. Do istej miery to zavinil nevydarený servisný vozík MET (Modular Equipment Transporter) so samostatným pohonom. Kolieska tohto vozidla pri prvom nasadení v mesačnom prachu viazli, takže astronauti ho museli vlastnými silami potískať alebo tăhať, čo spôsobilo nepredvídanú stratu času i energie.

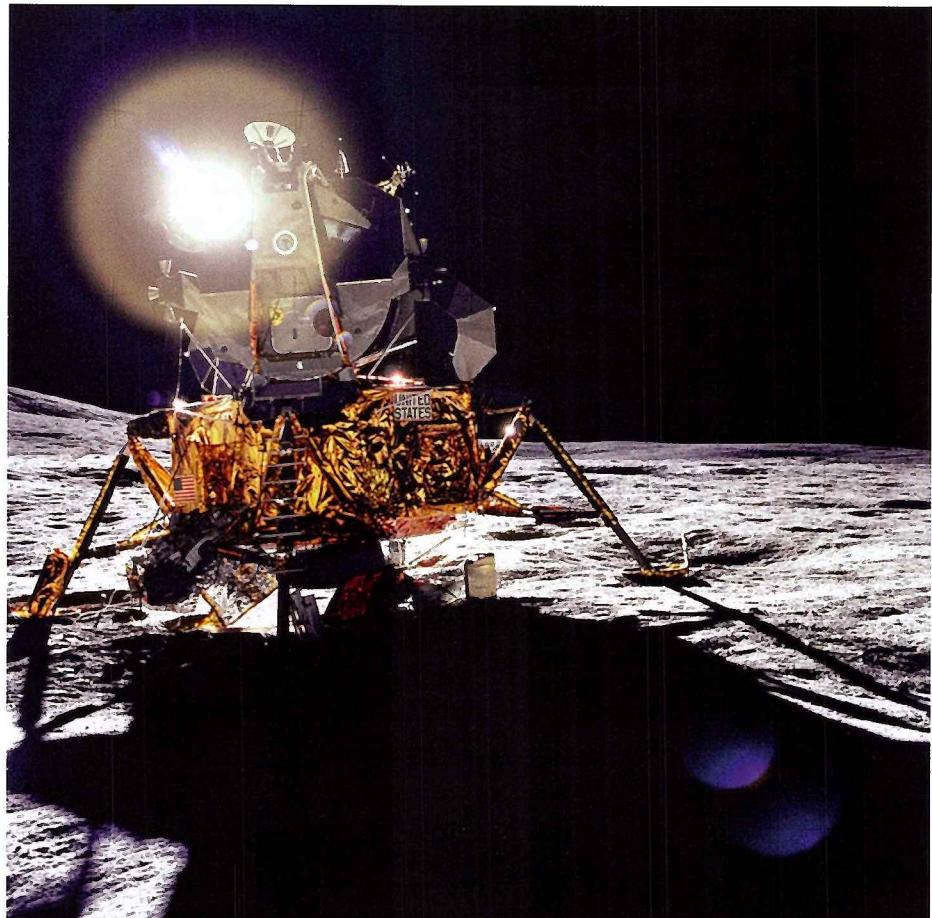
Astronauti navyše aj trochu blúdili. Na Mesiaci je orientácia oveľa fažšia ako na Zemi. Na preknanie vzdialenosť 3 km potrebovali takmer 4 a pol hodiny.

Golf ako nové odvetvie kozmonautiky?

Shepard sa na konci druhej vychádzky stal prvým golfistom na Mesiaci. Dve golfové loptičky odpálil pomocou palice, ktorú zmajstroval z rúčky jedného z vedeckých prístrojov a železnej gule, ktorú do lode prepašoval. Loptičku ako-tak trafil, hoci skafander mu zabránil, aby úder previedol tak, ako sa na skúseného golfistu patrí – obojručne.

Shepard: „Jednou rukou som loptičku dobre netrafil, takže preletela sotva sto metrov. Bez skafandra, oboma rukami a po plnom zásahu by na Mesiaci zaletela až za horizont.“ Podľa iných zdrojov letela loptička vyše 300 m.

Návrat na Zem prebehol hladko. Deviateho februára 1971 dopadla loď Apollo 14 do Pacifiku, iba 7 kilometrov od lode amerického námorníctva New Orleans. Neskôr sa ukázalo, že to bolo najpresnejšie pristátie zo všet-

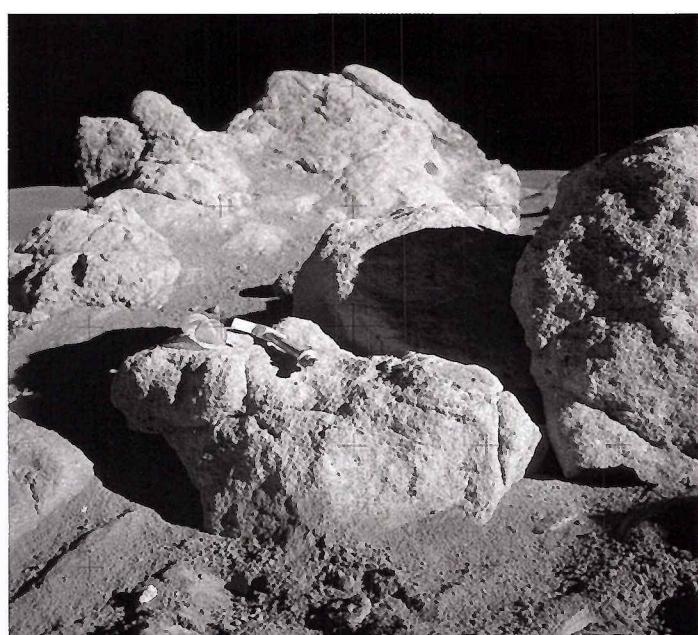


Pristávací modul Antares v slnečnom svetle. Snímku astronauti expoňovali počas prvej vychádzky.

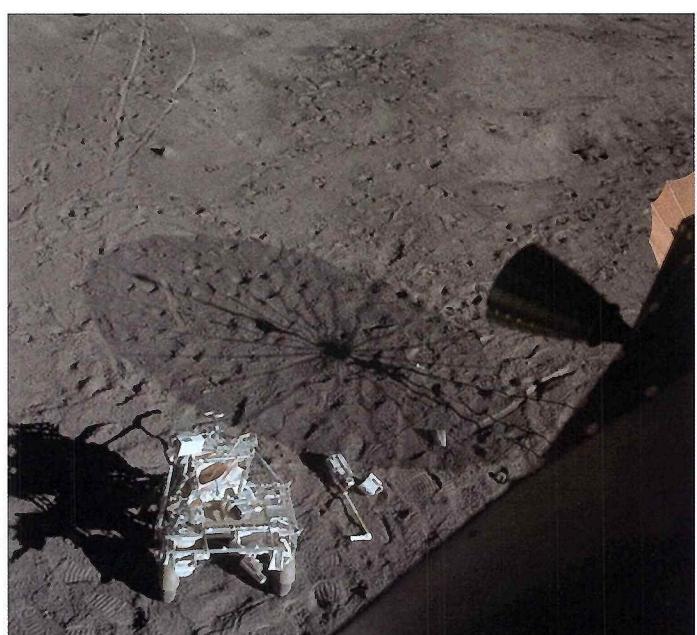
kých misií Apollo. Astronauti si po pristáti navliekli ochranné obleky a nasledujúcich 16 dní museli stráviť v karanténe. Nijaké lunárne vírusy však na Zem nepriviezli, podobne ako ich predchodcovia, takže pri ďalších misiach sa už od karantény upustilo.

Výsledky misie Apollo 14 vedcov príliš nenadhli. Napriek tomu, že inštalované prístroje dodávali z Mesiaca na Zem veľa zaujímavých

údajov. Napríklad jeden zo seismometrov zaznamenával „lunotrasenie“ zakaždým, keď sa Mesiac najviac priblížil k Zemi. Podľa vedcov sa takto prejavili slapové sily Zeme; 43 kg hornín, ktoré v Mori dažďov nazbierali, je podľa planetológov starých až 4 miliardy rokov. Blúdenie astronautov a to, že nedosiahli okraj kráteru Cone, však vedci vyhodnotili ako neúspech.



Kamene okolo kráteru Cone, nedaleko miesta pristátia modulu lode Apollo 14. Geologické kladivo slúži ako mierka.



Servisný vozík, ktorý sa na povrchu Mesiaca neosvedčil. Vedľa neho leží kamera.

Apollo 15 Vedecký prelom

Po nevelmi presvedčivom výkone misie Apollo 14 stalo sa Apollo 15 prvou misiou s rozšíreným vedeckým profilom. Vylepšený lunomobil (Lunar Roving Vehicle) rozšíril možnosti posádky v rámci predĺženého pobytu. Vozidlo vtipne „prilepili“ na vonkajšiu stranu pristávacieho modulu Falcon (Sokol). Vylepšené boli aj skafandre astronautov. Umožňovali im dlhodobejší pobyt v kozme i väčšiu pohyblivosť.

V marci 1970 zverejnila NASA mená posádky. Veliteľom sa stal David Scott, ktorý počas 50. rokov minulého storočia slúžil ako bojový pilot na americkej leteckej základni v Holandsku. Po návrate do USA študoval na renomovanom Massachusettskom technologickom inštitúte (MIT) odbor leteckej a kozmickej techniky. Po promocii v roku 1963 vstúpil do služieb NASA. Neskôr sa stal expertom pre plánovanie misií a navigáciu.

Do vesmíru po prvý raz letel spolu s Neilom Armstrongom v roku 1966 na palube lode Gemini 8. Tejto posádke sa podarilo prvé spoje-

nie s inou kozmickou loďou. Bol to vari najdôležitejší manéver počas lunárnej misie (návrat pristávacieho modulu na obežnú dráhu okolo Mesiaca a spojenie s veliteľskou loďou.) Scott bol v roku 1969 pri tom, keď posádka Apollo 9 testovala na obežnej dráhe okolo Zeme spojenie s veliteľskou loďou.

Počas misie Apollo 15 sa mal Scott konečne dostať na povrch Mesiaca. Ako veliteľ misie. Pilotom veliteľskej lode sa stal Alfred Worden. Zostup na povrch Mesiaca mal pilotovať James Irwin. Obaja boli vo vesmíre nováčikmi. Na kozmickej lodi Endeavour (pomenovali ju podľa slávnej plachetnice kapitána Jamesa Cooka) príbudli okrem výkonnejšej kamery aj viaceré prístroje. Ovela dôkladnejšia bola aj geologickej príprava posádky. Praktické geologickej úkony v rozmanitých terénoch trénovali štrnásť mesiacov.

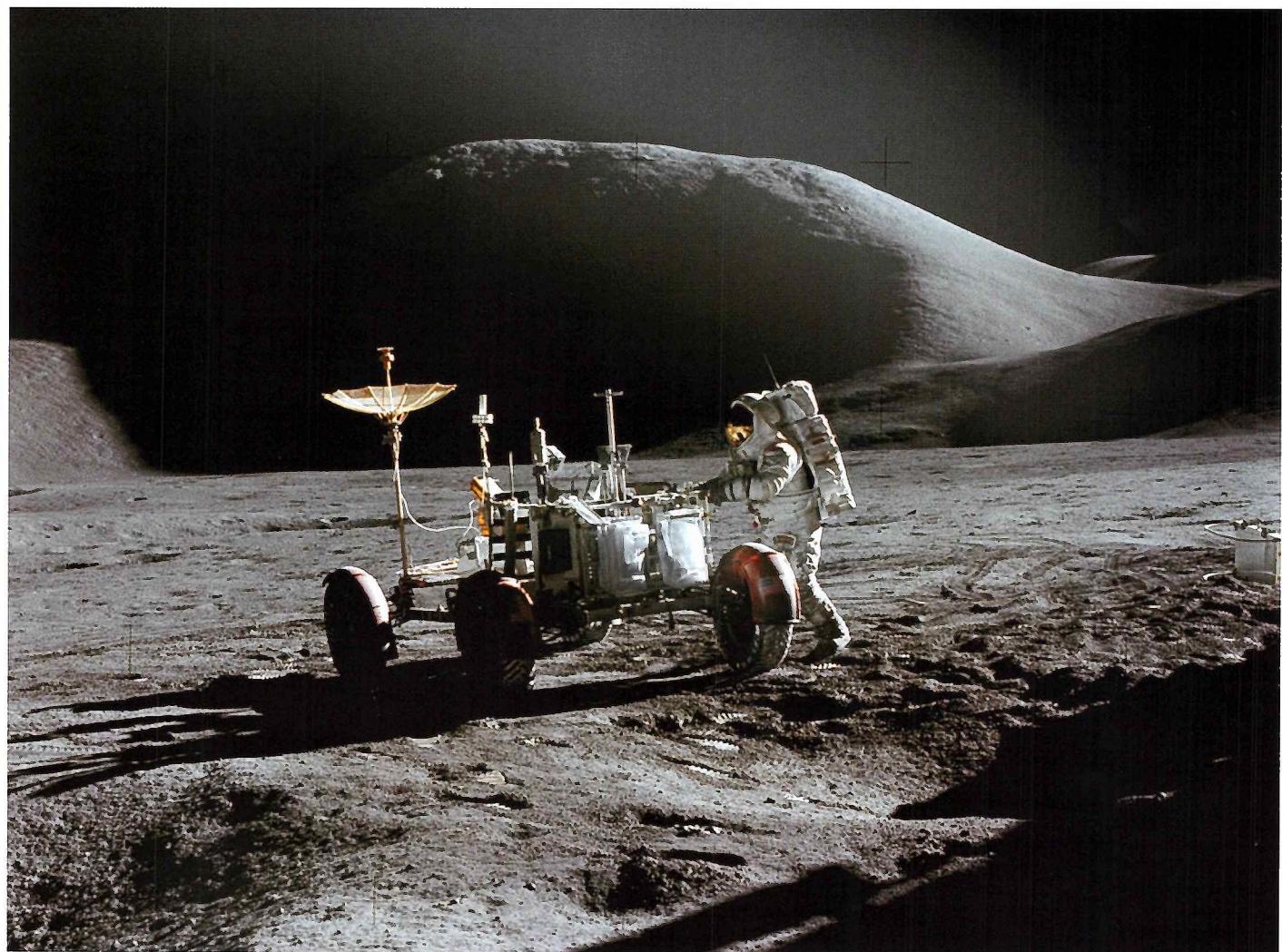
Raketu Saturn priviezli na štartovaciu rampe 11. mája 1971. Štart sa uskutočnil 26. júla 1971. Po 12 minútach už loď krúžila okolo Zeme. Odštartovala tretí stupeň rakety Saturn vynesol na dráhu k Mesiacu.

Medzi údolím a vrchom

Miestom pristátia sa mala stať rovina za východným okrajom Mora dažďov, približne na 26 stupňi severnej lunárnej šírky. Miesto z troch strán obkolesovali pomerne vysoké vrchy. Zo štvrtej strany s ním hraničila takzvaná Hadleyho brázda, niekde až kilometer široké údolie s niekolkými ohybmi. Podobné štruktúry sa vyskytujú aj v iných oblastiach Mesiaca. Planetológovia tvrdia, že ich nevyhlábila voda, ale stekajúca láva. Astronauти mali Hadleyho brázdu preskúmať.

Pristátie 30. júla, napriek hornatému terénu, prebehlo hladšie ako sa očakávalo. Mimochodom: išlo o najriskantnejší manéver zo všetkých misií Apollo, pretože pristávací modul klesal rýchlosťou 2 m za sekundu. Po vypnutí motorov a usadení zviereného prachu sa ukázalo, že Falcon stojí jednou nohou v akejsi jame. Naklonený o 11 stupňov oproti horizontu, ale stabilne.

Astronauти hneď po pristátí uskutočnili krátku prehliadku okolia. Keď Scott otvoril príklop a videl pred sebou reťaz oblých vrchov

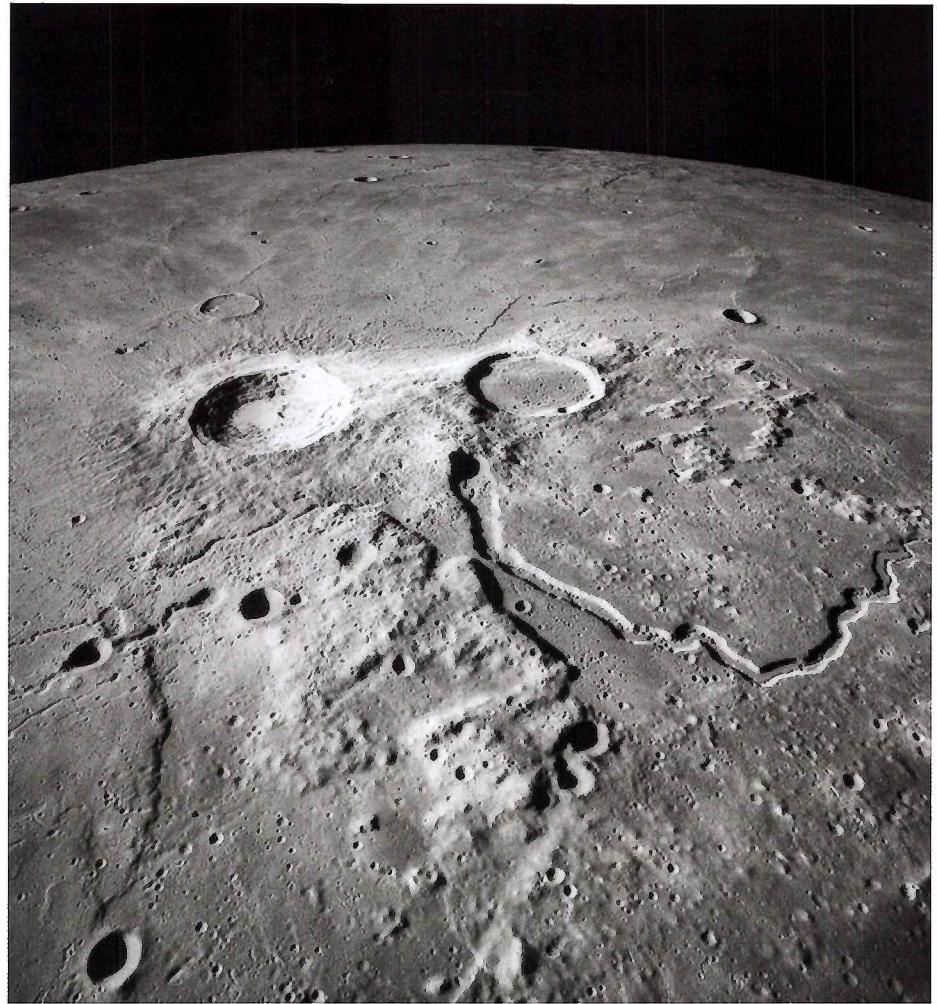


Prvé auto na Mesiaci: tento lunomobil či rover perfektne fungoval.

s najvyšším vrcholom okolo 4000 metrov, iba vzdyhol: „Chlapci, to je teda pohľad...“ Vzápäť vyfotografoval scenériu pomocou 500-mm objektívu. Po 33 minútach sa obhlídka skončila a obaja astronauti sa uložili k spánku. Na rozdiel od svojich predchodcov si mohli vyzliecť skafandre a spať v spodnom prádle. Prvá exkurzia sa začala o niekoľko hodín. Scott neskôr sugestívne opisoval neuveriteľný pocit slobody, ktorý sa ich zmocnil po piatich dňoch, ktoré strávili v tesnej kabíne kozmickej lode. V „luxuse“ pohyboval sa doslova vyžívali. Ked' posádka neskôr poskladala lunomobil, ukázalo sa, že riadenie predných kolies nefunguje. Naštastie, zadné kolesá sa riadiť dali, takže vozidlo bolo použiteľné. Elektromobil ich dopravil na okraj Hadleyho brázdy, k takzvanému Laktu. Bola to dobrodružná jazda. V podmienkach šesťkrát slabšej gravitácie vozidlo po povrchu doslova poskakovalo. Neraď dopadlo iba na jedno koleso. Pri Lakti inštalovali astronauti meracie zariadenie ALSEP. Pokus o zmeranie prúdenia tepla nad povrchom sa však podaril iba raz.

Na protilehlom svahu v miestami až 400 m hlbokej brázde rozlíšili 60 m hrubé vrstvy skamenenej lávy. Ukázalo sa, že brázda bola kedyši tunelom, ktorým istý čas pretekala láva. (Lávové tunely sa vyskytujú aj na Zemi.) Ked' prúdenie lávy ustalo, povrch tunela sa po nejakom čase (možno aj po stovkách rokov) zrútil. Tento proces sa počas nasledujúcich výronov lávy viacnásobne zopakoval, pričom kanál sa zakaždým prehĺbil. Tako vysvetluje pôvod Hadleyho trhliny moderná veda. V časoch Apolla sa vedci nazdávali, že mesačné trhliny vznikali počas otriasov mesačného vnútra.

David Scott bol mužom činu, a napadlo mu zo stúpiť s vozidlom až na dno trhliny. Túto možnosť konzultoval s riadiacim strediskom, povolenie na túto rizikovú akciu však nedostal. Napriek tomu vychádzka trvala šest a pol hodiny.

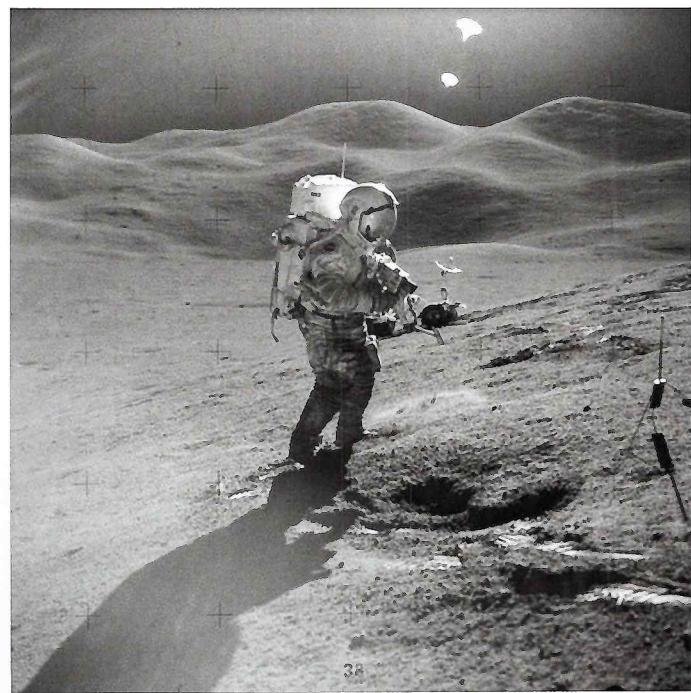


Kráter Aristarchus a Schröderova priekopa na jednej zo snímok kamery Apollo 15.

Genesis Rock

Na druhý deň upevnili americkú zástavu a vydali sa na druhý výlet. Tentoraz k Mons Hadley, vzdialenému 5 km. Pomocou špeciál-

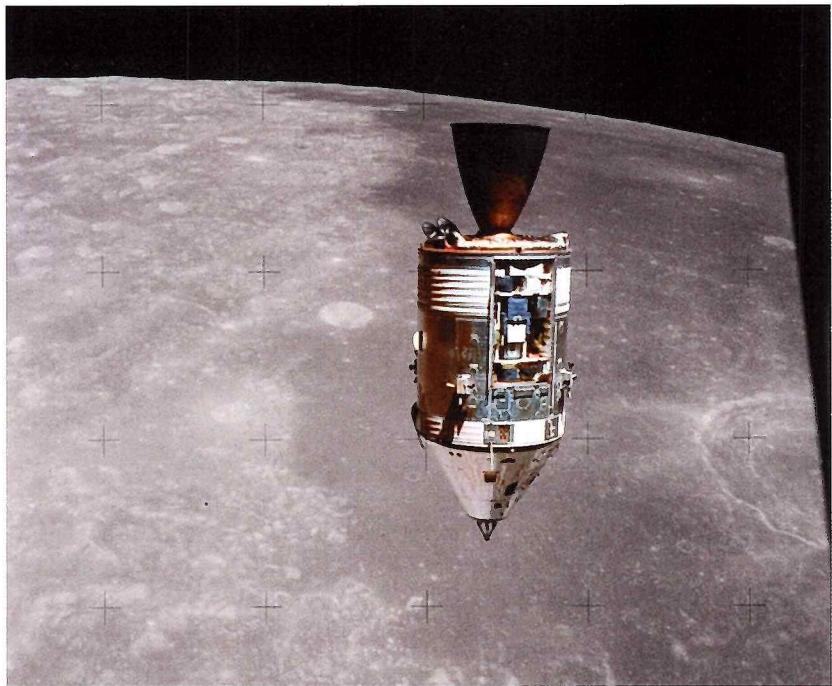
neho vŕtacieho zariadenia získavali cestou spod regolitu vzorky hornín. Táto činnosť im dala zabrať, pretože povrch bol neobyčajne tvrdý. Napriek tomu narazili na vedecky



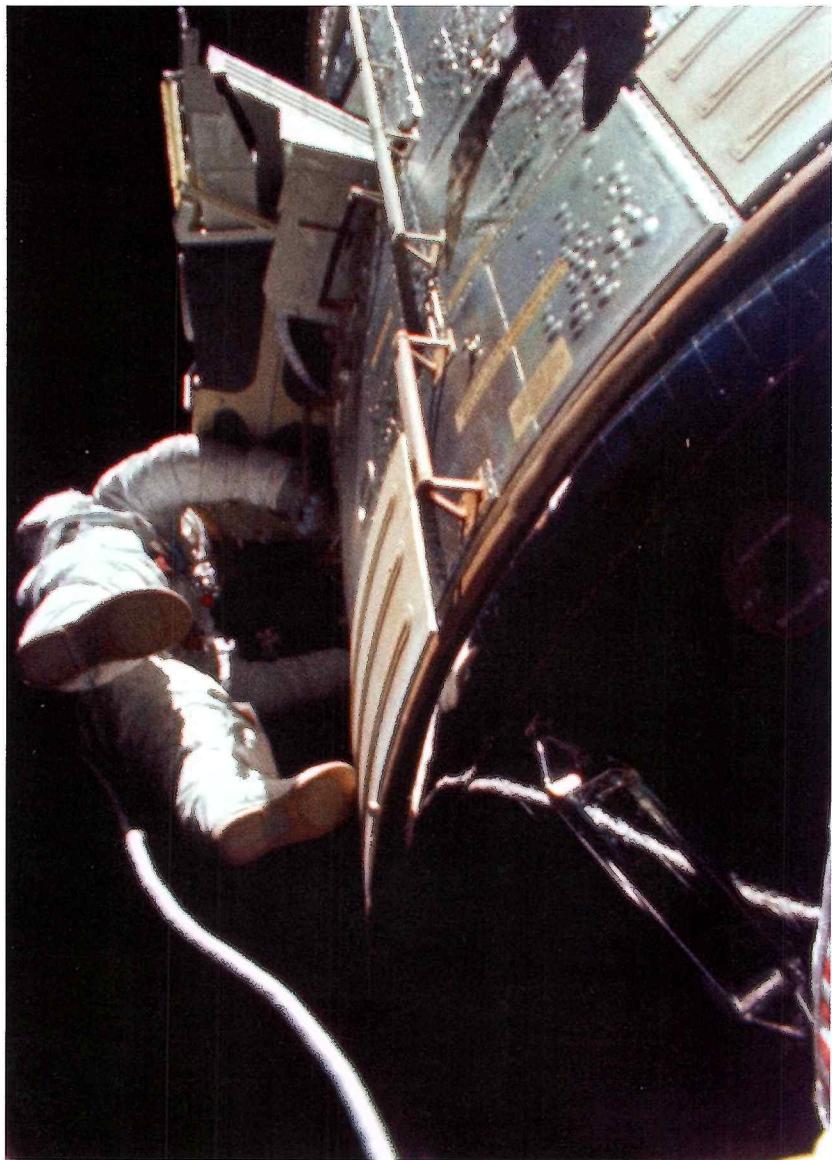
Astronaut David Scott filmuje 70-mm kamerou účiate hory Mons Hadley, vzdialenej 17 km od pohoria Apenine-Mountains v pozadí.



Hrbolaté parkovisko: James Irwin zaparkoval rover na okraji menšieho krátera.



Snímka veliteľskej lode a servisnej jednotky Endeavour z pristávacieho modulu.



Alfred Worden opustil veliteľskú loď počas návratu na Zem. Pri tejto kozmickej výchádzke vybral zo servisného modulu kazety z kamier.

mimoriadne zaujímavú horninu. Scott zrazu zdvihol z povrchu mliečnobiely mesačný kameň a zajašal: „Našli sme niečo, čo sa náramne podobá na anorthosit!“ A naozaj, ukázalo sa, že našiel úlomok najstaršej lunárnej kôry! Genesis Rock, tak kameň pomenovali, má najmenej 4 miliardy rokov. Krátko predtým zberal Irwin aj nápadne zelené kamienky. Sú to v podstate guľôčky skla, vyvetrané zo sivých mesačných hornín. Podľa vulkanológov svedčia tieto guľôčky o dávnych ohnivých fontánach. V čase, keď bol Mesiac ešte mladým, živým, vulkanickým telesom.

Astronauти počas exkurzie neustále filmovali, hoci v NASA ani do vylepšenej kamery vela nádejí nevkľadali. Kamera riadená zo Zeme(!) však získala úchvatné zábery tejto mimoriadne zaujímavej oblasti.

Počas tretej exkurzie sa astronauti vybrali opäť k Hadleyho brázde. S cieľom získať ďalšie vzorky hornín. Po skončení výletu demonstroval Scott pred beziačou kamerou, že vo vákuu, aké panuje na Mesiaci, kladivo i vtácie pierko klesajú rovnako rýchle na povrch. Tak ako sme sa to učili na hodinách fyziky. (Tí, ktorí reálnosť misií Apolla spochybňovali, ešte aj tento experiment označili za trik.) Tieto aktivity trvali bezmála 5 hodín.

Posádka zaparkovala lunomobil tak, aby jeho kamera mohla nafilmovať, ako sa modul dvíha z povrchu Mesiaca. Tento experiment sa však nevydaril. Druhého augusta sa Falcon spojil s veliteľskou lodou Endeavour. Pred návratom, ešte z obežnej dráhy okolo Mesiaca, vypustili astronauti malý satelit PFS-1. Prístroje na tejto minidružici potom vyše 60 dní merali údaje o gravitačnom poli Mesiaca a vysielaли ich na Zem. Počas prenášania a uskladňovania vzoriek a vedeckých náčrtkov z modulu do lode zaznamenali u Irwina poruchy srdečného rytmu. Počas letu na Zem sa jeho tep opäť znormálizoval.

Počas návratu uskutočnil Worden 38 minút dlhú kozmickú prechádzku, počas ktorej „zachránil“ filmový materiál z kamier, inštalovaných na servisnom module. (S početnými snímkami lunárneho povrchu.) Mimochodom: išlo o prvú kozmickú prechádzku inde ako na obežnej dráhe okolo Zeme.

Siedmeho augusta 1971 dopadla loď Apollo 15 do Tichého oceánu. Pomerne tvrdzo, nakoľko jeden z troch padákov sa poriadne nerozvinul. Astronautov zabezpečovala lietadlová loď Okinawa. Posádka priviezla na Zem 77 kilogramov mesačných hornín.

Hlavný zdroj: Bild der Wissenschaft, E. G.



Kultúre sóje sa v umelom médiu s prímesou vzoriek mesačnej pôdy, ktoré astronauti priviezli z Mesiaca, darí dobre.

Aké tajomstvo skrývajú základné stavebné kamene hmoty? 2

Donedávna sa vedci nazdávali, že protóny a neutróny už dôkladne preskúmali. Napriek tomu si s nimi zrazu nevedia poradiť. Pretože sa najnovšie namerané údaje a údaje z nákladných simulácií na počítačoch nezhodujú. Voľačo tu musí byť od samých základov nesprávne.

Prvá časť článku sa venovala najmä problémom okolo presného výpočtu doby rozpadu neutrónu. Druhá časť objasňuje dôležitosť presného zmerania polomeru protónu.

Exotická nová fyzika?

Prvú polovicu tohto článku v 5. čísle *Kozmosu* sme ukončili vetou amerického fyzika Geofreya Greena: „Takto ovplyvňuje dlžka života neutrónu vývoj celého vesmíru.“

G. Green, experimentálny fyzik z Oak Ridge National Laboratory, už dlhé roky vyvíja konkurenčnú metódu spresnenia životnosti neutrónov: „Náš pokus sme robili opakovane, nič sme však nenašli,“ hovorí.

Čo z neúspešných pokusov vyplýva? Bud sa takto prejavuje nová fyzika, alebo vedci precenili presnosť svojich meraní. Ani opakovane „skúšky správnosti“ však také podozrenie nepotvrdili. Neistota panuje aj okolo ďalšieho problému jadrovej fyziky. Vedcov máta aj záhada polomeru protónu.

Všetko sa začalo v roku 2010, keď Randolph Pohl (Paul Scherrer Institut, PSI) a jeho tímov zverejnili v prestížnom periodiku *Nature* výsledky svojho experimentu. Podľa tohto Švajčiara je polomer protónu o 4 % menší ako hodnota, ktorá vo svete platila celé roky.

Pohlov článok kolegov doslova šokoval. Ako je možné, že merania tejto základnej veličiny boli desaťročia také nepresné? Ba čo viac: všetky pokusy o objasnenie tejto záhady skrachovali.

Randolph Pohl, „vynálezca“ protónového problému, je bezradný: „Nijako neviem vysvetliť, kde sa ten rozdiel v meraniach berie.“

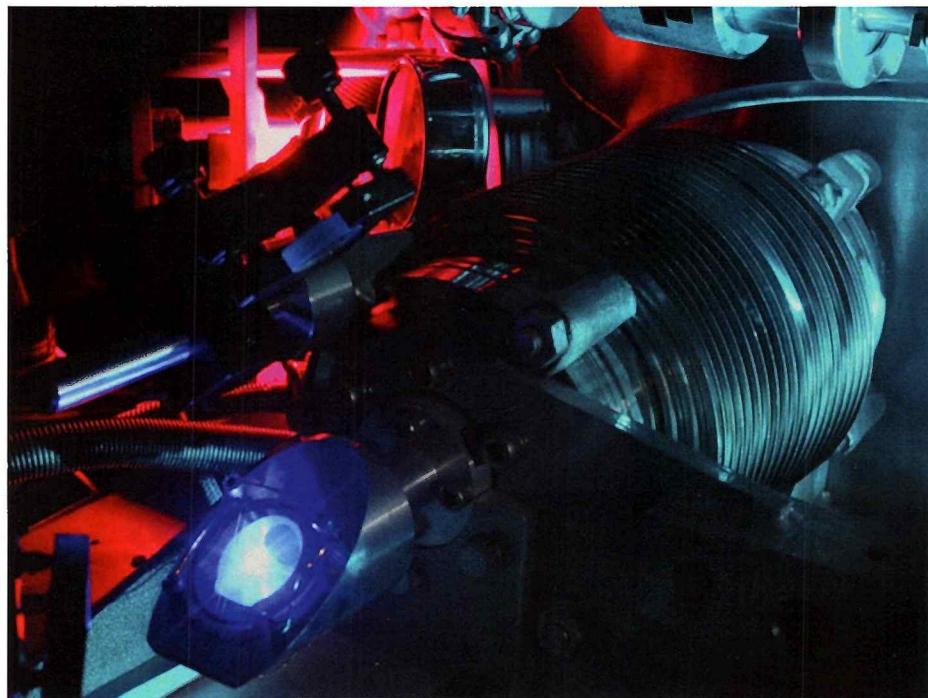
Čo sa vlastne stalo?

Pred rokom 2010 sa polomer protónu určoval dvomi spôsobmi:

- „Spektroskopicky“, v normálnom atóme vodíka, kde okolo jedného protónu obieha jeden elektrón. Ak tento elektrón preskočí z jednej úrovne energie na druhú, vznikne istá spektrálna čiara. Presná hodnota tejto hladiny ener-



Pasca vo fláši. Na Indiana University v Bloomingtone (USA) vyvinul tím okolo fyzika Chen-Yu Lia nádobu, v ktorej vedci dokázali „uväzniť“ ultrachladné neutróny (pomocou magnetických polí a gravitácie) na tri týždne. Vďaka tomu mohli uskutočniť presné merania polčasu rozpadu týchto častíc.



Vysoké náklady pre malé častice. Na to, aby zmerali polomer protónu, musia fyzici v laboratóriu dosiahnuť istý typ prechodu elektrónov medzi vybranými energetickými hladinami v atóme vodíka. Na snímke vidíme vákuové zariadenie, ktoré tieto merania umožňuje. Fialové záblesky v pozadí generujú výboje mikrovln, ktoré molekuly vodíka štiepia na atómy vodíka. Modré svetlo v popredí spôsobuje fluorescenciu UV lasera, ktorý vybudzuje atómy do stavu 2s. Zelenková farba zviditeľňuje rozptýlené svetlo zo sústavy laserov, pomocou ktorých sa meria frekvencia prechodu elektrónov medzi orbitálmi 2s a 4p.

gie závisí od polomeru protónu. Podľa medzinárodnej banky údajov CODATA bol svojho času polomer protónu 0,8768 plus/mínus 0,0069 femtometrov. Väčšiu chybu ako 1 % vedci nepripúšťali.

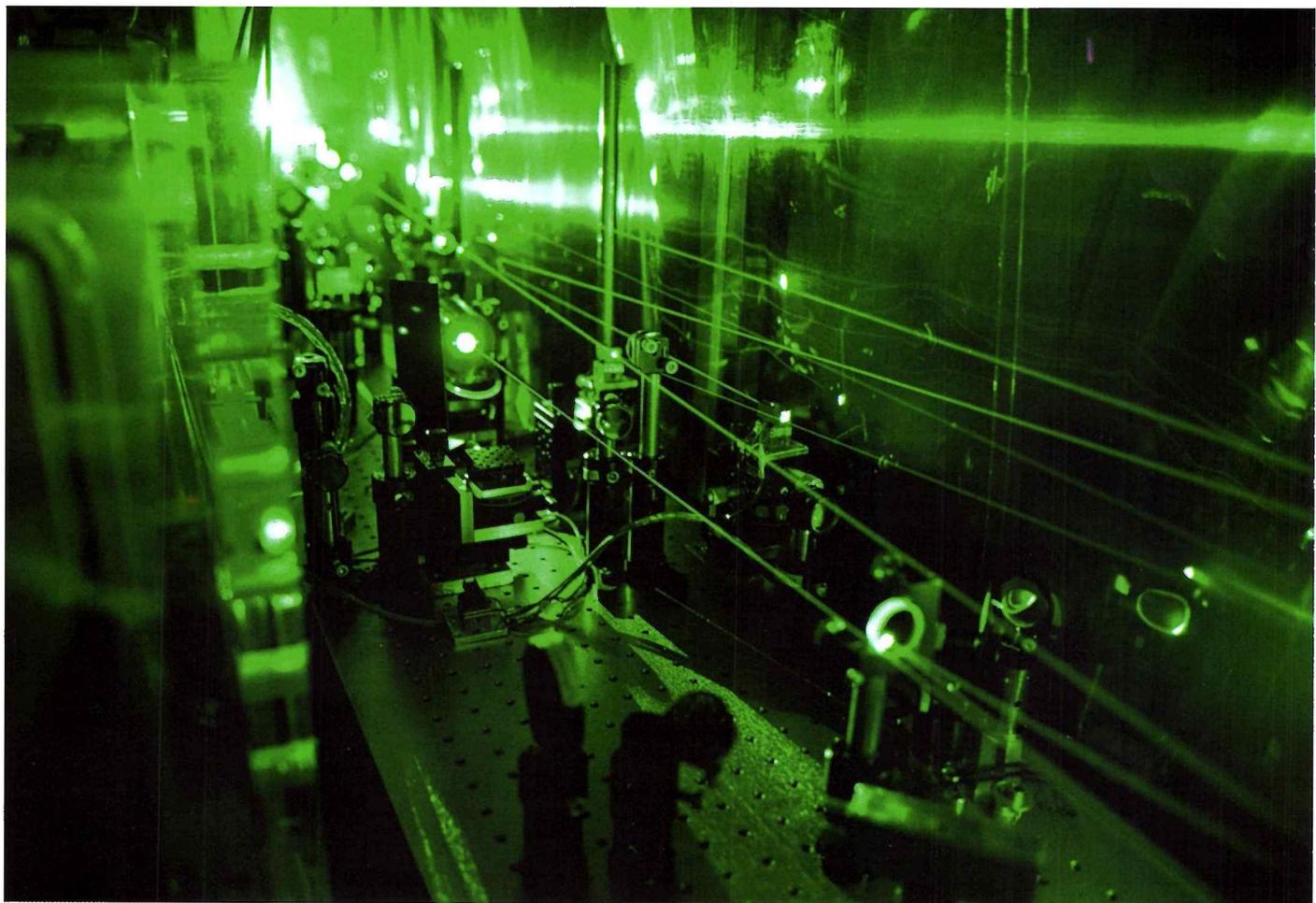
- Ostreľovaním protónu elektrónmi a meraním uhlov, pod ktorými boli elektróny vychyľované. Aj z tohto rozptylového experimentu vzišli podobné hodnoty.

V tom čase bol svet ešte v poriadku. Tím Randolpha Pohla (vtedy ešte na Max Planck-Institut für Quantenoptik v Garchingu) skúšal jeden z variantov spektroskopickej metódy. Namiesto elektrónu vedci vystrelili protónu jeden mión. (Poznámka: Mión je časťica s extrémne krátkym životom. Má rovnaký náboj, ale 207-krát vyššiu hmotnosť ako elektrón. Preto sa úrovne energie miónu posúvajú k „miónovému vodíku“, teda bližšie k jeho protónu ako v prípade normálneho vodíka. Tento fakt zvyšuje presnosť merania veľkosti protónu. Pohlov údaj svet jadrových fyzikov obrátil hore nohami: 0,8409 plus/mínus 0,0004 femtometrov. Čuduj sa svete: nová „miónová“ hodnota bola o 0,05 % presnejšia, ale o 4 % nižšia ako pôvodná hodnota.)

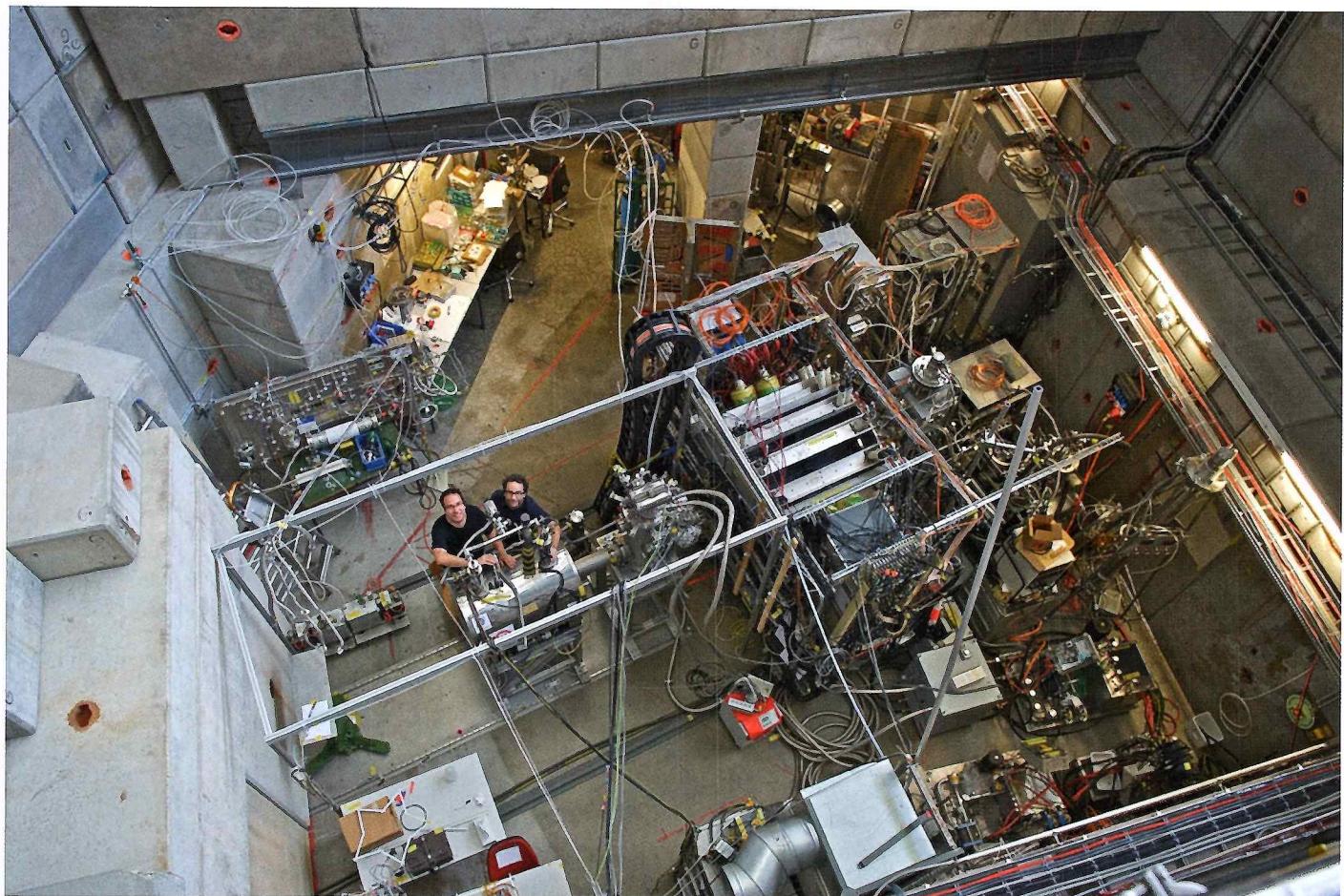
Zmätok neuticha

Odvtedy sa všeličo zmenilo, záhada však zostala. Objasniť sa ju pokúsilo niekoľko tímov:

- Pohlov tím zopakoval v roku 2016 svoj pokus s miónovým deutériom. Teda



Vo svetle poznania. Časť sústavy laserov, pomocou ktorých sa meria veľkosť atómového jadra deutéria na Paul Scherrer Institute (PSI) vo Švajčiarsku.



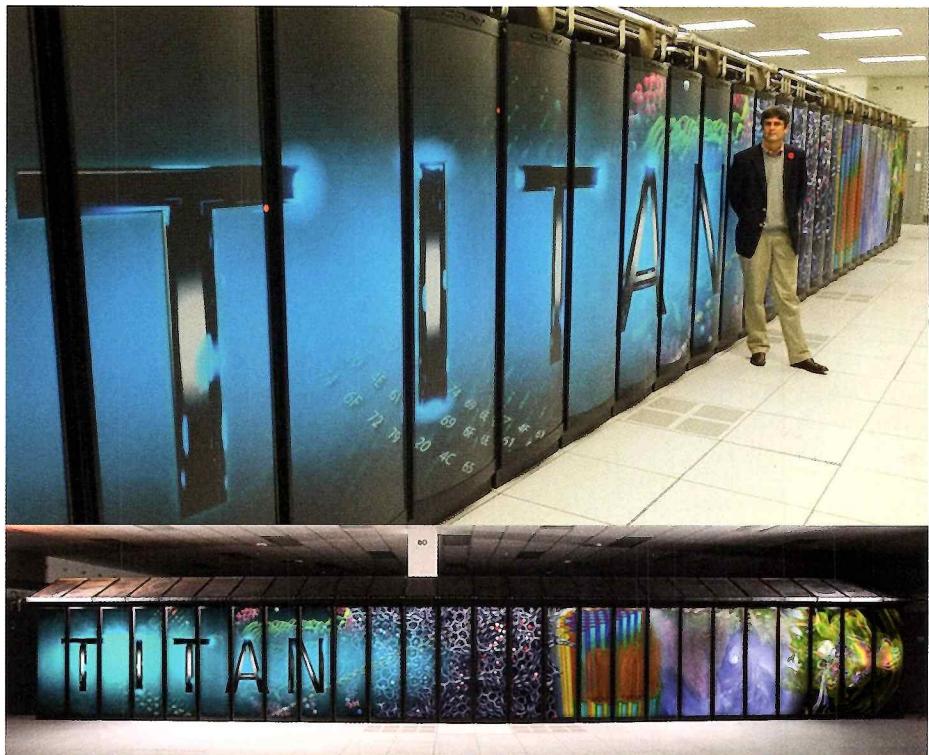
Zložitá technika. Z laserovo-spektroskopických meraní na Inštitúte PSI vyplynulo, že nielen protón, ale aj deuterón je oproti predpokladom menší. Uprostred zariadenia sedia fyzici Karsten Schuhmann a Aldo Antognini, ktorí sa na pokuse podieľali.

s ťažkým vodíkom, kde sa v jadre atómu nachádza jeden protón a jeden neutrón. Aj z atómu deutéria sa však vynoril „príliš malý“ protón.

- Vedci v Max Planck-Institut für Quantenoptik preskúmali v roku 2017 – najmä kvôli kontrole – normálny vodík. Aj tento protón však mal menší polomer.
- V roku 2018 nastúpili do arény vedci z parížskej Sorbonny. Aj oni, podobne ako Pohl, použili normálny vodík, ale pre elektrón použili iné úrovne energie. Keď tím okolo Hélene Fleurbaey vyhodnotil údaje, zistil, že nimi nameraná hodnota je rovnako veľká ako tradičná z banky údajov CODATA! Teda vyššia ako hodnoty, ktoré sa zrodili v najaktuálnejších experimentoch.
- Švajčiari na PSI spustili ďalšie nové pokusy s miónovým héliom-3 a héliom-4.

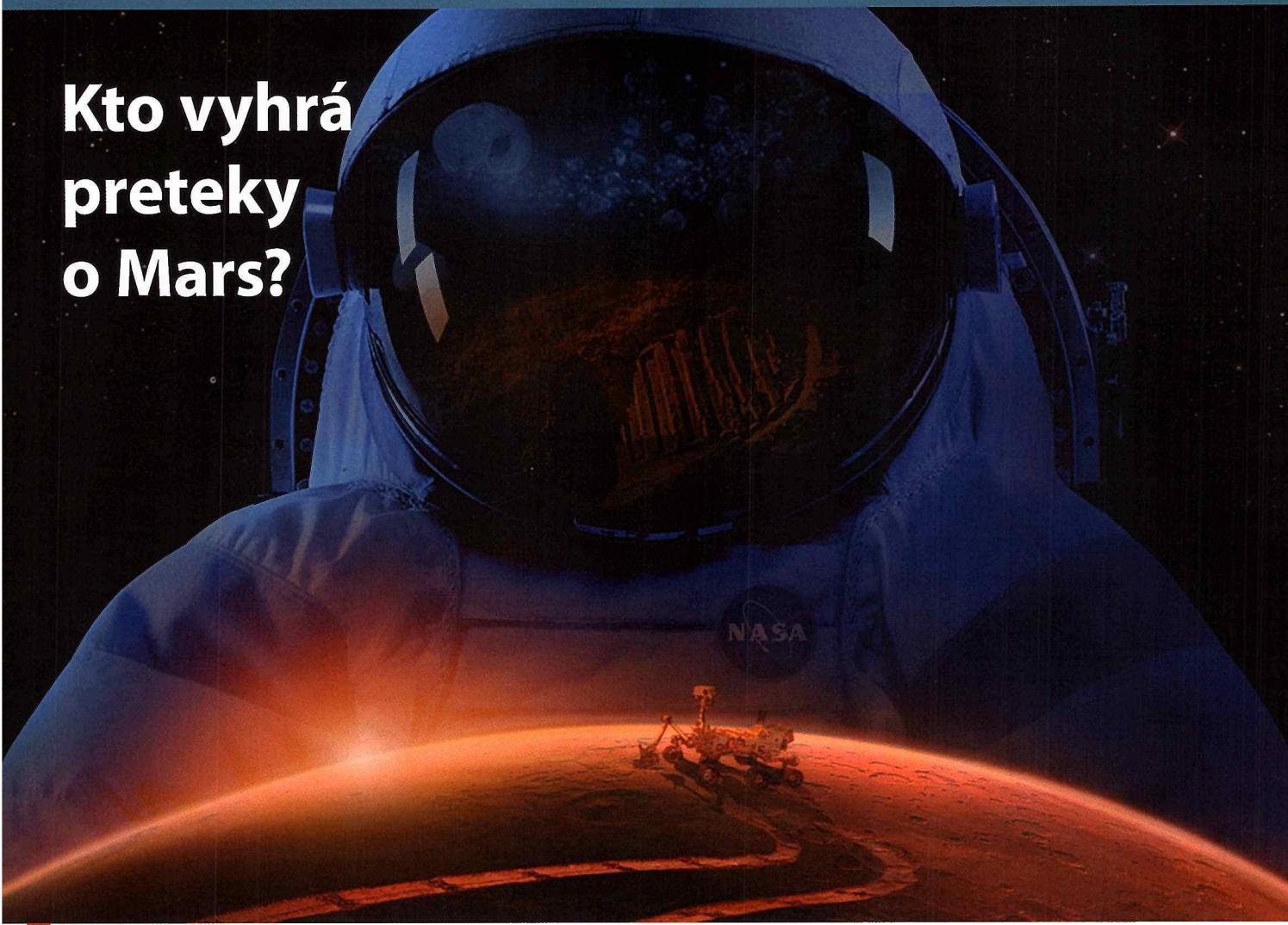
Zmätky okolo polymeru protónu zhrnul Aldo Antognini, fyzik z PSI: „Je vylúčené, aby atómové jadro deutéria, rovnako ako protón, mohli mať rozličné veľkosti. Preto hľadáme riešenie, ktoré by rozdielne hodnoty zosúdilo. Možno máme dočinenie s neznámou fyzikálnou silou.“

Takáto možnosť v časti fyzikov vzbudzuje čosi ako nadšenie, väčšina z nich však zostáva skeptická. Úsilie o vysvetlenie záhady nukleónov pokračuje.



TITAN nemá široko-ďaleko páru. Superpočítač Titan v Oak Ridge National Laboratory (Tennessee) bol v období 2012/13 najvýkonnejším počítačom na svete. Využíva 18 688 procesorov so 16 jadrami, spolu 299 008 jadier. Každé jadro má 2 GB pamäte, čiže celkom 710 terabajtov. Dokáže vykonávať 27×10^{15} výpočtov za sekundu! Celý výpočet trval vyše 600 hodín. Bežnému počítaču by takýto výpočet trval 600 000 rokov. Použitie tohto výpočtového giganta nedávno umožnilo mimoriadne presne modelovať rádioaktívny rozpad neutrónov.

Kto vyhrá preteky o Mars?



Otec modernej raketovej techniky Wernher von Braun po úspechu programu Apollo vyhlásil, že ak mu americká vláda opäť poskytne podporu a dostatok peňazí, do roku 1986 pristane na červenej planéte kozmickej lodi s americkou posádkou. Podpory sa však tentoraz nedočkal.

V pretekoch o Mesiac Američania nad Sovietskimi vyhrali. Možno aj preto, že špičkový konštruktér kozmických rakiet Sergej Koroliov, sovietsky náprotivok von Brauna, skonal krátko pred finišom, v roku 1966. Súčasne s jeho odchodom sa skončila aj éra dobrodružných letov do vesmíru v službách politiky a propagandy. Nastala doba lacnejšej a osoznejšej kozmonautiky.

Inšpirácia pre Pozemštanov

Mars nás oddávna inšpiruje. Vyše sto rokov sme boli my Pozemštania aj zásluhou vedcov presvedčení, že Mars je obývaný alebo aspoň obývateľný. Napomáhali tomu aj spisovatelia sci-fi, ktorí červenú planétu, každý na svoj spôsob, kolonizovali a osídlovali. Spomeňme aspoň Aelitu Alexeja N. Tolstého (1920), Martanskú kroniku Raya Bradburyho (1950) alebo Trilógiu o Marse od Kima S. Robinsona, zloženú z troch pokračovaní: Červený Mars, Zelený Mars a Modrý Mars. Množstvo kníh opisovalo aj návštavy v opačnom smere, čiže invázie Martanov na Zem. Azda najznámejšia je od H. G. Wellsa.

Mars je aj dnes kozmickým symbolom,

do ktorého ľudia projektujú svoje túžby a fantázie. Nedávno sme videli americký film Marťan nakrútený podľa bestselleru Andyho Weirsa. Nešťastný hlavný hrdina stvárnený Mattom Damonom dokázal, že Pozemštan dokáže prežiť aj na Marse. Pretože aj keď je táto nehostinná planéta celkom iná ako Zem, nepripadá nám celkom cudzia. Napriek tomu, že obloha nad Marsom je po celý deň červenkastá a súmraky či brieždenia modrástre.

Pred miliardami rokov sa však Mars podoval na Zem ešte viac. Brehy jeho kontinentov obmývali moria a oceány. Solídna atmosféra s hojnou obláčnosťou chránila planétu pred žiarením. Dnes je Mars zdánlive mŕtvy. Nad jeho severnými pláňami sa nemo vypína do výšky 21,5 km najvyšší vrchol celej Slniečnej sústavy Olympus Mons.

Najmenšia vzdialenosť Marsu od Zeme je zhruba 55 miliónov km. Z hľadiska možností súčasnej techniky to nie je až tak veľa. Napokon dlho by sme museli vymenúvať mená marsovských sond, orbiterov, landerov a roverov, dátumy ich pristáti, významnejšie objavy či vedecké údaje o červenej planéte. Vieme o nej dnes oveľa viac ako pred 50 rokmi, keď si von Braun (ak by mu dali podporu a 20 rokov) trúfal vyslať tam lodi s ľudskou posádkou. Gene Cernan, syn slovenského otca z Kysúc, bol zatiaľ posledným Pozemštanom z tých, čo navštívili iné kozmické teleso. Zomrel v januári 2017. Z „Veľkej dvanásťky“ amerických astronautov, ktorí sa prechádzali po inom vesmírnom telese v rámci programu Apollo, prí-

padne im pohyb uľahčovali rovery, zostávajú už iba štyria: Buzz Aldrin (Apollo 11), David Scott (Apollo 15), Charles Duke (Apollo 16) a Harrison Schmitt (Apollo 17).

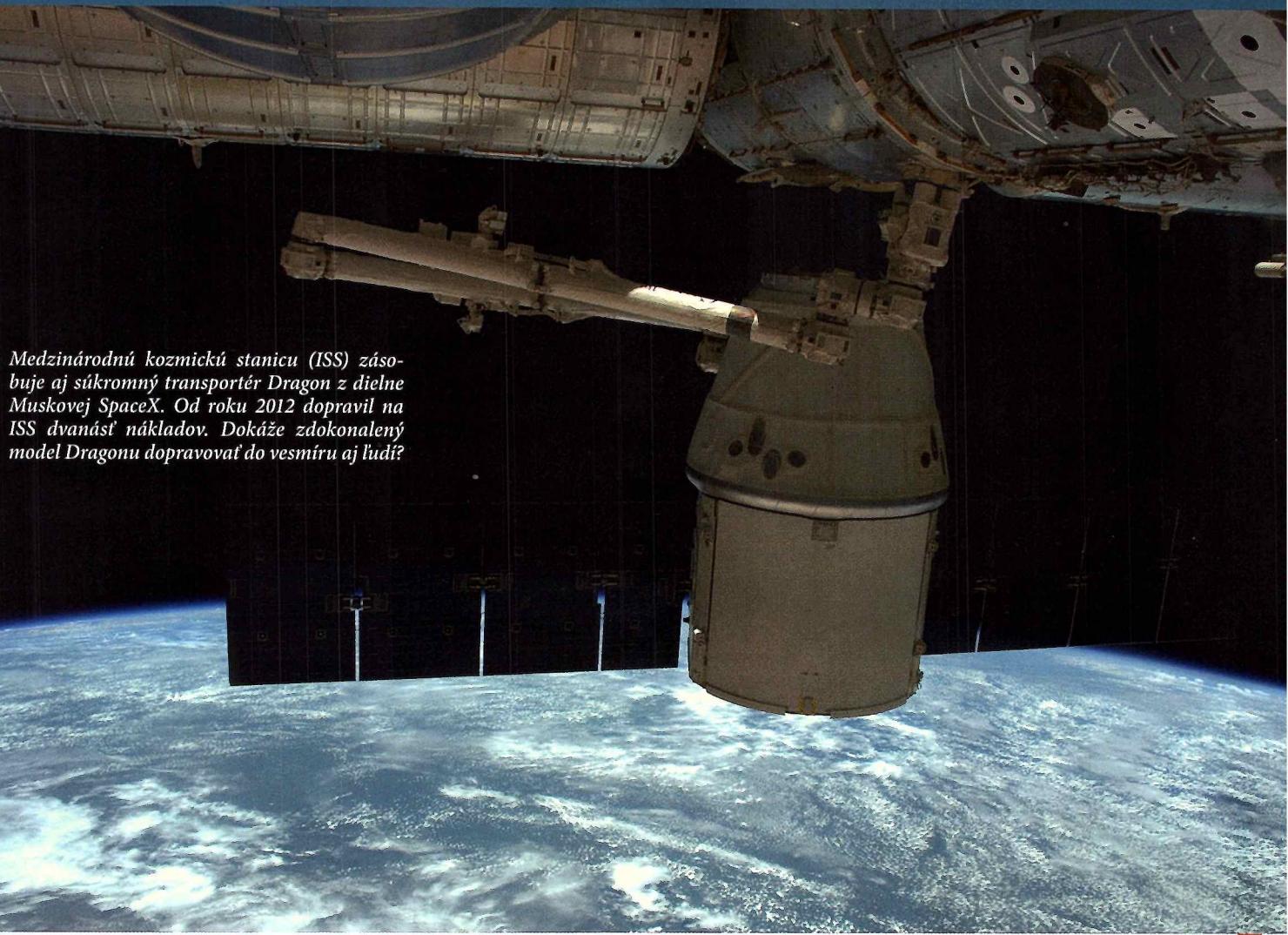
Medzičasom dozrela vôle aj možnosti na nové kozmické dobrodružstvo; po 50 rokoch od pristátia Apolla 11 na Mesiaci je už najvyšší čas. A kam inam ako na Mars? Veď misie na iné planéty by boli z viacerých dôvodov oveľa nákladnejšie.

Misie, ktoré sa neuskutočnili

V NASA prečítali a zhodnotili vyše 1 000 konceptov výpravy na Mars. Pozrite si blog „spaceflighthistory.blogspot.de“, kde bloger David Portree vyratúva kozmické misie, ktoré sa neuskutočnili. Vrátane zamýšľaných výprav s ľudskou posádkou na Mars.

V desaťročí Apolla uvoľňoval Kongres na príkaz prezidenta Kennedyho pre NASA 4 % štátneho rozpočtu. Pristátie na Mesiaci vytváralo nadšenie na všetkých kontinentoch, ale toto nadšenie čoskoro pohaslo. Voliči republikánov i demokratov boli zajedno: Sovietov sme porazili, miliardy dolárov načim presmerovať na užitočnejšie ciele. Preto v NASA ostatné dva lety Apolla zrušili. Odvtedy, z roka na rok, dostáva NASA čoraz menej peňazí. V minulom roku to už bolo iba 0,5 % štátneho rozpočtu. Znie to neuveriteľne, ale je to tak: osemkrát menej ako v 60. rokoch!

„Tento trend sa tak skoro nezmení“, tvrdí Scott Hubbard, bývalý riaditeľ Ames Research Center NASA, dnes profesor na Stanford



Medzinárodnú kozmickú stanicu (ISS) zásobuje aj súkromný transportér Dragon z dielne Muskovej SpaceX. Od roku 2012 dopravil na ISS dvanásť nákladov. Dokáže zdokonalený model Dragonu dopravovať do vesmíru aj ľudí?

University. „Pritom z toho pol percenta prípadá iba 8 miliárd dolárov na lety s ľudskou posádkou. Koľko rokov by trvalo, kým by NASA takto našetrila potrebných 540 miliárd?“ Toľko by dnes, podľa 30 rokov starých štúdií, stála výprava Američanov na Mars. Ako však vieme, staršie odhady sa časom ešte znásobujú.

Bush senior koncom roka 1989 vyhlásil, že Amerika vyšle astronautov na Mars už v roku 2018. George W. Bush, jeho syn, vyhlásil v roku 2004 program Constellation, ktorého cieľom bol Mars s medzipristátím na Mesiaci. Tento program Barack Obama zrušil. V hangároch NASA môžu však návštěvníci obdivovať raketu Space Launch System i kozmickú loď Orion. Raketu a loď vyuvinuli pre výpravy do „hlbokého vesmíru“ (Deep Space Missions).

Veľké ambície má Donald Trump. Počas návštavy v NASA sa opýtal, či by mohli misiu s ľudskou posádkou vypraviť na Mars ešte počas jeho vlády. Experti to vnímali ako žart.

Alternatívne myšlienky

Reálnejšie plány má americký miliardár Dennis Tito. Mimochodom: tento muž sa stal prvým kozmickým turistom, keď si za 25 miliónov dolárov kúpil lístok na Medzinárodnú kozmickú stanicu, obiehajúcu okolo Zeme. V roku 2013 založil Tito nadáciu s cieľom do roku 2018 umožniť štart prvej expedície ľudí na červenú planétu. Sám do tohto dobrodružstva vložil 100 miliónov dolárov.

V roku 2012 zverejnili holandský podnikateľ Bas Lansdorp svoj plán Mars One (niekoľkokrát sme o ňom písali aj v Kozmose): ponúkol záujemcom, že ich dopraví na červenú planétu (šest lodí so štvorčlennou posádkou, ale bez možnosti návratu...). Takto mala odštartovať



15. decembra 2017 dopravila dvojstupňová raka Falcon-9 kozmickú loď s nákladom 2,2 tony na Medzinárodnú kozmickú stanicu. Štart sa uskutočnil na Space Launch Complex 40 pri Cape Canaveral Air Force Station na Floride.

prvá kolonizácia Marsu. Lansdorp chcel toto dobrodružstvo finančovať z predaja televíznych práv.

Nebola to najhoršia myšlienka: reality show z kozmu zaujala niekoľko veľkých televíznych spoločností. Lansdorpovi sa prihlásilo vyše 7 000 dobrovoľníkov. Mužov i žien, mladých i starých, vedcov, lekárov, inžinierov, ale aj praktických remeselníkov, či ľahkomyselných dobrodruhov. Veľmi bizarný dôvod uviedla napríklad 66-ročná vedkyňa, ktorá sa chcela stať prvou Pozemšťankou, ktorú na Marse pochovajú.

Vedci, ktorí tieto návrhy posudzovali, zakazdým dospeli k názoru, že sa v dohľadnom čase nemôžu uskutočniť. Firma Endemol už v roku 2015 z tejto „mediálnej misie“ vycúvala. Posledná tlačová správa z Mars One (október 2017) pyšne oznamila, že sa jeden zo 100 vyvolených kandidátov objavil v reklame istého výrobcu áut. Čo to však malo spoločné s osídlením Marsu? Z poslednej správy o Mars One sme sa to nedozvedeli.

Multiplanetárny druh?

„Človek by sa mal stať multiplanetárnym druhom,“ vyhlásil svojho času juhoafrický podnikateľ a vizionár Elon Musk. Mladík, ktorý vďaka svojej službe PayPal zarobil hromady peňazí. V roku 2002 založil kozmickú firmu SpaceX, ktorej rakety by v prípade apokalypsy, nech už atómovej, či ekologickej alebo inej, dokázali dopraviť niekoľko desiatok tisíc ľudí na Mars.



Interim Cryogenic Propulsion Stage (ICPS) je druhým stupňom Muskovej rakety. Práve tento stupeň má loď s ľudskou posádkou dopraviť na Mesiac a ďalej. ICPS je akýmsi hybridom rakety SLS a kozmickej lode Orion. Palivom bude kvapalný vodík a kyslík. Prvý test ICPS sa uskutoční koncom tohto roka.

Tento plán vyžadoval radikálne znížiť náklady, najmä na nosiče. Muskovi sa to podarilo. Podchvíľou sledujeme, že jeho (i Bezosove) rakety sa po úspešnom štarte a vynesení nákladu na obežnú dráhu vracajú nepoškodené na Zem. Prvý stupeň sa vrátil na rampu, z ktorej odštartoval, druhý na platformu na hladine oceánu.

Muskove rakety Falcon-9 sú lacné a spoľahlivé. Osvedčili sa aj pri zásobovaní Medzinárodnej kozmickej stanice – ISS. Náklady do okolia Zeme dopravujú za takú nízku cenu, že sa Musk v tabulkách komerčnej kozmonautiky dostał na prvé miesto. Ruské, hoci tiež spoľahlivé rakety, sú dnes oveľa drahsie. Falcon-9 sa však pre cestu na Mars nehodí.

Prvú takúto loď vynesie nosič BFR (Big Falcon Rocket). Dvojstupňová, opakovane použiteľná raketa, ktorá dokáže na nízku obežnú dráhu okolo Zeme dopraviť 150 ton užitočného nákladu. Pre porovnanie: raketa Saturn V, nosič lodí Apollo, vyniesla na obežnú dráhu „iba“ 133 ton.

Jednou ranou viac múch

Musk chce vývoj BFR finančovať zo ziskov firmy SpaceX. Donedávna všetky skúšobné pokusy i „vynášky na objednávku“ spolufinancovala NASA. Pomocou BFR zamýšľa Musk zabiť najmenej dve muchy jednou ranou: zarábať v rámci komerčnej kozmonautiky (vynášanie satelitov, zásobovanie ISS...) a zabezpe-

čovať, s pomocou NASA, aj náročnejšie ciele vedeckej a objaviteľskej kozmonautiky. Na to všetko chce byť pripravený už v roku 2024.

Kto je vlastne Elon Musk? Vizionár, blázón, mimoriadne šikovný obchodník? Hubbard si myslí, že Musk má aj tie najsmelšie vízie do detailu premyslené a prepočítané. Bloger Portree je skeptickejší: „Rozruch okolo Marca je podľa mňa iba sugestívou reklamou pre iné Muskove zámery.“ Pripomeňme, že reťazec hotelov Hilton začal po prvom pristátí na Mesiaci robiť reklamu sám sebe tým, že verejnili plány výstavby „hiltonov“ na Mesiaci.

V hre aj ľudský faktor

Predstavme si, že raketa, schopná dopraviť na Mars nielen loď s malou posádkou, ale aj potrebný náklad, už stojí na rampe. Skôr, ako by sme dali povel na štart, mali by sme mať istotu, či ľudia niekoľkomesačnú cestu na Mars prežijú. Tieto problémky rieši Marcus Czupalla z Aachenu (Aachen University of Applied Sciences): „Podľa najjednoduchšieho scenára si posádka zoberie všetko, čo potrebuje, ale odpadu sa bude priebežne zbavovať.“

Dlhšie výpravy sa nezaobídú bez recyklácie. Vedci sa pokúšajú vytvárať uzavreté a robustné kolobehy vody a oxidu uhličitého. Tak by dala voda i vzduch uspokojivo čistiť. Najslabším bodom recyklácie sú záchody.

Vyrábať potravu z ľudských exkrementov ešte nedokážeme. Preto je ISS odkázaná na pravidelný servis zo Zeme. Nemá a ešte dlho nebude mať vlastnú kompostáreň. Alternatívou by mohli byť bioregeneratívne systémy. Aj tie sa iba vyvíjajú. Czupalla: „Dnešný systém recyklácie vzduchu sa zmestí do dvoch skriň. Rastliny, ktoré by dokázali to isté, museli by rášť na ploche 300 m².“ Dlhodobé uprednostňovanie „zelenej alternatívy“ by teda serióznejšie prípravy na marsovskú expedíciu poriadne predĺžilo.

Vápnik v moči upcháva filtre

Ani najmodernejšie recyklačné systémy ešte



Vývoj novej rakety/nosiča pre veľké náklady SLS (Space Launch System), ktorá bude dopravovať do vesmíru aj astronautov, je v plnom prúde. V tejto fáze záleží na tom, aby sa starostlivo pre-skúšali aj najbanálnejšie veci. V tomto prípade je to lakovanie.

LII. Žeň objevů 2017 C

1.10. Sluneční soustava kdysi a dnes

T. Engelhardt, R. Jedicke aj. využili výsledků pozorování tří největších přehlídek drobných objektů ve Sluneční soustavě (*PanSTARRS, Mt. Lemmon a Catalina*) k odhadu, kolik se v ní nachází **vetřelců z interstelárního prostoru** (komet, planetek). Nejprve modelovali zastoupení vetřelců v kouli o poloměru 750 au od Slunce s ohledem na známou skutečnost, že výskyt těchto těles, doplňovaný z mezihvězdného prostoru ve vzdálenostech <50 au od Slunce, se dlouhodobě nemění. Odtud pak došlo k závěru, že přírůstek vetřelců zplozených cizími hvězdnými soustavami je velmi rozmanitý a poměrně nízký. Ve vzdálenostech <12 au od Slunce se proto nacházejí interstelární objekty velmi vzácně. Přesto čas od času se na periférii Sluneční soustavy odehrává dramatická situace vinou přiblížení cizích hvězd na vzdálenost <1 pc. C. Bailer-Jones aj. spočítali díky měřením vlastních pohybů hvězd družicemi *HIPPARCOS* a *Gaia*, že během jednoho milionu let projde v takové blízkosti 19–24 hvězd. Taková přiblížení rozruší klid v Oortově oblaku komet, z nichž mnohé vybočí ze svého stabilního azylu, zamíří do nitra Sluneční soustavy a výrazně zvýší pravděpodobnost zásahu Země nebo dalších planet kometou.

Poměrně rychle a významně se mění názory na **nejranější epochu vznikání Sluneční soustavy**. Pozorování nejmladších exoplanet ukazuje, že hvězdné pramhlhoviny tvořené prachem a plynem se rozplynou během 1–10 Mr. Destrukce pramhlhoviny nastává vlivem rozzařování centrální hvězdy. H. Wang aj. studovali míru zmagnetování nejstarších meteoritů – angritů. Jde o vůbec nejstarší vyvřelé horniny s typickým stářím 4,564 mld. let. Autoři usoudili, že sluneční pramhlhovina se rozplynula během 3–4 Mr, protože původní indukce magnetického pole v angitech klesla během 2–3,8 Mr od vzniku soustavy o celý řád na 0,6 μT. S. Maddisonová aj. uvedli, že v pramhlhovině vzniká prachová past, která zbrzdí nejenom částice prachu, ale následně i molekuly plynné. Aerodynamický tlak pak urychluje vznik řádově **100mm oblázků**, jež pak poměrně rychle vedou ke vzniku planetesimál jako stavebních kamenů pro vytvoření protoplanet i celých planet. Tyto práce ukazují, že stavba kamenných planet Sluneční soustavy proběhla mnohem rychleji (v řádu jednotek milionů let), než se dosud předpokládalo (100 milionů let).

M. Kruss aj. se zabývali Achillovou patou procesu **vzniku planetesimál**, kterou představuje rozměr a hmotnost pro určitou velikost a hmotnost prachových agregátů, jež na sebe narazí, a tím se znovu rozdělí na menší konglomeráty. Tato odrazová bariéra by měla vlastně zabránit postupné akumulaci planetesimál. Jak už v r. 2012 ukázali S. Okuzumi aj., prachovým agregátem do vzdálenosti 10 au od Slunce se daří bariéru překonat, protože jde o silně porézní (načechnaný) materiál, jenž se bariére vyhne slepováním, a pak už je vyhráno. Autoři toto vynález potvrdili laboratorními pokusy.

T. Demirci aj. zkoumali v laboratoři, co se děje s **bazaltickým prachem** ohřátým na vysoké teploty 873–1273 K, jimž byla vystavena prachová zrnka v blízkosti rozzařujícího Slunce. Při teplotách pod 1,0 kK tvoří zrnka prachové agregáty o průměru až 2,0 mm, kdežto při vyšších teplotách se vytvářejí agregáty s průměrem o 50–75 % nižším. To znamená, že terestrické planety vznikaly při teplotách <1 kK a totéž bude platit i pro kamenné exoplanety kolem cizích hvězd.

P. Lykawkaová a T. Ito chtěli pomocí simulací objasnit, jak vznikly **terestrické planety** Sluneční soustavy. Ve 110 simulacích nechali vytvájet 100 planetárních embryí a 6 tis. planetesimál v protoplanetárním disku, přičemž měnili polohu sněhové čáry od vzdálenostech 1,5 do 2,25 a 3,0 au od Slunce. Téměř ve všech simulacích vznikly Venuše a Země, ale jen v 9 případech Merkur a Mars. Počítacové modely Merkuru získávaly svou hmotu 0,2 M_z z planetárních embryí i planetesimál a nabíraly hmotu z objektů vzdálených 0,2–1,5 au během 10 Mr. Bez ohledu na polohu sněhové čáry jí byly všechny terestrické planety v simulacích zásobeny, i když s rozdílným podílem.

H. Rickman aj. se zabývali otázkou, jaké objekty převažovaly v **epoše těžkého bombardování** vnitřních planet Sluneční soustavy rozdílnými a početnými projektily. Hlavním dodavatelem projektilů

byl první planetární disk o nízké hmotnosti a z něj utvořené planety. Srážky s planetkami vytvořily většinu impaktních kráterů na Měsíci, Merkuru a Marsu. Pouze menší měsíční moře vznikla dopady komety. Země i Mars obdržely svou porci vody velmi brzo po svém vzniku. Vodní záplavy na Marsu v noachiánské periodě předcházely epoše těžkého bombardování, které začalo před 4,1 Gr.

R. Hyodo aj. se pokusili vysvětlit existenci **prstenů** u obřích planet Saturnu, Uranu a Neptunu hypotézou, že prstence vznikly blízkými setkáními s tělesy vyvrženými z *Edgeworthova-Kuiperova pásu* v epoše těžkého bombardování. V té době se v pásu vyskytovala tělesa s hmotnostmi $10^{21} \div 10^{23}$ kg (náš Měsíc má hmotnost 7.10^{22} kg) a obří planety se v té době mohly s poruchami vychýlenými tělesy poměrně často střetávat. Autoři zjistili pomocí simulací, že v případě srážky zůstalo v okolí napadené obří planety 0,1–10 % materiálu. Původně šlo o docela velké úlomky na silně výstředných oběžných drahách, což vedlo k rychlému slapovému drcení na menší úlomky, jež se postupně posouvaly na dráhy poblíž rovníku planety a tam se dále srážely a drtily. Tyto srážky pak daleko rozmléchovaly větší částice a snížovaly pronikavé výstřednost jejich drah. Po delší době se tak vytvořil tenký a prakticky **kruhový prstenec**. Výpočty potvrdily, že těmito procesy mohly vzniknout zejména vnitřní prográdní měsíce Saturnu i všechny jeho prstence. Na rozdíl od Saturnu proniklo těleso u Uranu hlouběji pod Rocheovu slapovou mez, takže Uran zachytíl více kamenného materiálu v porovnání se Saturnem, kde to byla z větší části ledová zrna. Podobně se vyvíjely i prstence Neptunu. Autoři se proto domnívají, že procesy v epoše těžkého bombardování mohou vysvětlit rozdíly ve složení částic prstenů zmíněných tří planet.

Nejnověji se začínají kosmické agentury plánující přistávání pilotovaných i robotických letů k Měsici, Marsu, kometám a planetkám zabývat otázkou, jak co nejlépe **napodobit regolit na povrchu různých kosmických těles**, ale i v mělké hloubce pod povrchem, a to kvůli budoucím stavbám a přístrojům na těchto tělesech instalovaných. Podle P. Metzgera je snažba vyrábět kvalitní náhražky na úrovni chaotického dobývání Divokého Západu. Málo je známo o fyzikálních vlastnostech povrchů čtyř hlavních tříd planetek, způsobu a rychlosti jejich zvětrávání a dalších parametrech potřebných pro jejich umělou výrobu na Zemi. Kromě toho se počítá s nabíráním lokálních surovin kosmických těles do 3D tiskáren, které si roboty nebo i astronauti přivezou na kosmická tělesa kvůli hloubkovým vrtům nebo ke zhotovení regolitu. Podle S. Coveyho však již firma *Deep Space Industries* dodala NASA v březnu 2017 půl tuny vzorků a v červnu další půltunu. Ten to materiál posloužil k testování postupů, jak nejlépe odebírat vzorky z různých typů planetek. Evropská agentura ESA vyžaduje pro své tréninkové centrum astronautů v Kolíně n. R. 700 t materiálu podobného měsíčním horninám a minerálům. Zatím to ale vyřešila těžením hornin v dole na bazalt v oblasti pohoří Eifel.

L. Burlaga aj. zveřejnili údaje o průchodu sondy **Voyager 2** heliopouzdrem (*heliosheath*) magnetického pole Slunce v letech 2013 a 2014, kdy sluneční činnost dosahovala maxima 24. cyklu. Tehdy uplynulo 36–37 let od vypuštění sondy, jež se v té době nacházela ve vzdálenosti 100–103 au od Slunce. Přestup sondy z unipolární zóny do sektoriální proběhl v intervalu od poloviny května 2012 do konce září 2013. Sektorem D s velmi nízkou indukcí magnetického pole sonda procházela od poloviny listopadu do poloviny prosince 2013.

N. Schwadron a D. McComas poukázali na **vliv sluneční činnosti** na změny v lokálním interstelárním magnetickém poli. Potřebné údaje získali jednak pomocí sondy *IBEX* (*Interstellar Boundary Explorer*), jež zaznamenávala změny v intenzitě energetických neutrálních atomů přicházejících z lokálního pole, a dále ze změn v heliomagnetickém poli jež v letech 2015 a 2016 odhalila kosmická sonda *Voyager 1*. V době 24. cyklu sluneční činnosti byly u Slunce pozorovány intenzivní koronální výrony látky, jež dospěly po více než dvou letech roky do vzdálenosti, v nichž se tehdy *Voyager* pohyboval (132,5–136 au).

V. Bobylev a A. Bajková využili údajů o vlastních pohybech a paralaxách 216 000 hvězd získaných družicí *Gaia* (ESA) a radiálních

rychlostí týchž hvězd v katalogu RAVES k hledání hvězd, jež se přiblížily anebo teprve přiblíží ke Slunci na vzdálenost <2 pc. Našli několik hvězd, které proletěly nebo proletěly kolem Slunce ve vzdálenosti <1 pc. Suverénním vítězem s nejmenším přiblížením se stane za 1,4 Mr hvězda GJ 710 (Ser; 9,7 mag; K7 V; 4 250 K; 0,04 L_⊙; 0,7 R_⊕; 0,6 M_⊕; 19 pc), jež proletí přísluním ve vzdálenosti 0,2 sv. roku ($2 \cdot 10^{12}$ km). V přísluní dosáhne na pozemské obloze 1 mag a současně pocuchá *Oortův oblak* komet, takže následně po dobu milionů let budou takto vybočené komety bombardovat planety Sluneční soustavy. Před 7,3 Mr se ke Slunci přiblížila na vzdálenost 2,8 pc zákrytová trojhvězda *Algol* (β Per; 28 pc) o úhrnné hmotnosti složek 5,8 M_⊕, takže na pozemské obloze dosáhla jasnosti -2,5 mag.

1.11. Slunce

E. Paouris aj. sestavili katalog koronálních výronů hmoty (*Coronal Mass Ejection* = CME) mířících k Zemi během 23. cyklu sluneční činnosti (1996-2008). Využili k tomu měření koronografu LASCO (*Large Angle Spectrometric Coronagraph*) na družici SOHO (*Solar and Heliospheric Observatory*). Tato pozorování pak korelovali s údaji družice *Advanced Composition Explorer* (ACE) pro léta 1996-2009. Družice operuje v okolí bodu L₁ a slouží jako varování před slunečními výrony hmoty (ICME) směřujícími k Zemi. Katalog obsahuje údaje o mateřských slunečních erupcích, které jsou příčinou jednotlivých ICME a také údaje o následcích interakci s geomagnetickým polem a případně i vizuálními pozorováními efektů ICME. Je to zatím nejúplnejší katalog údajů pro minulý cyklus sluneční činnosti. A. Compagnino aj. se věnovali statistickému výzkumu CME během 23. a 24. cyklu (2008-2019) sluneční činnosti. V maximu 24. cyklu vzniklo více CME než v maximu 23. cyklu, ale naopak fotometrická aktivita byla ve 24. cyklu nižší než v cyklu předchozím. V obou cyklech se odehrálo úhrnem 19 800 slunečních erupcí.

P. Wyper aj. srovnávali fyzikální charakteristiky CME s méně energetickými slunečními úkazy, tj. s drobnými rentgenovými, resp. EUV koronálními výtrysky, jež se projevují výrony zhustků magnetických polí. Dosud se odborníci domnívali, že tyto typy jevů mají různé fyzikální příčiny. Nyní se však ukazuje, že základní mechanismus je týž, protože ke všem energetickým výronům slouží úzká vlákna, jež odnášejí energii vybuchujících střížných magnetických polí směrem do koróny. Společným jmenovatelem téhoto procesu jsou tedy explozivní přestavby lokálních magnetických polí.

H. Hayakawa aj. propojili zprávy o silných polárních zářích v 90. letech 10. století s údaji o zastoupení radionuklidu ¹⁴C (poločas rozpadu 5 700 let) v letokrúžích stromů z Korejského poloostrova, saských měst v Německu a na Irském ostrově. Všude našli zvýšený podíl zmíněného nuklidu v r. 994.

J. Le Mouel aj. ukázali, že statistická metoda singulární spektrální analýzy (SSA) přesvědčivě potvrdila existenci diskutabilního cyklu studovaného W. Gleissbergem v letech 1944-1976 (práce o existenci cyklu publikovali také čeští astronomové M. Kopecký v letech 1960-1980 a F. Link v r. 1963). Autoři použili metodu SSA na data o výskytu slunečních skvrn v letech 1700-2015, které pokrývá období též 3,5násobku periody cyklu. Poslední minimum **Gleissbergova cyklu** nastalo na rozhraní 23. a 24. jedenáctileté Schwabeovy periody sluneční činnosti v r. 2000. Autoři nepotvrdili spekulace o kolísání délky periody Gleissbergova cyklu v rozmezí 55+97 let, neboť metoda SSA dává po celou sledovanou dobu periodu 90 let, během níž se výskyt slunečních skvrn podílí 13% na variacích celkového slunečního výzařování, což nelze zanedbat vůči variacím podvojného **Schwabeova cyklu** (10 a 11 let), jež mají podíl 46%. Chceme-li tedy mít dobrou teorii činnosti slunečního dynamika, je třeba zohlednit existenci dlouhodobějšího Gleissbergova cyklu.

Rovněž A. Vecchio aj. se zabývali dlouhodobými slunečními cykly díky lépe kalibrovaným historickým údajům o výskytu slunečních skvrn a skupin založeným na dendrologických měřeních koncentrace radioaktivního nuklidu ¹⁴C. Ukázalo se, že největší energetický obsah patří Schwabeovu cyklu. V okolí velkých minim **Maunderova** a **Daltonova cyklu** se trvání Schwabeova cyklu prodlužuje na ~14 let. V rozporu s předešlou prací Le Mouela aj. však pro **Gleissbergův cyklus** uvádějí silně kolísající periodu 60 ± 120 let a přes něj se překládá **Suessův cyklus s periodami** 200 ± 300 let. Proto tvrdí, že tento velký rozdíl dlouhých period vede k mnohonásobným oscilacím intenzity cyklů. **Suessův cyklus** je pak příčinou nejdélšího **Spörerova minima** o trvání přes 80 let. Vůbec nejdélší oscilace všech cyklů mají periody

~7 tis. let a existují i doklady o **Hallstattském cyklu** (~2 tis. let). Fyzikální příčiny dlouhých cyklů a zejména dlouhých minim jsou nejasné; nepochyběně však odrážejí nejistoty v chování hlavního motoru, tj. slunečního dynama. Jak uvedli O. Creevey aj. a T. White aj., díky asteroseismologickým měřením hvězd a dvojhvězd slunečního typu a různého stáří pomocí družice *Kepler* se časem podaří zlepšit naše vědomosti a hvězdných dýnamech slunečních analogů, a tím se přiblížit k přesnějšímu fyzikálnímu popisu mechanismu slunečního dynama.

C. Humphreys a W. Graeme Waddington identifikovali **prstencové sluneční zatmění**, které je zmíněno ve Starém zákoně v 10. kap. knihy *Josue*. Těsně předtím do r. 1210 př. n. l. panoval v Egyptě faraon *Ramses*, jenž nastoupil na trůn v r. 1276 př. n. l. Zatmění bylo pozorovatelé v Egyptě 30. října 1207 př. n. l. Předtím nejstarší přesné určení astronomického jevu pocházelo z r. 700 př. n. l., takže přesná křivka změn rychlosti zemské rotace se tak protáhla do minulosti o 507 let.

Dne 21. 8. 2017 proběhlo úplné sluneční zatmění s maximálním trváním totality 2,67 minut, které bylo možné pozorovat ve více než tuctu států Unie při velmi příznivém počasí. Patrně šlo o historický rekord v počtu pozorovatelů tohoto úkazu, protože do úzkého, leč dlouhého pásu se vydali jak Američané, tak zástupy návštěvníků z celé zeměkoule. Mnozí z nich se podíleli na vědeckém studiu úkazu na základě programů, v nichž spolupracovali s profesionálními astronomy. Tak například se podařilo pomocí 55 teleskopů rozmístěných podél pouze 110 km širokého pásu totality, ale tisíce kilometrů dlouhého pořídit vývoj sluneční koróny s vysokým rozlišením. Letadlo *Gulfstream V* pozorovalo zatmění v infračerveném pásmu spektra, které je nejvhodnější pro proměřování struktury magnetického pole v koróně. Sledovalo korónu z výšky 15 km po dobu 4 minut nad státy Missouri, Kentucky a Tennessee. Další dvě letadla NASA sledovala zatmění po souhrnnou dobu 7 minut.

S. Habbalová aj. využili zatmění k rozmístění pěti aparatur na západě USA ke studiu výskytu a intenzity **spektrálních čar v koróně**. Díky extrémně vysoké teplotě lze tak získat podstatně přesnější údaje o koronálním zastoupení jednotlivých chemických prvků, což je mimo zatmění nemožné. Francouzský astronom S. Koutchmy aj. měřili s vysokou přesností hodnotu poloměru Slunce určením oka-mžíků, kdy disk Měsíce začal a končil přechod přes sluneční disk. Občanské sdružení CATE (*Citizen Continental-America Telescopic Eclipse*) připravilo unikátní projekt sledování sluneční koróny identicky dalekohledy rozmístěnými na 68 stanovištích podél pásu totality. Do studia rozličných aspektů úkazu se zapojilo i velké množství astronomů-amatérů s profesionální zkušeností, protože se málokdy stane, aby úplné zatmění Slunce, jež je ze Země viditelné v průměru jednou za 1,5 roku, probíhalo v dlouhém pásu zalidněného území USA od Oregonu do Jižní Karoliny. Celkem 57 týmů univerzitních i středoškolských studentů vypustilo výškové balóny s kamerami, jež snímaly průběh totality. R. Lallensacková odhadla, že **zmíněné zatmění aktivně pozorovalo na 12 miliónů lidí**.

Mnozí z nich se aktivně zapojili například do výzkumu reakce zvířat na zatmění; měření poklesu a vzestupu teploty v průběhu zatmění i dalších doprovodných jevů. Jelikož asi 1% elektrické spotřeby USA připadá na **fotovoltaiku**, ve 14 státech Unie bylo třeba během celého několikahodinového úkazu velmi rychle přepínat energetické zdroje.

S. Ishikawa aj. zveřejnili výsledky získané pomocí rentgenové apatury *FOXI-2* vynesené nad atmosféru vertikální raketou. Kamera *Focusing Optics X-ray Solar Imager* pořídila snímky v rentgenovém pásmu >7 keV a nalezla tak silné signály z aktivních oblastí Slunce, v nichž v té době neprobíhaly žádné erupce. Z toho vyplynulo, že v aktivních oblastech se vyskytovaly nerozlišitelně malé oblasti silně přehřátého plazmatu o teplotě >10 MK. To znamená, že v aktivních oblastech se běžně vyskytují **nanoerupce**, které pro malé rozdíly ze Země nepozorujeme, ale které mohou kolektivně ohřívat korónu na proslulé extrémně vysoké teploty.

J. Martínez-Sykora aj. studovali **sluneční spikule**, jež vznikají v chromosféře v podobě vlasových výtrysků směřujících rychlostmi 50 ± 150 km/s do koróny. Jde o relativně krátce žijící několikaminutové úkazy. Pomocí magnetohydrodynamických simulací založených na spektroskopických pozorováních spektrografem na švédském 1m slunečním teleskopu ukázali, že spikule vznikají následkem zvýšené lokální magnetické indukce, což spikule ohřeje a urychlí. Spikule přispívají jak k ohřevu koróny, tak ke generování magnetických Alfvénových vln, jež urychlují sluneční vítr.

Nejmohutnější sluneční erupce 24. cyklu se odehrála 6. září 2017 v aktivní oblasti NOAA 12673. Už od 3. 9. se plocha oblasti počala zvětšovat na 1 % plochy slunečního disku a další dva dny se v oblasti odehrálo 16 erupcí. Konečně 6. 9. v pravé poledne UT vzplála **rekordní erupce** (stupeň X9.3). Vyšší stupeň měla jen erupce z 6. 11. 1997 (X9.4).

Y. Li aj. pozorovali vývoj sluneční erupce kamerou AIA (*Astroscopic Imaging Assembly*) družice *SDO*; erupce vzplanula 23. března 2016. Ještě před jejím začátkem pozorovali v pásmu EUV slabou magnetickou rekonexi v chromosféře. Pozorování jasné ukázala, že erupce byla spuštěna výronem zkrouceného lana magnetického toku, jež vystupovalo z chromosféry a spustilo silnou magnetickou rekonexi, jež se projevila jako erupce v koróně. Začátek úkazu byl trojrozměrný, ale v koróně se změnil na dvojrozměrné arkády erupčních smyček.

V. Kotov použil data o indukci **magnetického pole Slunce**, pořizovaná v letech 1968-2016 na sedmi slunečních observatořích (více než 26 000 denních pozorování přivárcené polokoule Slunce). Od tut vyšla synodická rovníková rotace Slunce 26,93 d. Polovina této hodnoty odpovídá periodě čtyřsektorové magnetické struktury Slunce 13,458 d, v koincidenci s periodou siderického pohybu hlavních těles Sluneční soustavy (13,48 d). Fyzikální příčinu této zvláštní rezonance neznáme.

S. Solanki shrnul výsledky pozorování balónové observatoře *Sunrise* při jejím druhém letu v červnu 2013 ze základny ve švédské Kiruně. Při měření se balón pohyboval napříč Atlantikem a přes Grónsko do severní Kanady, kde stejně jako při prvním letu přistál s nepoškozenými přístroji. Na palubě se nacházel *Im teleskop* typu Gregory, který napájel jak UV kamery s rozsahem vlnových délek $200 \div 400$ nm, tak magnetograf naladěný na vlnovou délku spektrální čáry 525,0 nm. Hlavním cílem balónového letu bylo prozkoumat s lepším časovým i úhlovým rozlišením interakce mezi slunečním magnetickým polem, konvekcí, hustotními vlnami ve sluneční atmosféře a dalšími aspekty projevů sluneční činnosti. Balónová observatoř pracovala ve výšce 36 km, v níž měla pod sebou 99 % atmosféry, takže mohla naplně využít rozlišovací schopnosti teleskopu – zatím největšího přístroje pro výzkum Slunce, který se dostal nad hranici zemské atmosféry. Zatímco první let *Sunrise* proběhl při minimu sluneční činnosti mezi 23. a 24. cyklem, při letu *Sunrise II* bylo možné získat údaje o aktivní oblasti, viditelné v době pozorování. Tyto údaje se pak daly porovnat s pozorováním klidného Slunce při letu *Sunrise I*. Ve speciálním čísle časopisu *Astrophysical Journal Supplement* 229, č. 1 v březnu 2017 vyšlo 13 prací týkajících se letu *Sunrise II* a dále 4 práce letu *Sunrise I*, které porovnávaly údaje klidného a aktivního Slunce. Autory byli odborníci z Německa, USA a Španělska, kteří se na projektu *Sunrise* podílejí.

Výsledky projektu *Sunrise* jsou opravdu jedinečné, protože se podařilo určit jasnost i indukci magnetických polí ve slunečních pórech. V aktivních oblastech byla sledována čára Ca II (H) ve vysokém rozlišení, takže se ukázalo, že vápník se tam vyskytuje v tenkých vláknech, jejichž délku a šířku se zdařilo změřit stejně jako jejich zakřivení a zvlnění během životní doby. Vlákna přenášejí velmi mnoho tepelné energie a mohou tak ohřívat chromosféru v aktivních oblastech. Kamera také zaznamenala vodorovné pohyby magnetických jasných bodů a výtrysky propojující paty koronálních smyček s opačnou magnetickou polaritou, jež patrně rovněž přispívají k ohřevu smyček. Projekt *Sunrise* bude pokračovat, autoři připravují další výškový let aparatury.

M. Shimojo aj. v široké mezinárodní spolupráci zahájili v prosinci 2015 **zkušební pozorování Slunce** mikrovlnnou aparaturou *ALMA*, jež se nachází v Chile v nadmořské výšce 5 tis. m. Pro začátek pořizovali rádiové snímky Slunce v pásmech 3 mm a 1,25 mm a využívali jen 30 parabolických antén, což stačilo k objevu nových podrobností v mikrovlnném spektru s rekordní rozlišovací schopností. Pozorování vyžaduje pečlivou přípravu, protože denní pozorování aparaturou *ALMA* s velmi přesnými parabolami je třeba v porovnání s nočním režimem upravit. Kromě toho je Slunce pro radiointerferometr *ALMA* úhlově příliš velké, takže jeho disk nelze zobrazit vcelku. S. White aj. pak zahájili vědecká pozorování Slunce ve skenovacím módu pomocí 12m antén. Autoři dokázali určit v centru disku teplotu 7,3 kK na vlnové délce 3 mm, a 5,9 kK na vlnové délce 1,3 mm. Obě hodnoty mají chybu ± 100 K. Paraboly pracovaly s úhlovým rozlišením 25" a současně ukázaly, že jasové teploty různých částí disku mají rozptyl 2,0 kK. Aktivní oblasti a fakulová pole jsou nejteplejší, zatímco umbry slunečních skvrn a filamenty jsou relativně nejchladnější. Nad okrajem slunečního disku se běžně pozorují protuberance.

R. Howe aj. zkoumali frekvenční posuvy nízkých složek módů p slunečních oscilací získávaných plynule šesti dálkově ovládanými slunečními teleskopy projektu *BiSON* (*Birmingham Solar Oscillations Network*) od r. 1985 do r. 2016. Údaje o kolísání oscilací nejlépe korelují se změnami sluneční aktivity v rádiovém pásmu 107 mm (2,8 GHz). Autoři zjistili, že během 23. cyklu sluneční činnosti se tato korelace porušila, nejvýrazněji pro nejnižší módy. Oscilace módů *p* vznikají díky akustickým vlnám, jež procházejí jádrem Slunce, ale jsou pak citlivé na poruchy ve vnějších vrstvách Slunce, takže představují výborné diagnostické sondy do sluneční dynamiky a těsně podpovrchové struktury. Autoři se proto domnívají, že uvnitř Slunce probíhá od 23. cyklu významná přestavba slunečního dynama, a dokonce nalézájí souvislost se stejně starými hvězdami slunečního typu, které takové přestavby už prodělaly v době, kdy jejich periody rotace se prodloužily nad 20 d. Autoři též předpovídali, že minimum 24. cyklu připadne na léto roku 2019.

K podobnému závěru dospěli F. Rahmanifard aj., kteří zjistili, že v letech 2005-2009 probíhalo protáhlé minimum sluneční činnosti, jež se stalo předzvěstí dlouhého minima sluneční aktivity. Indukce heliosférického magnetického pole ve vzdálenosti 1 au od Slunce v době Maunderova minima mohla podle modelových výpočtů klesnout na $(3,1 \pm 0,4)$ nT a v současné době činí jen 1,5 nT.

Není proto divu, že si komentátor týdeníku *Science* K. T. Smith položil provokativní otázku: *Je Slunce vzorem hvězd slunečního typu?* A. Strugarek aj. však prokázali svými simulacemi vzniku a chování magnetického dynama, jež vzniká v turbulentní konvektivní vrstvě hvězd slunečního typu, že magnetická dynamika v nitrech hvězd slunečního typu se chovají v průběhu času nelineárně, takže Slunce je opravdu hvězdou slunečního typu.

L. Kitchatinov a A. Nepomnyashchikh propočítali **model slunečního dynama** zahrnující diferenciální rotaci slunečních vrstev. Model doveď vysvětlit jak typické přeplování během následujících cyklů sluneční aktivity. Toroidální magnetické pole s indukcí řádu $\sim 0,5$ T se nachází poblíž základny konvektivní zóny a celková energie velkorozměrového heliomagnetického pole dosahuje hodnoty 10^{30} J.

Souhrnnou studii o historii i současných poznatkách při měření **magnetických polí** zveřejnili A. Balogh a R. von Steiger. Během posledních dekad teoretických i pozorovacích výzkumů struktury a proměn slunečních magnetických polí a jejich prodloužení do meziplanetárního prostoru nastal významný pokrok v popisu vzniku a udržování polí jak v nitru Slunce, tak i na jeho povrchu a ve sluneční atmosféře i heliosféře. Zejména se podařilo shromáždit obrovské množství pozorovacích údajů z pozemních dalekohledů, ale zejména kosmických observatoří. Umožnilo to podstatně zlepšit fenomenologický popis, jenž potvrdil, že magnetická pole hrají klíčovou roli v chování všech složek slunečních struktur. Základem pro hlubší fyzikální pochopení slunečního magnetismu je existence jedenáctileté periody sluneční činnosti. V r. 1908 objevil G. Hale pomocí magnetografu Zeemanův rozštěp spektrálních čar ve slunečních skvrnách a podal tím první důkaz o existenci silných **magnetických polí** na Slunci. Na jeho objev pak navázal až v r. 1953 H. Babcock, když zjistil dokonalejším fotoelektrickým magnetografem, že indukce celkového magnetického pole Slunce dosahuje 0,1 mT a i toto pole střídá polaritu v jedenáctileté periodě. Babcock následně zahájil na Wilsonově hoře v Kalifornii soustavné pozorování magnetických polí na Slunci.

V r. 1969 využil R. Leighton těchto měření k sestrojení prvního fyzikálního modelu **slunečních magnetických polí** a jejich periodických časových proměn. Stále dokonalejší magnetometry a spektropolarimetrie pak přinášely nové objevy. Zejména se ukázalo, že lokální povrchová magnetická pole jsou silně proměnná a magnetické toky probíhají v tenkých strukturách, jež se vynořují z podfotosférických slunečních vrstev. Podrobná měření magnetických polí ve sluneční fotosféře, chromosféře i koróně však jsou velmi obtížná. Nástup kosmonautiky umožnil měřit **heliosférická magnetická pole** o indukci ~ 5 nT s přesností na < 1 nT. Měření potvrdila, že zdrojem tohoto interplanetárního pole je magnetické pole Slunce, jak to předpovíděl E. Parker svým hydrodynamickým modelem koronální aktivity už v r. 1955. V poslední době přispívají k revizi našich poznatků o strukturách a proměnách slunečních magnetických polí již zmíněné balónové výstupy observatoře *Sunrise* a sluneční kosmické observatoře nové generace.

B. Kakad aj. odhadli **maximum budoucího 25. cyklu sluneční činnosti** pomocí odhadu Shannonovy entropie během sestupné fáze

předešlého 24. cyklu. Odtud odhadli, že vyhlazené maximum 25. cyklu dosáhne relativního čísla (63 ± 11) , jež by svědčilo o nástupu dalšího minima Daltonova cyklu. Také J. Javaraiah dospěl k závěru, že jak 25. cyklus, tak i následující 26. cyklus sluneční činnosti budou slabší než cykly předchozí. Autor se domnívá, že se mezi 25. a 26. cyklem ocitneme v minimu Gleissbergova cyklu. Teprvé 27. cyklus začne novou fazí zesilování, která bude pokračovat i ve 28. a 29. cyklu, kdy Gleissbergův cyklus dospěje do maxima. Naproti tomu A. Singh a A. Bhargawa na základě analýzy průběhu sluneční činnosti v letech 1976–2016 pomocí Hurstova exponentu odhadli, že maximální vyhlazené relativní číslo slunečních skvrn dosáhne v 25. cyklu hodnoty (103 ± 25) , přičemž cyklus začne v lednu 2021, maximum nastane v červnu 2024 a cyklus skončí v září 2031.

D. Schmidt aj. shrnuli přednosti nové kamery založené na **multikonjugované adaptivní optice** (MCAO) nového slunečního teleskopu ($\phi 1,6\text{ m}$) na severním okraji jezera *Big Bear Lake* v Kalifornii ($2,1\text{ km n. m.}$). Systém obsahuje tři „plovoucí“ zrcadla, jež korigují atmosférickou turbulenci v poli o průměru $53'$. Umožňuje to sledování jak sluneční erupce i koronální výrony hmoty, ale i celé sluneční skvrny o průměru až $30\,000\text{ km}$ s rekordním úhlovým a lineárním rozlišením. Kamera přitom dokáže pozorovat s kadencí až $2\,000$ snímků za sekundu! Současně díky multikonjugované optice může současně pracovat ve třech výškách s roztečemi 5 km . Aparatura vznikla ve spolupráci amerických a německých astronomů.

M. Meftah aj. zveřejnili zlepšené parametry slunečního spektra v pásmu $656+3\,088\text{ nm}$ pořízeného spektrometrem SOLSPEC na palubě ISS. Tvar spektra dobře souhlasí s výsledky měření aparatury ATLAS 3 v pásmu $656+1\,600\text{ nm}$, ale liší se pro delší vlnové délky.

T. Gombosi připomněl, že tzv. **kosmické počasí** vyvolávané změnami sluneční aktivity v celé heliosféře bylo od konce 19. stol. ovlivňováno antropogenními efekty, které zesílily v 60. letech 20. stol., kdy USA a SSSR prováděly testy jaderných zbraní. Explosy v atmosféře vyvolávaly silné elektromagneticke pulsy v rozloze celých kontinentů. Současně vytvářely v kosmickém prostoru umělé radiační pásy, jež poškodily řadu umělých družic Země. Kosmické počasí bylo dále ovlivňováno rozprašováním chemických sloučenin, vysíláním vysokofrekvenčních rádiových signálů do ionosféry a jejich interakcí s přirodními radiačními pásy.

D. Knippová aj. zveřejnili obsáhlou zprávu o **největší rádiové a geomagnetické sluneční bouři**, jež se odehrála ve XX. století koncem května 1967, půlroku roku před maximem 20. cyklu sluneční činnosti. Tato událost přiblížila svět k jaderné válce, protože tři vojenské radary (Aljaška, Grónsko a Velká Británie) včasné výstrahy sítě NORAD (*North American Air Defense Command*) byly 27. května oslepeny rádiovým rušením. Velení NORAD se zprvu domnívalo, že jde o sovětské rádiové rušení, proto odstartovaly bombardéry s jadernými pumami a jejich posádky čekaly ve vzdachu na rozkaz zahájit odvetný útok. Naštěstí v té době už měli američtí astronomové aparaturu ke dlouhodobému sledování sluneční aktivity a znali případné důsledky oslepení radarů. Upozornili proto velení NORAD, že příčinou rušení je Slunce a poplach byl odvolán.

Jak autoři studie uvádějí, příčinou rádiové bouře byla silná erupce z 23. května 1967 v **aktivní oblasti McMath 8818** na východním okraji slunečního disku 17.5° , prošla centrálním polevníkem 25.5° a zapadla 31.5° . Během pozorování vzplálo v této aktivní oblasti celkem 76 silných erupcí! Autoři citují i čs. astronomy L. Křivského a S. Pintéra, kteří našli v měřeních neutronového monitoru družice *Vela* silně zvýšení toku energetických čistic vyvolané nejsilnější erupcí. Dále zdůrazňují významnou úlohu amerického astronoma D. Menzela, který již v r. 1948 začal organizovat americkou a posléze mezinárodní synoptickou síť slunečních observatoří nejenom v optickém, ale i rádiovém oboru spektra, která se pak rozšířila o patrolní službu i v rentgenové oblasti slunečního spektra. Díky dlouholetému nepřetržitému monitorování Slunce zachránili američtí sluneční astronomové svět před jadernou válkou.

Astronomický časopis **Solar Physics** založený v r. 1967 holandským astrofyzikem Cornelisem de Jagerem (*1921) a jeho českým kolegou Zdeňkem Švestkou (1925–2013) ukončil v listopadu 2017 vydávání tištěné verze, která vycházela měsíčně po dobu 51 let (292 svazků, 640 čísel, přes 10 tis. vědeckých článků, 130 tis. stran a 8,5 metrů v knižní polici). Od ledna 2018 přešel na výhradně elektronickou verzi. Články budou umisťovány na webový portál časopisu ihned po korekturách

a identifikovány jmény autorů, názvem časopisu a čísly svazku a článku, resp. indexem DOI (*Digital Object Identifier*).

2. Hvězdný vesmír

2.1. Exoplanety

M. Laychakova upozornila na velmi mladou (stáří jen $2,2\text{ mil. let}$) proměnnou hvězdu **V830 Tau** (12 mag; $M_0 = 4,2\text{ kK}$; $2,0\text{ R}_\odot$; $1,0\text{ M}_\odot$; rotační perioda $2,7\text{ d}$; 150 pc), u níž J. Donati aj. odhalili po tříletém měření kolísání radiální rychlosti hvězdy v periodě $4,9\text{ d}$ exoplanetu o hmotnosti $0,7\text{ M}_\oplus$, která obíhá $8,6\text{ mil. km}$ od hvězdy. Protože jde o velmi mladou hvězdu, museli se autoři vyrovnat s její velkou magnetickou aktivitou, takže měření a izolace oběžné periody planet v letech 2013–2016 zabrala 510 h u $3,6\text{m}$ teleskopu CFHT, 450 h u Lyotova 2m teleskopu na Pic du Midi a 135 h u $3,6\text{m}$ teleskopu ESO na La Silla. Nakonec se podařilo určit amplitudu kolísání radiální rychlosti hvězdy $(68 \pm 11)\text{ m/s}$. Jde zatím o nejmladší planetu třídy horkých Jupiterů, která vznikla velmi rychle u ještě ne zcela dotvořené hvězdy, jak o tom svědčí její velký poloměr v porovnání s hmotností.

M. Gillon aj. ukázali na základě pozorovací kampaně v r. 2016 u dalekohledu VLT ESO, Spitzerova kosmického dalekohledu (SST), robotických teleskopů TRAPPIST v Chile a v Maroku, $3,8\text{m}$ UKIRT na Havaji, 4m Herschelova a 2m liverpoolského teleskopu na La Palmě a ještě jihoafrického $1,0\text{m}$ teleskopu, že miniaturní planetární soustavu u hvězdy TRAPPIST-1 tvoří celkem 7 exoplanet. Prvních šest má oběžné periody v rezonancích $(1,51; 2,42; 4,04; 6,06; 9,1; 12,35\text{ d})$. Sedmá nejvzdálenější exoplaneta h má zatím nepřesně známou periodu $(20 +15/-6)\text{ d}$. Všech sedm planet obíhá ve stejně rovině po téměř kruhových dráhách ve vzdálenostech $1,7 \div 9,45\text{ mil. km}$ od hvězdy. Jejich poloměry se pohybují v rozmezí $0,8 \div 1,1\text{ R}_\oplus$; hmotnosti prvních šesti $0,4 \div 1,4\text{ M}_\oplus$; povrchové teploty $400 \div 168\text{ K}$ a hustoty $0,6 \div 1,2\text{ hustoty Země}$. Tyto údaje si vyžádaly celkem $1\,333\text{ h}$ pozorovacího času, z toho nejvíce na SST (518h) a robotickém $0,6\text{m}$ teleskopu TRAPPIST-South v Chile (469 h). R. Luger aj. studovali systém pomocí družice Kepler v program K2 a doplnili tak údaje o exoplanetě h . Oběžná doba činí $18,8\text{ d}$ a její poloměr $0,75\text{ R}_\oplus$. M. Gillon aj. tvrdí, že zmíněná rezonance svědčí o dlouhodobé stabilitě jejich dráh. Z toho vydodili, že planety vznikly ve větší vzdálenosti od hvězdy, a do současné konfigurace se dostaly migrací. Mateřský červený trpaslík má nyní rotační periodu $3,3\text{ d}$. A. Burgasser a E. Mamajek odvodili z metalicity trpaslíka, že jeho stáří se pohybuje kolem $7,6\text{ Gr}$ s chybou $\pm 30\%$. A. Boss aj. revidovali vzdálenost soustavy na $(12,6 \pm 0,1)\text{ pc}$ a pomocí přesné astrometrie vyloučili, že by soustava obsahovala obří plynné planety s hmotností $>4,6\text{ M}_\oplus$ v oběžné periodě 1 rok, anebo s hmotností $1,6\text{ M}_\oplus$ s periodou 5 let.

K. Kislyakova aj. vyšli z údajů o indukci magnetického pole velmi chladného červeného trpaslíka TRAPPIST-1, která dosahuje hodnoty $0,06\text{ T}$. Odtud vydodili, že na exoplanetách obíhajících kolem této hvězdy dochází k silnému ohřevu elektromagnetickou indukcí. Pokud je osa magnetického dipolu mateřské hvězdy skloněna k ose její rotace, musí docházet k silnému ohřevu pláště nejbližších čtyř exoplanet a k mocné vulkanické činnosti na jejich povrchu, případně i ke vzniku oceánu žhavého magmatu. Pouze tři nejvzdálenější exoplanety nebudou magnetismem hvězdy významně ovlivněny. K podobnému závěru dospěli C. Garraffova aj., kteří upozornili, že v blízkém okoli červených trpaslíků jsou atmosféry planet silně ohroženy hvězdným větrem, elektromagnetismem a urychlenými částicemi. Planety v okolí hvězdy TRAPPIST-1 jsou vystaveny tlaku hvězdného větru, jehož tlak je pro jednotlivé planety o tři až pět řádů vyšší než v okolí Země vinou Slunce. Magnetosféry planet jsou díky tomu silně stlačeny, proto jsou propojeny s interplanetární magnetosférou hvězdy, jež se pak rychle obnažuje a vypařuje jejich atmosféry. Tato okolnost prakticky zne možuje rozvoj života. P. Wheatley aj. pozorovali mateřskou hvězdu této bohaté planetární soustavy pomocí rentgenové družice Newton. Ukázali, že hvězda je silným zdrojem XUV záření vznikajícím v korónně. Ačkoliv bolometrický zářivý výkon hvězdy je podstatně nižší než u Slunce, její výkon v pásmu XUV je se Sluncem srovnatelný. Jelikož je planetární soustava rozměrově miniaturní, jsou atmosféry exoplanet vystaveny velkému zářivému stresu, což významně komplikuje podmínky pro vznik a vývoj života. Zároveň se ukazuje, že výskyt ekosfér kolem mateřských hvězd ovlivňují významně mnohé další faktory než jen pouhý výskyt kapalné vody.

K. Garcia-Sage aj. poukázali na podobný efekt pro planetu *b* u hvězdy **Proxima Centauri**, která je typickým červeným trpaslíkem se silnou magnetickou a radiační aktivitou. Zajména kolem magnetických pólů planety dochází proto k erozi atmosféry, což je efekt, který pozorujeme kolem magnetických pólů Země navzdory zcela nepatrné sluneční agresi. Kdyby naše Země byla k Proximě tak blízko jako její exoplaneta *b*, o svou atmosféru by rychle přišla. G. Anglada aj. objevili aparaturou ALMA v pásmu 1,3 mm **prachový pás** ve vzdálenostech 1÷4 au od *Proxymy* s charakteristickou teplotou 40 K. Podle autorů by mohlo jít o analogii *Edgeworthova-Kuiperova pásu* u Slunce. Jeho souhrnná hmotnost dosahuje asi 1% M_z . Dokonce je možné, že v tomto pásu se nachází další exoplaneta. Rovněž není vyloučeno, že další šikmo skloněný pás o teplotě 10 K se nachází ve vzdálenosti 30 au od hvězdy. Až budou v provozu plánované obří teleskopy, nejspíš se ukáže, že planetární soustava kolem Proximy je složitější, než si myslíme. A. Bixel a D. Apai odhadli hlavní parametry **exoplanety b**. Na základě modelových výpočtů usoudili, že s pravděpodobností 90 % půjde o kamennou planetu o poloměru 1,1 R_z a hmotnosti 1,6 M_z .

X. Bonfils aj. využili extrémně přesného spektrografova HARPS instalovaného u 3,6m reflektoru ESO na La Silla k identifikaci exoplanety u hvězdy **Ross 128** (*Vir*; 11 mag; M4 V; 3,2 kK; 0,2 R_\odot ; 0,17 M_\odot ; 0,004 L_\odot ; rotační per. 121 d; stáří >5 Gr; 3,4 pc). Planeta *b* obíhá kolem hvězdy v periodě 9,9 d po kruhové dráze o poloměru 7,5 mil. km. Má minimální hmotnost 1,35 M_z a je po *Proximě Centauri b* druhou nejbližší exoplanetou, přičemž mateřská hvězda je dostatečně stará, takže je mnohem klidnější než eruptivní trpaslík *Proxima*. V porovnání se Zemí dostává *Ross 128b* o 38 % více zářivého výkonu, než kolik dodává Slunce Zemi, a na rozdíl od *Proxymy* nejeví silné erupce, neboť vzhledem ke svému stáří rotuje pomalu a má výrazně slabší indukci magnetického pole, takže exoplaneta si určitě zachovala rozsáhlou atmosféru. Autoři odhadli, že průměrná teplota povrchu exoplanety se pohybuje v rozmezí $-60 \div +20^\circ\text{C}$.

Na observatoři ESO na Cerro Paranal byl u *VLT* teleskopu UT3 instalován spektropolarimetrický **SPHERE** (*Spectro-Polarimetric High-contrast Exoplanet REsearch*) s pokročilým systémem adaptivní optiky, primárně určený pro zobrazování a další charakteristiky jasnejších exoplanet. O. Wertz aj. se zaměřili na již rozlišený planetární systém hvězdy **HR 8799** (*Peg*; 6,0 mag; A5; 7,4 kK; 1,3 R_\odot ; 1,5 M_\odot ; 4,9 L_\odot ; 39 pc; stáří 30 mil. r), tvořený čtyřmi obřími planetami. Nejblíže ke hvězdě obíhá planeta *e* (15 au, oběžná doba 48 let), druhá v pořadí je *d* (22 au, 87 let), třetí *c* (36 au, 174 let) a nejvzdálenější *b* (68 au, 396 let). Všechny planety s výjimkou *d* obíhají po dráhách téměř kruhových, zatímco výštednost dráhy *d* dosahuje 0,35. Nejvzdálenější planeta *b* má hmotnost $\sim 5 M_z$; ostatní tři mají zhruba stejnou hmotnost 7 M_z .

J. de Wit aj. pozorovali pomocí *SST* hvězdu **HAT-P-2** v infračerveném pásmu 4,5 μm po dobu 350 h. Zjistili, že kolem ní obíhá po vysoce eliptické dráze s výštedností 0,5 velmi hmotná exoplaneta (8 M_z) v krátké oběžné době 5,6 d. Vždy 5,4 h po průchodu planety periastrem se hvězda nápadně zjasní, což je nejspíš vyvoláno slapy na hvězdě, zatímco povrchová teplota polokoule planety přivrácené ke hvězdě stoupne na 2,4 kK. Takové interakce byly až dosud pozorovány pouze o hvězdných páru s excentrickými dráhami. Nyní se ukazuje, že i hmotná planeta dokáže měřitelně ovlivnit jasnost hvězdy.

S. Gaudi s početným mezinárodním týmem ze 47 observatoří zjistili, že kolem hvězdy **HD 195689** (= *Kelt-9*; 7,6 mag; sp. B9.5-A1; 10,1 kK; 190 pc) obíhá v periodě 1,5 d planeta **Kelt-9b** (1,9 R_z ; 2,9 M_z ; hustota 0,53× Jupiteru), jejíž polokoule přivrácená ke hvězdě je rozpálena až na 4,6 kK, což odpovídá teplotě povrchu raných hvězd třídy K! Planeta má slapořevázanou rotaci (jako naš Měsíc vůči Zemi). Při této teplotě disociují molekuly i všech žáruvzdorných prvků na neutrální a ionizované atomy včetně Fe a Ti. Výskyt těchto prvků na exoplanetě je velkým překvapením. Silné UV záření mateřské hvězdy vyvolává ztrátu hmoty vnějšího obalu obří planety, takže během relativně krátkého života mateřské hvězdy na hlavní posloupnosti zbude z planety jen její jádro.

Také T. Evans aj. zjistili vysokou teplotu obří plynové exoplanety **WASP-121b**, jejíž stratosféra je rozpálena na 2,5 kK. Infračervená pozorování ukázala, že ve stratosféře se nachází vodní pára a ozónová vrstva, která způsobuje, že podobně jako u Země se nad spodní troposférou, v níž teplota s výškou klesá, nachází horní vrstva v podobě stratosféry, kde naopak teplota s výškou roste. Za tuto inverzi může právě ozón, který vydatně pohlcuje ultrafialové záření hvězdy. Rozhraní mezi těmito vrstvami (tropopauza a stratopauza) má však

stabilní teplotu. Autoři se zaměřili na spektrální pásmo 1,1÷1,6 μm pomocí kamery *WFC3 HST*, zatím však nepotvrdili odhad, že u velmi horkých jupiterů sehrájí roli ozónu molekuly TiO a VO (oxidu titanu a vanadu). Vzápětí však E. Sedaghati aj. identifikovali molekuly TiO v atmosféře horkého jupiteru **WASP-19b**. Autoři též uvedli, že v atmosférách horkých jupiterů byly již nalezeny molekuly obsahující H, O, C, Na a K.

J. Gagne aj. studovali objekt **SIMP J0136+0933** ve vzdálenosti 6 pc, jenž byl původně klasifikován jako proměnný hnědý trpaslík sp. třídy T2.5, který patří do mladé (200 mil. let) pohybové skupiny hvězd v souhvězdí Lodního kýlu (*Car*). Autoři však dokázali, že poloměr objektu činí jen 1,0 R_\odot , protože se jím podařilo změřit rotační rychlosť i délku periody rotace. Odtud pak odvodili, že stáří objektu je určitě <950 mil. let a jeho hmotnost je 13 M_\odot , takže nejde o hnědýho trpaslíka, ale o **osamélý objekt** na rozhraní mezi těmito trpaslíky a nejménějšími exoplanetami, který je navíc velmi blízko. Proto bude možné určit parametry jeho atmosféry neovlivněné mateřskou hvězdou. Objevit osamělou exoplanetu je obtížné, ale nový objev naznačuje, že takových těles je v galaxiích překvapivě mnoho.

Dokazuje to pozorování objektu **OTS 44** ve vzdálenosti 160 pc, jenž podle A. Bayové aj. patří mezi pouhé čtyři známé osamělé exoplanety, obklopené prachovými disky. Měření na observatoři *ALMA* v pásmu 233 GHz (vlnová délka 1,3 mm) ukázala, že hmotnost disku se pohybuje v rozmezí 0,07÷0,63 M_z . Naznačuje to, že *podíl hmotnosti prachového disku a hmotnosti objektu je týž jak pro planety, tak pro hnědé trpaslíky i mladé hvězdy*.

Hvězda **τ Ceti** je populární díky projektu *OZMA*, v jehož průběhu se v r. 1960 pokoušeli F. Drake aj. najít rádiové signály mimozemšťanů, protože jde o hvězdu slunečního typu nedaleko od nás (G8 V; 3,65 pc). F. Feng aj. ji v posledních letech zkoumali pomocí spektrografova HARPS u 3,6m teleskopu ESO na La Silla a rostoucí počet měření pomohl jednak zpřesnit údaje o již dříve objevených exoplanetách, ale objevit další exoplanety *g* (mezi *b* a *c*) a *h* (mezi *c* a *d*). Soustava tedy obsahuje 7 exoplanet ve vzdálenostech 0,10÷1,33 au, v periodách 14÷636 d a hmotnostech 0,8÷4,0 M_z . Jde o měření na hranici technických možností, protože nepřesnost v určení radiálních rychlostí klesla na 0,2 m/s! Exoplanety *e* a *f* se pravděpodobně nacházejí v ekosféře, pro výskyt života jsou však příliš hmotné.

C. Shallue a A. Vanderburg vytvořili program *umělé inteligence* k hledání exoplanet v datech projektu družice **Kepler**. Program usnadňuje hledání více exoplanet u zkoumané hvězdy na základě komplikovaného průběhu světelných křivek, jež mají nízký poměr signálu k šumu. Tak se jim podařilo potvrdit šest exoplanet u hvězdy **Kepler-80** (Cyg; 15 mag; M0 V; 0,7 R_\odot ; 0,8 M_\odot ; 4,5 kK; 0,17 L_\odot ; rotační per. 26 d; 370 pc) a dokonc rekordní počet osmi planet u hvězdy **Kepler-90** (1,3 R_\odot ; 1,1 M_\odot ; 6,0 kK; 780 pc). Jde zatím o nejvyšší počet objevených exoplanet u jediné hvězdy, dokonce rovnocenný s počtem planet Sluneční soustavy. Dokonce je nápadné, že architektury Sluneční soustavy a soustavy **Kepler-90** se navzájem podobají. Blíže k mateřské hvězdě se nacházejí menší kompaktní planety, kdežto plynní ledoví obři se vyskytují až za sněžnou čarou obklopující mateřskou hvězdu. Autoři spekulují, že soustava **Kepler-90** byla původně rozsáhlější, ale vinou migrace protoplanetárního disku směrem k mateřské hvězdě je teď zcela natěsnána v poloměru 1 au od hvězdy. V každém případě je zřejmé, že v obsáhlé databázi družice **Kepler** se podaří početnými metodami zpracování nalézt ještě mnoho dalších exoplanet.

Y. Hu aj. se zabývali odhady fyzikálních a chemických podmínek na planetu **K-452b**, jenž je považována za *první exoplanetu podobnou Zemi*, která se nachází v ekosféře hvězdy podobné Slunci (Cyg, 1944+4417; 13,4 mag; G2 V; 5,8 kK; 1,1 R_\odot ; 1,2 M_\odot ; 1,2 L_\odot ; 560 pc; 6 Gr). Autoři vypracovali trojrozměrný model atmosféry i oceánu na povrchu exoplanety *b* ($a = 1,0$ au; oběžná perioda 385 d; 1,5 R_z ; 5 M_z). Simulace ukázaly, že pokud je obsah CO_2 v atmosféře stejný nebo nižší než na Zemi, planeta je v ekosféře mateřské hvězdy. Problémem však může být deficit zvětrávání silikátů, jenž by mohlo zvýšit koncentraci CO_2 a přehrát planetu, takže vůči Zemi příliš hmotnou planetu by postihl nejpozději po 500 mil. letech překotný skleníkový efekt.

S. Rappaport aj. se zaměřili na podrobnou analýzu světelné křivky hvězdy **KIC 3542116** (Cyg: 1922+3841; 9,7 mag; F2 V; 6,9 kK; 1,6 R_\odot ; 1,5 M_\odot ; 260 pc), která vznikla v průběhu základní činnosti družice Kepler od dubna 2009 do května 2013. Autoři objevili šest krátkodobých asymetrických poklesů jasnosti hvězdy s relativně rychlým

poklesem jasnosti a pak pomalejším návratem k normální jasnosti hvězdy. Tři hlubší poklesy jasnosti měly amplitudy poklesu 0,1 % a trvaly celý den; další tři byly podstatně mělčí a kratší. Autoři zkoumali světelné křivky vizuálně a vyloučili, že by šlo o poruchy v měření. Z pozorování tak vyplynulo, že poklesy jasnosti byly způsobeny přechody komet přes disk hvězdy, přičemž oběžná rychlosť přechodů se pohybovala u hlubších poklesů jasnosti v rozmezí 35–50 km/s a pro mělčí v rozmezí 75–90 km/s a hmotnost prachových chvostů přesahovala 10^{13} kg. To znamená, že úhrnná hmotnost tranzituujících komet musela být větší než 3.10^{14} kg, takže byla srovnatelná s hmotností Halleyovy komety. Nezávisle autoři objevili jeden podobný pokles jasnosti také u hvězdy KIC 11084727 (1929+4841; 9,9 mag; F2 V; 6,8 kK; 1,6 R_⊕; 1,4 M_⊕; 250 pc), ježíž základní vlastnosti i tvar poklesu jasnosti byly velmi podobné.

S. Mills a D. Fabrycky určili parametry jedné z nejstarších planetárních soustav kolem hvězdy K-444 (*Lyr*; 8,9 mag; K0 V; 5,0 kK; 0,75 R_⊕; 0,76 M_⊕; 36 pc; rotační per. 49 d; 11 Gr!). Jde o velmi kompaktní soustavu s pěti tranzituujícími exoplanetami vesměs menšími než Země. Všechny planety jsou doslova nalepeny na mateřskou hvězdu, protože obíhají kolem ní v periodách 3,6÷9,8 d!! Autoři určili oběžné doby planet s udívající relativní přesnosti rádu 10^{-5} a dále jejich poloměry v rozmezí 0,4÷0,8 R_⊕ a hmotnosti v rozmezí $(1,3\div4,5)\cdot10^{-7}$ M_⊕. Pro planety *d* a *e* se podařilo velmi přesně určit jejich hmotnosti po řadě 0,036 M_⊕ a 0,034 M_⊕. Aby těch překvapení nebylo málo, tak ve vzdálenosti 60 au od miniaturní planetární soustavy se nalézá těsná dvojhvězda dvou červených trpaslíků, jež obíhá kolem hvězdy K-444 v periodě 460 let. Není jasné, jak se natolik podivuhodná konfigurace po tak dlouhé vývoji vytvořila.

E. Sinukoff aj. dokázali změřit přesně hmotnosti a hustoty dvou exoplanet o velikostech srovnatelných s Neptunem a objevených držící Kepler v programu K2. První z nich, K2-66b, je o něco menší než Neptun (2,5 R_⊕), obíhá kolem mateřské hvězdy v periodě 5,1 d a má hmotnost 21 M_⊕. Jelikož mateřská hvězda (12 mag; 5,9 kK; 1,7 R_⊕; 1,1 M_⊕) směřuje k věti podobrů, je planeta vystavena dvojnásobnému ozáření proti minulosti, kdy se hvězda nacházela ještě na hlavní posloupnosti. Takové hvězdy obecně vytvářejí kolem sebe *fotovypařující poušť*, takže výskyt exoplanety je překvapující. Střední hustota exoplanety je ostatně enormní (7,8× voda). Druhá exoplaneta K2-106b má poloměr 1,8 R_⊕ a obíhá kolem mateřské hvězdy ve velmi krátké periodě 13,7 h. Je 9x hmotnější než Země, takže její střední hustota je rovněž enormní (8,6× voda). Obě exoplanety jsou tedy určitě kamenné a na povrchu tak rozžhavené, že pravděpodobně nemají žádnou atmosféru.

E. Starovoit a A. Rodin zveřejnili výsledky dlouhodobého sledování kolísání periody pulsaru PSR B0329+54 (*Cam*; vzdálenost 1,1 kpc; per. 0,71 s) na radioastronomické observatoři *Puščino* v letech 1968–2012 (frekvence 102 a 111 MHz) a rovněž pomocí radioteleskopů DSS 13 a DSS 14 JPL v Kalifornii (2 388 MHz) i 64m radioteleskopu na Kallazinské observatoři (610 MHz). *Periodické variace vůči barycentru potvrdily existenci exoplanety o hmotnosti 2 M_⊕ obíhající v periodě 27,8 let s velkou poloosou výstředné (e = 0,24) dráhy 10,3 au.* Naproti tomu měření nepotvrdila údajnou existence druhé exoplanety s oběžnou dobou 3 r. J. Greavesová a W. Holland se pokusili vysvětlit existence planet u pulsarů tím, že pulsary mají díky utržení z gravitačního řetězu vysoké prostorové rychlosti, takže před nimi ve směru letu vzniká oblouková rázová vlna, kolem nich se vyskytuje prachová obálka a za pulsarem se prostírá brázda. Pulsar si proto sebou veze dostatek materiálu pro vznik exoplanet.

N. Koshimoto a dva velké týmy na jižní polokouli zveřejnili výsledky pozorování exoplanety OGLE-2012-BLG-0950Lb pomocí gravitačního mikročočkování. Na studii se podílely polský tým OGLE s 1,3m teleskopem na observatoři Las Campanas v Chile a japonsko-novozélandský tým MOA s 1,8m teleskopem na observatoři Mt. John na Novém Zélandu. Mikročočkování úkazu v Chile započalo 21. června 2012 v poloze 1808-2944, zatímco na Novém Zélandu až 9. srpna 2012. Dlouhé trvání úkazu (témař rok) umožnilo pořídit kalibrační snímky na 10m Keckově teleskopu na Mauna Kea. Díky tomu se podařilo objevit malý „zoubek“ na sestupné části čočkované světelné křivky, který ukázal, že kolem čočkované hvězdy o hmotnosti 0,6 M_⊕ obíhá v projekční vzdálenosti 2,6 au exoplaneta s hmotností 35 M_⊕. Zatímco čočkovanou hvězdou byl trpaslík na rozhraní spektrálních tříd M/K, exoplaneta se svou hmotností nachází na rozhraní mezi Neptunem a subSaturnem. Celý systém se nalézá ve vzdálenosti 3,0

kpc od Slunce. Pro objevy planetárních soustav ve velkých vzdálenostech od nás je zatím metoda gravitačních mikročoček nejcitlivější.

J. Dittmann a další velký tým ukázali, že 75 % hvězd v Galaxii má hmotnost <0,6 M_⊕. Exoplaneta byla již objevena i u nejbližšího červeného trpaslíka *Proximy Centauri* (M5.5 Ve; 0,12 M_⊕), ale její hmotnost zatím neznáme. Také hmotnosti a zejména hustoty exoplanet v bohaté exoplanetární soustavě *TRAPPIST-1* nejsou dostatečně přesné. Autoři však objevili exoplanetu u trpasličí chladné hvězdy LHS 1140, jež je od Slunce vzdálena jen 12,5 pc. Její hmotnost činí jen 0,15 M_⊕ a poloměr 0,19 R_⊕. Nízká metalicitá a dlouhá rotační perioda hvězdy (131 d) poukazuje na vysoké stáří tohoto trpaslíka. Pomocí fotometrie a spektroskopie hvězdy se autorům podařilo zjistit, že kolem této hvězdy obíhá exoplaneta v periodě 24,7 d s výstředností dráhy <0,3 a velké poloose oběžné elipsy 13 mil. km. Hodnoty její hmotnosti 6,65 M_⊕ a poloměru 1,43 R_⊕ poukazují na složení pláště exoplanety zejména z hořčíku a křemičitu a železné jádro o relativně vyšší hmotnosti, než má Zem. Střední hustota planety je extrémně vysoká (12× voda). Planetu pravděpodobně neobklopuje měřitelná plynová atmosféra. U exoplanet červených trpaslíků lze očekávat, že k udržování tekuté vody na povrchu stačí 20% ozáření, které přichází ze Slunce na Zemi. Exoplaneta LHS 1140b dostává v současné době 46% ozáření. Stáří exoplanety i hvězdy určité přesahuje 5 mld. let. Protože raná hvězda produkovala více záření – a zejména jeho UV složku – lze odhadnout, že počátek ekosféry na planetě byl odložen o minimálně 40 mil. let. Pak však nastal překotný skleník, voda ve vysoké atmosféře disociovala a vodík unikl do prostoru. Atmosféra pak obsahovala jen abiotické plyny O₂, N₂ a CO₂. V poslední době se však ukazuje, že superzemě mohou být pokryty rozsáhlými oceány tekutého magmatu. V takovém případě zůstává voda v pláště planet a následně se může vytvořit sekundární atmosféra s příznivým složením pro život.

S. Hall zdůraznil, že dosavadní výzkumy charakteru exoplanet ukázaly, že kolem hvězd se nejčastěji vyskytuje exoplanetu silně odlišné od těch, které známe ve Sluneční soustavě. Vesmír zřejmě oplývá planetami typu *superzemě* (hmotnosti 5÷10 M_⊕; poloměry 1,2÷2,5 R_⊕). To se nečekalo, protože astronomové měli za to, že zárodky planet o vyšší hmotnosti automaticky posbírají tolik vodíku a helia, že dorostou na urany a neptuny. Tak například exoplaneta 55 Cnc-e klasifikovaná jako superzemě je pokryta tekoucí lávou, takže se Zemi ani trochu nepodobá, takže termín superzemě je zavádějící. Měření SST podle B. Demoryho navíc ukázala, že navzdory tekoucí lávě se teplo z přivárcené strany exoplanety nepřenáší na noční polokouli a není tam žádný silný větr. Na některých exoplanetách prší sklo nebo dokonce kapky Fe. Hall zdůraznil, že z dosavadních statistik jednoznačně vypadává, že v pozorovatelném vesmíru je více exoplanet než písečných zrn na všech pozemských plážích. Ironií osudu největší podíl připadá na „superzemě“, jak vypadává z dosavadní statistiky projektu *Kepler-1*: Rozsah 1,0÷1,4 R_⊕ (27 %); 1,4÷2,0 R_⊕ (29 %); 2,0÷2,8 R_⊕ (-13 %); 4,0÷5,7 R_⊕ (4 %); 5,7÷11,0 R_⊕ (3 %). V absolutních počtech objevili astronomové na 700 superzemí a 900 minineptunů. S. Thomsonová aj. zveřejnili v červnu 2017 výsledný katalog exoplanet objevených družicí *Kepler-1*: Potvrzených planet je 2 335, ale zbývá ještě 4 034 kandidátů.

P. Mroz aj. se zabývali otázkou, jak rozsáhlá je populace planetárních nomádů o hmotnostech <5 M_⊕. K tomu cíli se nejlépe hodí hledat gravitační mikročočky s krátkou dobou zjasnění (1÷2 dny). Autoři vyhledali v obsáhlých databázích potřebné údaje o takových úkazech za léta 2010–2015. Ve zmiňovaném intervalu nenašli žádný exces, ale našli několik případů zjasnění v trvání <0,5 d. Pokud se to rozsáhlejší statistikou potvrdí, znamenalo by to, že existují početní nomádi typu *superzemě i analogů Země*.

T. Barclay aj. simulovali vznik planet akrecí materiálu ze zárodečného plynoprahového disku, jenž obklopuje vzniklé hvězdy. Zbylý materiál disku zůstane vázán ve vzniklých planetách nebo drobných tělesech planetární soustavy, ale může se také stát součástí interplanetárního prostředí, případně spadne na mateřskou hvězdu, nebo může být ze vzniklé soustavy vymeten. Když autoři do simulací zahrnuli obří planety typu Jupiteru a Saturnu, asi třetina zbylého disku o celkové hmotnosti 5 M_⊕ byla z planetární soustavy vyvržena do interstelárního prostoru, zatímco polovina jeho hmotnosti připadla na kamenné planety hmotnější než Merkur, ale méně hmotné než 1/3 M_⊕. Vymetení materiálu ze soustavy proběhlo během 25 mil. let. Pokud však v soustavě nevzniknou obří planety, potom v průběhu prvních 200 mil. let po vzniku hvězdy ze soustavy neunikne žádný materiál a během 2 mld. let po zrodu se do interstelárního prostoru

dostane pouhé 1 % materiálu zárodečného disku. Vznikající hvězdy vymetou do interstelárního prostoru průměrně 2,5násobek M_{\odot} . Autoři odtud odhadli, že *planet-nomádů nebude v Galaxii příliš mnoho*. Budoucí infračervené dalekohledy na oběžné dráze Země mohou proto objevit nanejvýš 15 nomádů o hmotnosti Marsu a jen pár nomádů o hmotnosti Země.

F. Martinek zveřejnil šest extrémů mezi dosud objevenými planetami: **Nejžhavější:** *Kelt-9b*: 4,6 kK na straně přivrácené ke hvězdě *HD 195689* (Sp B9-A1). **Nejchladnější:** *OGLE-2005-BLG-390Lb*: - 220 °C; obíhá ve vzdálenostech 2÷4 au od hvězdy sp. třídy M4.5 V. **Nejmenší:** *Kepler-37b*: poloměr 2 250 km (0,35 R_{\oplus}); mateřská hvězda G8 V; 0,8 M_{\odot} . **Nejstarší:** *PSR B1320-26b*: stáří 12,2 Gr; cirkumbinární kolem těsně dvojhvězdy složené z neutronové hvězdy (1,35 M_{\odot}) a bílého trpaslíka (0,34 M_{\odot}). **Nejmladší:** *V830 Tau b*: stáří 2 mil. let, mateřská hvězda sp. M0 V (1 M_{\odot}). **Nejhorší počasí:** *Venuše*: 462 °C; 95 % CO_2 v atmosféře; *uragán* 360 km/h; děšť H_2SO_4 .

2.2. Hnědí trpaslíci

J. Chilcote a rozsáhlý mezinárodní tým využili výkonného zobrazovače *GPI* u 8,1m teleskopu *Gemini-S* (Cerro Tololo; 2,7 km n. m.) k zobrazení objektu *b* u hvězdy β Pictoris, jenž byl zatím považován za exoplanetu, protože měl hmotnost cca 10 M_{\oplus} . Nová měření ukázala, že hmotnost objektu 12,9 M_{\oplus} svědčí o tom, že jde o **hněděho trpaslíka**, což podpořila také spektroskopie, jež dává pro efektivní teplotu objektu 1,7 kK a poloměr 1,46 R_{\oplus} . Tomu též odpovídá tihové zrychlení na povrchu $\log g = 3,5 \pm 4,0$. Autoři proto zařadili objekt mezi hnědě trpaslíky s nízkou gravitací na povrchu a sp. třídou L2.

Nejbližšími hnědými trpaslíky stále zůstává binární soustava **Luhman 16 AB**, objevená v r. 2014 a vzdálená od Slunce 2 pc. E. Garcia aj. shromáždili archivní údaje o této dvojici z kamery *ESO Schmidt, DENIS, FORS2 VLT ESO a Gemini-S* pokrývající interval 31 let. Podařila se tak zpřesnit hmotnosti obou složek A (sp. T; 28 M_{\oplus}) i B (sp. L; 34 M_{\oplus}).

G. Benedict a T. Harrison se věnovali pozoruhodné architektuře hvězd HD 202206 (*Cap*; 8,1 mag; G6 V; 5760 K; 1,0 R_{\odot} ; 1,1 M_{\odot} ; 1,07 L_{\odot} ; 45 pc; stáří 2,9 Gr), která vypadá na první pohled jako mladší sestra Slunce. Jenže v r. 2000 se ukázalo, že kolem ní obíhá hnědý trpaslík o hmotnosti 18 M_{\oplus} po výstředné dráze ($e = 0,44$) v periodě 256 d a délce velké poloosy 0,8 au. V r. 2004 se příšlo na to, že v oběhové rezonanci 5:1 s hnědým trpaslíkem obíhá hvězdu exoplaneta o hmotnosti 2,4 M_{\oplus} , rovněž po výstředné dráze ($e = 0,27$) v periodě 3,8 let při délce velké poloosy 2,6 au. Autoři proto využili pointačních sensorů *HST* k revizi této měření. Tak se ukázalo, že HD 202206 má za průvodce hvězdu sp. M6 V o hmotnosti 0,09 M_{\odot} ; a hnědý trpaslík s hmotností 18 M_{\oplus} obíhá tuto dvojhvězdu po cirkumbinární dráze. Exoplaneta údajně nalezená v roce 2004 ve skutečnosti neexistuje.

K. Muzicová aj. odhadli na základě přehlídky substelárních objektů v blízkých mladých hvězdokupách, že v *Galaxii bude nejspíš až 100 mld. hnědých trpaslíků*. T. Dupuy a M. Liu pozorovali pomocí *HST*, *Keckova 10m teleskopu* a *3,6m teleskopu CFHT* celkem 31 binárních soustav tvořených vždy málo hmotnou hvězdou a hnědým trpaslíkem. Podvojnost umožnila změřit hmotnosti hnědých trpaslíků a autoři tak ukázali, že **minimální hmotnost pro hvězdy přesahuje 70 M_{\oplus}** . To je zároveň horní mez hmotnosti pro hnědé trpaslíky.

M. Kuchner je iniciátorem projektu hledání planet a hnědých trpaslíků za pomocí dobrovolníků (program *Zooniverse*). Díky datům z družice *WISE*, která pracuje v blízkém infračerveném pásmu vlnových délek a navazujících přehlídek *NEOWISE* a *WISEA* se tak podařilo za pomocí tisíců dobrovolníků objevit ve vzdálenosti 34 pc od Slunce hnědýho trpaslíka **J1101+5400** o infračervené jasnosti 15,4 mag a spektrální třídy T5.5, jenž jeví celkový vlastní pohyb tempem 0,77"/r. Podle S. Leggetta aj. je družice *WISE* neobyčejně vhodným nástrojem pro hledání hnědých trpaslíků sp. tříd T a Y. Ideální je kombinace údajů z pozemních teleskopů *VLT ESO* a *Gemini* s kosmickými aparáty také na *HST* a *SST*. Autorům se tak podařilo nalézt 11 hnědých trpaslíků pozdních tříd T a 9 trpaslíků třídy Y. Hnědí trpaslíci raných tříd Y mají efektivní teploty až 450 K, kdežto nejnižší teploty pro pozdní třidy Y klesají ke 250 K. V blízkém (<20 pc) okolí Slunce se podařilo najít hnědé trpaslíky třídy Y o hmotnostech 1,5÷8 M_{\oplus} a stáří 0,3÷6 Gr. Jejich metalicitu se shoduje s metalicitou Slunce. Autoři odhadují, že hnědí trpaslíci třídy Y budou mít hmotnosti v rozsahu 3÷20 M_{\oplus} a jejich stáří zůstane v mezích 0,8÷8,5 Gr.

2.3. Hvězdy

2.3.1. Teorie

Zastoupení jednotlivých izotopů uhlíku, dusíku a kyslíku na povrchu hvězd je závislé na vlastnostech cyklu CNO v jejich nitrech. Po turbulentním promíchání jaderné látky s materiélem pláště hvězdy jsou spektroskopická měření jednou z mála informací, která nám může něco říci o historii konkrétní hvězdy. V případě asymptotické větve obrů v diagramu H-R však panuje dlouhodobá neshoda mezi teoretickými předpověďmi složení atmosféry a spektroskopickými daty tzv. uhlíkových hvězd. C. Abia aj. se pokusili najít odpověď ale spoň pro izotopy kyslíku. Pořídili spektra vzorku galaktických hvězd v pásmu K, přičemž hvězdy vybrali tak, aby měly všechny přibližně stejnou metalicitu (tedy zastoupení prvků těžších než He). Pro tyto hvězdy vypočítali syntetická spektra v lokální termodynamické rovináře se započtením vlivu promíchání hvězdné látky. Pro hvězdy v rozmezí hmotností 1,5÷3 M_{\odot} je poměr $^{16}\text{O}/^{17}\text{O}/^{18}\text{O}$ v dobré shodě s pozorovanými spektry. Tak se však ve vzorku nachází hvězdy, pro něž je možné získat dobré syntetické spektrum kyslíku pomocí přidání jednoho nebo několika dalších promíchání materiálu z nitru, ovšem za cenu nesouhlasících spekter uhlíku a dusíku. Navíc hvězdy uhlíkové hvězdy typu I mají ve spektru velmi silné pásy nuklidů C₂ a CN mají naproti tomu **nižší zastoupení** ^{16}O a ^{17}O než odpovídá normálním uhlíkovým hvězdám – proč, to nevíme.

Chemicky podivné hvězdy typu Am, tzv. *metalické*, se vyznačují výraznými spektrálními čarami železa, stroncia a dalších kovů, zatímco čáry hélia, vápníku a dalších typických prvků hvězdných atmosfér jsou slabé či zcela chybí. Již v 70. letech 20. stol. byl navržen mechanismus, který takové spektrum může způsobovat – pokud je zářivá zóna atmosféry v dostatečné hloubce od povrchu hvězdy, tlak záření v určitých vlnových délkách může vynášet konkrétní prvky nahoru, zatímco ostatní naopak klesají dolů. H. Abt publikoval práci, v níž analyzoval vývoj hvězd Am a také závislost jejich spektra na rotaci rychlosti hvězdy – zmíněný mechanismus totiž může fungovat jen u hvězd, které rotují dostatečně pomalu, přičemž pomalá rotace je obvyklá u hvězd s akrečním diskem nebo u vázaných složek dvojhvězd. Autor vyvrátil hypotézu, že hvězdy typu **p Pup** (pravidelně pulsující, podskupina typu δ Sct) jsou vývojovými následníky Am hvězd, neboť je jich příliš málo. Naopak z jeho analýzy vyplývá, že hvězdy Am (a s nimi také hvězdy spektrálních typů A4÷F2 V) se postupně vyzvínou v normální hvězdy typu A7÷F9 IV a později v pozdní typy F2÷F9 III s normálním zastoupením prvků v atmosféře.

Určování parametrů zákrytových dvojhvězd, exoplanet obíhajících mateřské hvězdy a fyzické parametry osamocených hvězd – to vše je závislé mj. na znalosti **okrajového ztemnění** hvězdného kotoučku. V současnosti se nejvíce používá jednoduchý lineární nebo dvouparametrický popis okrajového ztemnění, obvykle vypočtený na základě prostého geometrického modelu. Pro nadcházející vesmírné mise jako *TESS (Transiting Exoplanet Survey Satellite)* či *JWST (James Webb Space Telescope)* však bude nutné připravit přesnéjší propočty okrajového ztemnění. H. Neilson aj. použili sférické zobecnění rovináře modelu hvězdné atmosféry *ATLAS* k výpočtům okrajových ztemnění pro hvězdy, u nichž je skutečné okrajové ztemnění známé empiricky v různých vlnových délkách, a porovnali tyto výpočty s jednoduchými současnými modely. Ukázalo se, že stávající jednoduché modely vytvářejí **systematické chyby** v řádu 50÷100 ppm (počet částic v milionu, *parts per million*), na začátku či konci zákrytu dokonce až 300 ppm. G. Morello aj. zveřejnili **nový čtyřparametrický model okrajového ztemnění**, který by měl pro budoucí data z *JWST* umožnit přesnost měření jasnosti až do řádu ~10 ppm. Model je podle autorů vhodný zejména pro **chladné hvězdy**. Konečně A. Claret publikoval nové tabulky okrajových ztemnění na základě modifikovaných modelů *ATLAS* a *PHOENIX* pro 19 hvězdných metalicit v rozmezí $10^{-5} \pm 10^1$ metalicity Slunce, $\log g$ v rozsahu 0÷6,0 a povrchové teploty mezi 1 500÷50 000 K.

2.3.2. Prahvězdy, kolébky hvězd

Ch. Brinch aj. pomocí kombinace dat z mikrovlnné observatoře *ALMA (Atacama Large Millimeter/submillimeter Array; Chajnantor, Chile)* a archivních měření *VLA (Very Large Array, Nové Mexiko, USA)* objevili **bizarní protoplanetární disky** u dvojhvězdného prahvězdného systému *IRS 43*. Každá složka dvojhvězdy má svůj disk a třetí, největší se nachází kolem společného těžiště. Neuvěřitelné je

prostorové uspořádání disků – rovina každého z nich je skloněna vůči zbyvajícím dvěma, a to o více než o 60°. Jednotlivé složky dvojhvězdy se od sebe nacházejí (74 ± 4 au), jsou staré zhruba 100 000 let a stále ještě rostou a v jejich nitrech nedošlo k zažehnuté termonukleárních reakcích. Divoké prostorové uspořádání je možná důsledkem existence třetího tělesa, které ze systému uniklo a zanechalo za sebou chaos; nebo je možné, že jde o důsledek původního chaotického uspořádání této části hvězdné porodnice kolem ρ Oph. Další vývoj záleží na rychlosti akumulace látky prahvězdami – pokud nerozfouknou plyn ze svých disků během následujícího asi milionu let, roviny disků se pravděpodobně srovnají.

T. Stolker aj. pomocí spektrografového *SPHERE* na *VLT* (*Very Large Telescope, Cerro Paranal, Chile*) objevili kolem prahvězdy $HD\ 135344B$ **spirální ramena v prachovém disku**, způsobená buď jednou hmotnou nebo dvěma méně hmotnými vznikajícími exoplanetami. Přístroj *SPHERE* v podstatě pozoruje odrazy světla na prachových zrnech a nevidí nejvnitřnější část disku – vidí však mj. tmavé pruhy na spirální struktuře disku, které mohou být ve skutečnosti stíny, způsobené vnitřním diskem, který je nakloněn pod úhlem asi 18° vůči rovině disku vnějšího.

K. Luhman aj. pomocí kamery *WFC3* (*WideField Camera 3*) na palubě *HST* pořídili astrometrii hvězd v **hvězdokupě v Orionu**. Při porovnání poloh objektů proti archivním datům kamery *NICMOS* (*NearInfrared Camera and Multi-Object Spectrometer*, také *HST*) z r. 1998 objevili **velmi rychle se pohybující prahvězdu** x , jejíž vlastní pohyb činí 29 mas/r (mas je tisícina obloukové vteřiny), tedy 55 km/s! Dřívější pozorování hvězdokupy v rádiovém oboru odhalila jiné dva rychle se pohybující objekty – tzv. *zdroj I* a *Becklinův-Neugebauerův objekt*. Autori navrhují, že *zdroj I*, objekt B-N a prahvězda x byly složkami vícenásobného systému, který se dynamicky rozpadl před asi 540 roky v místě zvaném *Kleinmannova-Lowova mlhovina*. Hmotnost prahvězdy x činí asi 2–3 M_{\odot} , objektu B-N přibližně 20 M_{\odot} – patrně jde o prahvězdu vzniklou splynutím dvou složek – a *zdroj I* má odhadovanou hmotnost asi 7 M_{\odot} . Radioastronomická měření před časem také odhalila další rychlý objekt n , u něhož však autorů změřili výrazně nižší vlastní pohyb, a podle nich **nejde o čtvrtou složku** původního systému.

G. Beccari aj. zaměřili kameru *OmegaCAM* na 2,6m přehlídkovém dalekohledu *VST*, jenž je součástí observatoře *VLT* na Cerro Paranal, na **mlhovinu a hvězdokupu v Orionu**. Přesná fotometrie mnoha hvězd najednou odhalila, že v diagramu H-R existují **tři jasně rozlišené skupiny prahvězd**. Všechny tři se koncentrují kolem středu hvězdokupy. Autoři nabízejí dvě vysvětlení: buďže o nerozlišené dvojhvězdě s exotickým rozložením hmotnosti, nebo o tři hvězdné populace různého stáří. Spektroskopie provedená na vybraném vzorku podporuje druhou možnost – to znamená, že v krátkém čase necelých 3 milionů let po sobě vznikly tři generace hvězd. Vznik nových hvězd v hvězdokupách tedy možná neprobíhá postupně, ale **nárazově** v mnohem kratší době, než jsme si myslí.

R. Maiolino aj. spektroskopicky potvrdili **tvorbu nových hvězd** ve výronu galaktického molekulárního oblaku v galaxii s červeným posuvem $z = 0,0448$, tedy přibližně 200 Mpc od nás. že galaktické výrony plynu mohou být vhodným prostředím pro vznik hvězd, se už nějakou dobu spekulovalo, ale důkaz zatím chyběl – častou námitkou bylo, že výrony se obvykle pohybují vysokou rychlosťí a rozepnou se v prázdném prostoru rychleji, než se v nich stihou zformovat hvězdy. Autoři odvozují rychlosť tvorby hvězd na $\geq 15\ M_{\odot}/r$, což představuje významný příspěvek ke kulové složce galaxie. Navíc je takto možné **dobře vysvětlit velký počet hvězd s vysokou rychlosťí** (HVS, *high-velocity stars*), z nichž některé postupem času získají výšší než únikovou rychlosť.

Orion B je obří molekulární oblak mezihvězdného plynu, který mj. obsahuje známou mlhovinu Koňská hlava. Tři týmy na něj zaměřily pozornost v rámci projektu *Outstanding Radio Imaging of Orion B*. J. Pety aj. využili širokopásmový 30m radioteleskop *IRAM* (Sierra Nevada, Španělsko) a pořídili **podrobné mapy oblasti Orion B**. Následně přiřadili jednotlivé emisní čáry konkrétním molekulám vodíku, oxidu uhelnatého, kyanovodíku či sulfidu uhelnatého. Rozložení molekul není pravidelné, oblast tedy vypadá v čarách každé molekuly jinak – toho autoři využili, aby sestojili **trojrozměrný model celé oblasti**. Mimo jiné zjistili, že excitované molekuly CO se nacházejí prakticky v celém oblaku, nejen v blízkosti mladých hvězd, které své okolí ozářují silným UV zářením – přítomnost excitovaného CO

tak nemusí **korelovat s přítomností vodíku**, jak se často předpokládá. J. Orkisz aj. využili pořízenou mapu ^{13}CO ke statistickému zpracování pohybů jednotlivých částí oblaku. Ukázalo se, že ve většině objemu oblaku jsou pohyby turbulentní a víceméně tečné ke směru od středu; jen v okolí známých oblastí tvorby hvězd se plyn stlačuje – stlačování či rozpršíání plynu tedy zcela **koreluje se vznikem nových hvězd** nebo jeho absencí. P. Gratier aj. zpracovali dostupná data a vytvořili umělou mapu oblasti s vypočtenou hustotou, sloupcovou hustotou a mírou osvětlení UV zářením. Tato technika umožňuje odhalit oblasti tvorby nových hvězd i v případě, že samotná hvězdána porodnice je skrytá za neprůhlednou látkou.

C.-F. Lee aj. s využitím mikrovlnné observatoře *ALMA* pozorovali **protostelný disk** v těsném okolí Herbigova-Harova objektu HH 212, který se nachází ve vzdálenosti asi 400 pc také v souhvězdí *Orionu* a jehož stáří se odhaduje na pouhých 40 000 let. Prachový disk je z části ponořen v rozsáhlé kolabující obálce circumstellární látky, která je rotačně zplňšetlá. Vnější poloměr disku je asi 60 au; *ALMA* je schopna dosledovat jeho vnitřek až do vzdálenosti zhruba 16 au. Kromě prachu a plynu z obálky se v okolí nachází celá řada složitých organických molekul (methanol, deuterovaný methanol, methylmerkaptan, formamid) v oblacích, sahajících až do vzdálenosti cca 40 au od centrálního objektu. Podle autorů pocházejí organické molekuly **pravděpodobně z prachového disku** než z prahvězdné obálky.

L. Pagani aj. zaměřili observatoř *ALMA* na centrální oblast již zmiňované *Kleinmannova-Lowova mlhoviny* (v literatuře často zkracované jako *Orion-KL*). Potvrdili zde řadu **složitých organických molekul** (*propylkyanid, glykolaldehyd, kyselinu octovou, ethylenglykol* atd.), ale především se jim podařilo změřit radiální rychlosti v různých částech mlhoviny. Nejhustší a nejteplejší centrální oblast obsahuje látku, která se pohybuje rychlostmi až $-7 + 19$ km/s vůči nám. Autori odhadují, že jde o materiál, který se od sebe rozletěl po výbuchu, k němuž došlo zhruba **před 500 roky**. Zajímavé je, že oblast tzv. *kompaktního hřbetu* má radiální rychlosť jen asi 1 km/s – patrně je tato část mlhoviny o nějakých 10 000 au blíž k nám nebo naopak dál od nás než centrální oblast a výbuch a rozpršíání látky je zatím neovlivnily.

J. Rizzo aj. nastavili 34m radioteleskop observatoře *Madrid DeepSpace Communications Complex* (Robledo de Chavela, Španělsko) na ***Orion-KL***. V pásmu 41,5–50 GHz autoři pořídili rádiová spektra oblasti – ve spektrech se podařilo identifikovat **rekombinační čáry vodíku**, helia a uhlíku a **molekulární čáry**, odpovídající 39 izotopologům 20 molekul; 18 čar zůstalo neidentifikovaných. Ve spektru převládá **maserová emise SiO**. Převážná většina detekovaných molekul **pochází z chladných částí mlhoviny**; pouze některé čáry patří molekulám ($\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CN}$ a CH_2CHCN) z horké centrální oblasti.

G. Ortiz-Leónová aj. zveřejnili tři práce, zabývající se projektem *GOBELINS* (*GOuld's BELt dIstances Survey*), jehož cílem je změřit vlastní pohyb a trigonometrické paralaxy co největšího počtu hvězd v tzv. Gouldově pásu – prstenci mladých hvězd s průměrem zhruba 920 pc, který se nachází v naší Galaxii, ale vůči rovině disku je skloněn o $16^{\circ} - 20^{\circ}$. Gouldův pás zahrnuje jasné hvězdy z mnoha souhvězdí, zejména na jižní obloze. V první práci autoři publikovali **trigonometrické paralaxy** 16 hvězdových systémů v souhvězdí *Hadonoše* získané pomocí měření radioobservatoře *VLBA* (*Very Long Baseline Array*) s přesností $\sim 0,3\%$. 12 z pozorovaných hvězdových systémů se nachází uvnitř temné mlhoviny *Lynds 1688*, jejíž vzdálenost autoři odvozují na $(147,3 \pm 3,4)$ pc. Ve druhé práci autoři publikovali detekci **36 mladých hvězdových objektů**, z nichž nejméně polovina je vícenásobných. Z měření také určili **střední vzdálenosti některých hvězdokup a mlhovin**: (388 ± 5) pc pro hvězdokupu v *Orionu*, (388 ± 10) pc pro *NGC 2068*, (428 ± 10) pc pro **severní část mlhoviny L1641**. Ve třetí práci autoři zveřejnili vzdálenosti 7 hvězd v asociaci *Had-Orel*; jde o několik oblastí tvorby hvězd v souhvězdích *Ocasu hada* a *Orla*. Autoři zjistili, že vzdálenosti jednotlivých hvězd jsou **navzájem podobné** a střední vzdálenost odpovídá hodnotě $(436 \pm 9,2)$ pc – podle všeho tedy jednotlivé části komplexu včetně **oblasti tvorby hvězd Westerhout 40** spolu skutečně fyzicky souvisejí.

2.3.3. Osamělé hvězdy

L. Gizon aj. v datech ze sondy *Kepler* zkoumali pulsující hvězdy astroseismologickými metodami. Objevili mj. hvězdu **KIC 11145123**, která patří mezi tzv. hybridní oscilátory – to znamená, že pulsuje jak ve „vysokých“ frekvencích $15\text{--}25$ za den, tak i v „nízkých“ frekvencích ≤ 5 za den. Hvězda je spektrálního typu A a končí svýj pobyt

na hlavní posloupnosti. Data z *Kepleru* pokrývala období téměř 4 roků, což umožnilo studovat nepravidelnosti v oscilacích s velkou přesností. Autoři k vlastnímu překvapení zjistili, že *KIC 11145123* je **velmi kulatá** – maximální odchylka rotačního zploštění činí jen $(1,8 \pm 0,6) \times 10^{-6}$, což v absolutních číslech (poloměr hvězdy je přibližně $2,24 R_\odot$) znamená (3 ± 1) km. Hvězda se kolem své osy otočí jednou za zhruba 100 d, rovníkové vydutí by tedy mělo být přibližně trojnásobné. Autoři předpokládají, že s kulatostí hvězdy nějak souvisí její překvapivě slabé magnetické pole.

O Tabbyině hvězdě, *KIC 8462852*, jsme v tomto přehledu psali již vloni – Tabetha Boyajianová oznámila objev velmi podivných poklesů jasnosti, následovaný nejrůznějšími spekulacemi, co by takovou světelnou křívkou mohlo způsobit. B. Schaefer na základě porovnání dlouhé řady archivních dat oznámil, že Tabbyina hvězda **dłouhodobě ztrácí jasnost** tempem zhruba 0,16 mag za století. M. Hippke aj. toto tvrzení napadli analýzou odchylek jasnosti pro velký počet stálých hvězd – Schaeferem udávaná hodnota poklesu má **stejnou velikost** jako střední chyba jasnosti v rozmezí let 1889–1990; proklamované pohasnutí tedy nemůže být bráno za prokázaný fakt. B. Montet a J. Simon si uvědomili, že data *Kepleru* jsou dostatečně přesná, aby pokles jasnosti hvězdy byl patrný i v průběhu 4 let primární mise sondy. Provedli tedy analýzu a zjistili, že jasnost *KIC 8462852* skutečně **celé čtyři roky klesala** – prvních 1 000 d zvolna, pak asi 200 d rychle a posledních 200 d opět jen velmi málo. Celkově ovšem *Tabbyina hvězda* ve sledovaném pohasla o asi 3,5 %, tedy mnohem více, než kdokoli předpokládal. Ať pohasnutí způsobilo cokoli, hejno komety to nebylo. V květnu 2017 došlo k dalšímu poklesu jasnosti o 2 %, po několika dnech se jasnost vrátila na předchozí hodnoty, aby zhruba o měsíc později znova na několik dní poklesla o zhruba 1 %. Tyto poklesy již o rok dříve **předpověděla** sama T. Boyajianová aj.

L. Neslušan a J. Budaj nabídli alternativní hypotézu pozorovaných poklesů jasnosti **KIC 8462852**. Zkoumali, zda by bylo možné vysvětlit světelnou křívku pomocí **prachových mračen**, nacházejících se v okolí pevných těles na stejně dráze. Pomocí numerických simulací zjistili, že k vytvoření světelné křivky velice podobné té, kterou vyzkoušejete *Tabbyina hvězda*, stačí pouhá čtyři tělesa, obklopená prachovými oblaky, a to dokonce i na podobných drahách, takže by mohlo jít o tělesa vzniklá rozpadem jednoho společného předchůdce. Autoři zdůrazňují, že i tento jednoduchý model, který nebene v potaz fyzikální vlastnosti prachových částic, interakce mračen mezi sebou a dynamické procesy v mračnech a na povrchu pevných těles, dokáže **velmi dobře replikovat** pozorovanou světelnou křivku. P. Foukal publikoval hypotézu, podle níž *Tabbyina hvězda* může být přímým původcem minimálně části poklesů jasnosti. Na základě numerických simulací přenosu záření v konvektivních hvězdách a skutečnosti, že konvektivní hvězdy vyzkoušejí silná magnetická pole autor ukázal, že i **malá porucha** v přenosu tepla těsně pod fotosférou hvězdy může způsobit **významný (~25%) pokles jasnosti** celé hvězdy. Taková porucha může vzniknout přirozeným způsobem při fragmentaci silného magnetického pole. Samozřejmě zůstává ještě otázka, čím je *Tabbyina hvězda* výjimečná, že se takový mechanismus uplatňuje pouze u ní.

K. Ohnaka aj. využili dalekohledů *VLT ESO* v režimu interferometru (*VLTI*), tedy ve spojení čtyř hlavních zrcadel s pomocnými menšími zrcadly do virtuálního primárního zrcadla s průměrem 82 m. Detektorem *AMBER* (*Astronomical Multi-BEam combineR*) pořídili detailní obrázek povrchu červeného **veleobra Antares** (α Sco). Kromě snímku povrchu autori získali také mapu radiálních rychlostí, na níž jsou patrné dvě obrovské turbulence v rozepnuté atmosféře hvězdy a také proudy chladnějšího plynu v okolí, ovšem v mnohem větších vzdálenostech, než je možné vysvětlit jako důsledek konvektivních pohybů, a s rychlostmi až 20 km/s.

M. Montargès aj. použili *VLTI* v poněkud jiné konfiguraci a přístrojem *PIONIER* (*Precision Integrated-Optics Near-infrared Imaging ExpeRiment*) proměřili **Antares** ve filtru *H*. Konvekce v rozepnuté atmosféře červeného veleobra se předpokládá jako přičina velké ztráty hvězdné látky v této závěrečné fázi. Konvektivní buňky, které známe ze Slunce, mají velikost v jednotkách procent úhlového průměru. Pomocí interferometrických dat však autoři na Antaru v jednotlivých měřeních identifikovali konvektivní buňky s velikostí 5 ± 45 % úhlového průměru hvězdy. Možná tedy takto **rozsáhlá konvekce** přece jen stojí za pozorovanými turbulencemi mimo atmosféru červeného veleobra.

P. Petit aj. pět nocí po sobě sledovali na observatoři v *Haute Provence* Vega (α Lyr), aby odhalili, jak se mění **povrch této rychle rotující hvězdy** spektrálního typu A0. Celkem pořídili 2 588 spekter, jimiž se podařilo pokrýt téměř celou fázi. Dopplerovským zobrazováním pak ze spekter zrekonstruovali tři „mapy“ povrchu pro tři natočení hvězdy vůči nám. Téměř celý povrch hvězdy je pokryt světlými a tmavými skvrnami, z nichž většina se příliš nemění, ale ve větších vzdálenostech od rovníku se vzhled povrchu mění velmi rychle. Autoři odhadují, že to souvisí s magnetickým polem Vegy a také **výraznou diferenciální rotací** – pásy v nízkých a vysokých zeměpisných šírkách rotují rychle, zatímco ve středních šírkách relativně pomalu.

G. DallaVedova aj. využili již zmíněnou kombinaci *VLTI/PIONIER* a její historická pozorování okolí *Achernaru* (α Eri) – velmi rychle rotující hvězdy Be s rovníkovým poloměrem o 55 % větším než polárním. Ve skutečnosti jde o dvojhvězdu; **hlavní složka má kolem sebe disk** a nejspíš i polární výtrysky. Přítomnost disku je poněkud záhadná – kromě toho, že neznáme dobré mechanismus jeho vzniku se zdá, že je velmi mladý: v letech 2011–2012 totiž po něm nebylo ani památky. V datech z r. 2014 již však prokazatelně existoval. Autoři analyzovali dostupná data a nabízejí vysvětlení v podobě přechodu hvězdy ze spektrálního typu B (bez disku) do spektrálního typu Be (s diskem). Tuto hypotézu podporuje fakt, že na začátku r. 2013 se objevila emise v čarách *Ha* v okolí hvězdy. Poslední interferometrická data z konce r. 2014 zachycují disk, rozkládající se ve vzdálenostech 1,7–2,3 rovníkového poloměru *Achernaru*.

E. O’Gorman aj. využili mikrovlnou observatoř *ALMA* k pozorování dalšího červeného veleobra, *Betelgeuse* (α Ori). V pásmu 338 GHz se jim podařilo **kotouček hvězdy zobrazit** s úhlovou přesností 14 mas a jasné odlišit jednotlivé části atmosféry. Ukázalo se, že ve vzdálenosti 1,3 R, je teplota jen 2 760 K, zatímco „povrchová“ teplota fotosféry je 3 690 K. Jde o první přímý důkaz, že v atmosférách červených veleobrů **dochází k teplotní inverzi**. Emise záření není rovnoměrná, autoři na kotoučku hvězdy nalezli dvě místa s výrazným zjasněním o 5, resp. 3 %, a odhadují, že teplota je v těchto místech asi o 1 KK vyšší než v okolí. Jejich existenci přisuzují magnetické aktivitě, vyvolané konvekcí ve velkých rozmezích.

G. Harper aj. využili data získaná observatoří *ALMA* pro zpřesnění paralaxy a vzdálenosti **Betelgeuse** od nás. Kombinace revidovaných dat z katalogu *HIAD* (*Hipparcos Intermediate Astrometric Data*), dat z *VLA* a nově získaných dat projektu *e-MERLIN* (*enhanced Multi Element Remotely Linked Interferometer Network*) a *ALMA* poskytuje hodnotu paralaxy $(4,51 \pm 0,80)$ mas, což odpovídá vzdálenosti 222^{+48}_{-34} pc. Určit **přesnou paralaxu Betelgeuse** je však **nesnadné**, neboť její hodnota je malá v porovnání s průměrem hvězdného kotoučku, jenž činí 44 mas.

Objev **terestrické exoplanety** v okolí *Proximy Centauri* vzbudil velký zájem o studium potenciálně obyvatelného světa v optimálních podmírkách. I. Ribas aj. zpracovali maximum dostupných informací o mateřské hvězdě zejména s ohledem na radiační podmínky v jejím okolí. Autoři shromáždili dostupná data a zpracovali **celkové spektrální rozložení vyzařované energie** v rozsahu vlnových délek $0,7 \pm 30$ 000 nm. Celková zářivá energie, dopadající na atmosféru planety, představuje (877 ± 44) W/m² při celkovém výrazném posunu do červené oblasti, ovšem v UV záření jde o $0,293$ W/m², tedy 60× vyšší hodnotu než u Země. Autoři také zpřesnili fyzické parametry hvězdy: hmotnost je $(0,120 \pm 0,003)$ M_⊕, poloměr $(0,146 \pm 0,007)$ R_⊕, povrchová teplota (2980 ± 80) K a zářivý výkon $(0,00151 \pm 0,00008)$ L_⊕. Dále se ukázalo, že v oblasti vlnových délek 3 ± 30 μm nastává 20% zvýšení toku záření, které autoři přičítají přítomnosti teplého prachu v okolí *Proximi*.

Y. Pavlenko aj. se zaměřili na strukturu **atmosféry** *Proximi Cen* a na základě optických spekter v různých fázích aktivity vypočetli syntetická spektra pomocí modelu *PHOENIX* pro povrchovou teplotu 2 900 K. Optická a blízká IR část spektra dobré odpovídá skutečnosti, pro UV oblast spektra je nutné k jednoduchému modelu připočítat další složky. Autoři nabízejí vysvětlení v podobě silné chromosféry, v níž vznikají emisní čáry některých kovů, dále existenci aktivních oblastí sahajících nad chromosféru a konečně horkého hvězdného větru s typickou rychlostí 30 km/s.

M. MacGregorová aj. využili mikrovlnou observatoř *ALMA* k dalším pozorováním blízkého okolí *Fomalhautu* (α PsA). *ALMA* již několikrát tuto hvězdu zkoumala, ale až nyní se podařilo realizovat kompletní přehlídku v pásmu 223 GHz, z níž vzešla **detailní mapa**

celého vnějšího prachového disku. Vnitřní okraj disku je ostře ohraňen poloměrem $(136,3 \pm 0,9)$ au, ovšem jeho těžiště je asi o 15 au posunuto mimo *Fomalhaut*. Tloušťka disku je menší, než se předpokládalo: pouze $(13,5 \pm 1,8)$ au; stáří odhadli na 440 Mr. V použitém vlnovém rozsahu nejsou v disku patrné žádné struktury s rozměrem ≥ 10 au.

Stejná data využili L. Matrà aj. k pátrání po **molekulách oxidu uhelnatého kometárního původu**. Přítomnost tohoto plynu v okolí prachového disku naznačuje, že pochází z materiálu v disku. Zajímavé mj. je, že plyn je na rozdíl od prachu kolem hvězdy rozložen symetricky. Autoři odhadují hmotnost CO v okolí hvězdy na $(0,65 \pm 0,42) \times 10^{-7} M_{\odot}$, a celkový podíl hmotnosti CO a CO₂ v kometárním materiálu na $4,6 \div 76\%$, což je v souladu s hodnotami ve Sluneční soustavě a naznačuje, že jde o vlastnost společného mezihvězdného prostředí.

2.3.4. Dvojhvězdy

P. Zasche aj. zkoumali podivnou zákrytovou proměnnou **OGLE-SMC-ECL-0277**. Jak název napovídá, její objev pochází z přehlídky *OGLE* (*OpticalGravitationalLensing Experiment*) a nachází se v **Malém Magellanově oblaku** (SMC), v němž patří k nejasnějším zákrytovým proměnným vůbec. Svetelná křivka je velmi dobře pokrytá daty z fází II., III. a IV přehlídky *OGLE*, jasnosti hvězdy byly též zachyceny v katalogu *MACHO* (*MAssive Compact Halo Objects*) a autoři doplnili vlastní nová data z 1,54m dánského teleskopu na observatoři ESO (La Silla, Chile). Přes základní periodu 60,37 d se překládá variabilita s periodou přibližně 1 500 d. Autoři vyzkoušeli několik možných hypotéz – změnu sklonu dráhy způsobená třetím tělesem, vznik a vývoj skvrn v atmosféře a pulsace jedné nebo obou složek plus kombinaci všech tří mechanismů; žádná varianta však nedokáže uspokojivě reprodukovat pozorovanou světelnou křivku. Autoři upozorňují, že ve skutečnosti nemáme dobrou spektroskopickou znalost systému a je možné, že pulsace hvězd „přepínají“ dvojhvězdu mezi **odděleným, polodotykovým a dotykovým režimem** – v tom případě by šlo o jedinečný systém, nepodobný jinému známému.

M. Wolf aj. zveřejnili dílčí výsledky dlouhodobého studia vývoje zákrytových proměnných. U tří systémů – **V974 Cyg**, **RU Mon** a **V456 Oph** – objevili periodické změny v časech minima. Kromě relativistické složky, zodpovědné za stáčení přímky apsid, se ve všech třech případech velmi pravděpodobně uplatňuje **vliv třetího tělesa v systému**. Relativistické stáčení je s hodnotou zhruba 30 % významné u **V974 Cyg**, a zbylých dvou přispívá jen několika procenty. Stáčení přímky apsid má periody 1 470 r, resp. 361 r, resp. 22,6 r (což je mimo chodem 5. nejnižší známá hodnota), předpokládaná třetí tělesa mají oběžnou dobu 30,6 r, resp. 59,8 r, resp. 7,4 r a jejich minimální hmotnosti jsou $0,40 M_{\odot}$, resp. $1,6 M_{\odot}$, resp. $0,27 M_{\odot}$.

D. Skowron aj. analyzovali světelnou i křivku radiálních rychlostí zákrytové proměnné **OGLE-LMC-ECL-09937**, která sestává z horké a hmotné hvězdy pozdního spektrálního typu O a vyvinutější, avšak méně hmotného a svítivého sekundáru, což naznačuje, že systém prošel fází přenosu látky mezi složkami. Autoři odvodili hmotnost složek na $(21,04 \pm 0,34) M_{\odot}$, resp. $(7,61 \pm 0,09) M_{\odot}$ a poloměry na $(9,93 \pm 0,06) R_{\odot}$, resp. $(9,18 \pm 0,04) R_{\odot}$. Systém je tedy **nejhmotnější známou dvojhvězdou typu Algol**, navíc s hmotností a velikostí složek určenou s přesností $\leq 2\%$.

P. Kervella aj. použili optickou interferometrii s využitím přístroje **PIONIER** na **VLT** k určení **poloměrů a parametrů okrajových ztemnění** pro obě složky a Cen. Obě hvězdy jsou podobné Slunci – a Cen A má spektrální typ G2V, a Cen B typ KIV. Autoři použili měření v blízkém-IR filtru H a získali hodnoty poloměrů $(1,2234 \pm 0,0053) R_{\odot}$ pro složku A a $(0,8632 \pm 0,0037) R_{\odot}$ pro složku B. Získané experimentální koeficienty okrajového ztemnění podle autorů zcela nesouhlasí s modelovými výpočty, což teoretikům poskytuje vynikající příležitost ke zlepšení výpočtů (podobná situace ostatně panuje i v případě Slunce).

P. Kervella aj. a a Cen ještě jednou: autoři zpracovali křivky radiálních rychlostí obou složek dvojhvězdy a jejich fyzické parametry, určené optickou interferometrií. Jejich analýza potvrzuje, že **Proxima Cen** je s vysokým stupněm jistoty gravitačně vázaná k centrální dvojhvězdě. Její doba oběhu kolem centra je asi 550 000 r, excentricita dráhy je $0,5^{+0,08}_{-0,09}$, a vzdálenost v pericentru je zhruba 4,3 kau. V současnosti se Proxima nachází blízko apocentra, tedy zároveň nejbližší k nám.

Hvězdy s hmotností $\leq \frac{1}{4} M_{\odot}$ jsou sice ve vesmíru nejpočetnější, o jejich vývoji ve dvojhvězdách však mnoho nevíme, neboť se kvůli nízké jasnosti špatně sledují. Proto vznikl projekt *EBLM* (*Eclipsing Binaries with Low Mass*), který cíleně takové dvojhvězdy vyhledává. A. von Boetticher aj. zveřejnili objev zákrytové proměnné **EBLM J0555-57** v katalogu *WASP* (*Wide Angle Search for Planets*) a následně pořízené spektroskopii i fotometrii na robotickém *1,2m dalekohledu Leonharda Eulera* na observatoři ESO. Systém má mírně excentrickou dráhu s oběžnou dobou zhruba 7,8 d. Primár je hvězda srovnatelná se Sluncem, sekundár má hmotnost $(85 \pm 4) M_{\odot}$ a poloměr $0,84^{+0,14}_{-0,04} R_{\odot}$, tedy srovnatelný se Saturnem (!) – jde tedy o objekt s **nejvyšší známou hustotou**, který zároveň není degenerovaným hvězdným pozůstatkem.

H. Bond aj. analyzovali dostupná data **obou složek Siria** (a CMa). Sirius je 7. nejbližší hvězda, primární složka typu A1V je nejjasnější hvězdou na obloze, kolem níž každých 50,13 r oběhne sekundár, který představuje nám nejbližší bílého trpaslíka. Autoři využili fotometrická data z *HST*, pokrývající téměř 20 let pozorování, stejně jako dalších asi 2 300 historických měření datovaných až do 19. století. Na základě těchto dat **určili hmotnosti obou složek** na $(2,063 \pm 0,023) M_{\odot}$, resp. $(1,018 \pm 0,011) M_{\odot}$. Přesná astrometrie z *HST* vylučuje přítomnost dalšího tělesa u kterékoli složky až do hmotnosti $\geq 15 \div 25 M_{\odot}$. Autoři dále odhadli teplotní stáří bílého trpaslíka na zhruba 126 Mr, jeho celkové stáří na (228 ± 10) Mr a vývojové stáří primáru, odvozené z hmotnosti a odhadu metalicity, na $237 \div 247$ Mr.

J. Lubin aj. oznámili objev trpasličí dvojhvězdy **KELT J041621-620046** ve vzdálenosti zhruba 39 pc; proměnná byla poprvé nalezena v přehlídce *Kilodegree Extremely Little Telescope*. Systém má oběžnou dobu 1,11 d a sestává ze dvou složek spektrálního typu M s hmotnostmi $0,447^{+0,052}_{-0,047} M_{\odot}$, resp. $0,399^{+0,046}_{-0,042} M_{\odot}$ a poloměry $0,540^{+0,034}_{-0,032} R_{\odot}$, resp. $(0,453 \pm 0,017) R_{\odot}$. Každá složka je o $17 \div 28\%$ větší a o $4 \div 10\%$ chladnější, než by odpovídalo standardnímu vývojovému modelu – autoři upozorňují, že vzhledem k pozorovanému silnému záření v čáře H- α značícímu silnou chromosférickou aktivitu je rozumné předpokládat, že za nesouhlasem získaných dat s modely stojí **silná magnetická pole**, která ovlivňuje vývoj obou složek.

Dvojhvězdy obecně poměrně často procházejí obdobím přímé interakce, které ústí ve významnou ztrátu látky, energie a momentu hybnosti. V poslední době vzbudily zájem o tuto fázi obíhajících se objektů zejména přímo detekované gravitační vlny, ve skutečnosti o průběhu fáze těsně před srážkou mnoho nevíme. V případě dvojhvězd je situace složitější o to, že jediným dosud pozorovaným jevem tohoto druhu bylo vzplanutí **V1309 Sco** (*Nova Scorpis 2008*). O. Pejcha aj. ukázali, že **únik hvězdné látky** ze systému přes *Lagrangeov bod L₁* umožňuje velmi dobré vysvětlit jak pozorovanou světelnou křivku, tak změny světelné křivky v několika posledních tisíci oběžních složek kolem sebe. Během „spirály smrti“ dvojhvězda ztratila přibližně stejně množství – zhruba $0,05 M_{\odot}$ – jako při finální srážce obou složek. Autoři upozorňují, že podobný průběh světelné křivky u různých přechodných zjasnění naznačuje, že jimi navržený proces je univerzální pro přímé interakce různých objektů.

Výrazným zkrácením periody **V1309 Sco** těsně před vzplanutím se inspirovali i P. Pietrukowicz aj., kteří propátrali archiv experimentu *OGLE* a hledali systémy, jejichž perioda se výrazně mění. V celkovém počtu 22 500 zkoumaných zákrytových proměnných v rozmezí let 1992–2015 (byť ne zcela souvisle pokrytém) objevili **56 systémů s klešající periodou**, 52 systémy s rostoucí periodou a 35 systémů, jejichž perioda se cyklicky mění. Nejrychlejší zkracování periody s hodnotou $-1,943 \times 10^{-4}$ d/r autoři objevili u odděleného systému **OGLE-BLG-ECL-139622** s periodou 2,82 d. Všechny ostatní systémy se zkracující se periodou jsou **kontaktní dvojhvězdy** a v jejich případě se s největší pravděpodobností jedná o přítomnost třetího tělesa v systému a/nebo o skvrny ve fotosféře jednotlivých hvězd.

Hvězdy s hmotností $\geq 8 M_{\odot}$ se často vyskytují v dvojhvězdách, což zrychluje jejich beztak rychlý vývoj. Takové systémy obohacují okolní vesmír těžkými prvky při explozích v závěrečných fázích života jednotlivých složek a dávají vzniknout černým dvojdíram. H. Sana aj. analyzovali vzorek 11 hmotných hvězd v oblasti tvorby hvězd v **mlhovině Omega** v **M17 (Sgr)**. Autoři zkoumali rozptyl radiálních rychlostí těchto hvězd a přišli s nezávislou podporou hypotézy, že **hmotné hvězdy v násobných systémech** se rodí na poměrně **vzdálených drahách** s většími hodnotami oběžné periody. Populace starších hmotných dvojhvězd nebo vícenásobných systémů však obsahuje značnou

část krátkoperiodických systémů. Autoři nabízejí dvě vysvětlení: buď se složky dvojhvězdy brzdí třením o plyn, prach a malá tělesa ve svém okolí a tím se k sobě přibližují, nebo je ke zkracování oběžných period nutí poruchy drah způsobené třetím tělesem v systému. Vzorek dat z M17 je příliš malý, autoři proto upozorňují, že závěry zatím nelze přečeoňovat.

E. Petigura aj. zveřejnili základní parametry katalogu *CKS (California-Kepler Survey)*, který je založen na datech hvězd, u nichž sonda *Kepler* nalezla alespoň jednu exoplanetu. Autoři zpracovali spektra s vysokým rozlišením z přístroje *HRES (High Resolution Echelle Spectrometer)* z *Keckova teleskopu* (Mauna Kea, Havaj) a rozšířili katalog o další, zejména slabší hvězdy, u nichž byly také objeveny exoplanety. Celkem katalog obsahuje přesné hodnoty povrchové teploty, gravitační konstanty, metalicity a radiální rychlosti pro 1 305 hvězd, kolem nichž obíhá $\geq 2 075$ exoplanet. J. A. Johnson aj. pro takto definované hvězdy dopočítali **modely hvězdných niter**, aby mohli odhadnout jejich hmotnosti, poloměry a stáří. Takto určené hodnoty autoři porovnali s dostupnými astroseismologickými pracemi a daty, pořízenými astrometrickou družicí *Gaia*. Nakonec ještě doplnili katalog o přepočtené poloměry zmíněných exoplanet a úroveň osvitu, které na svých drahách od mateřských dostávají. Konečně B. Fulton aj. doplnili takto naplněný katalog o analýzu zastoupení velikosti blízkých exoplanet ve vzorku *CKS* – „blízkých“ znamená s oběžnou dobou ≤ 100 d. Z analýzy plyne, že planety se dělí do dvou skupin podle poloměru $R < 1,5 R_\oplus$ a $R \geq 2 R_\oplus$, přičemž mezera mezi $1,5+2 R_\oplus$ podporuje hypotézu, že planety menší než *Neptun* mají kamenné jádro o poloměru $\leq 1,5 R_\oplus$ a různé množství řídkého plynu, jehož hmotnost není podstatná.

2.3.5. Proměnné hvězdy

Korejšti královští astronomové nám dochovali svědectví, že 11. března 1437 vybuchla v souhvězdí Štíra nova, po dva týdny viditelná pouhým okem. Obálka, která zbyla po výbuchu, po staletí skrývala původce vzplanutí. M. Shara aj. využili spolupráce dalekohledů *SALT (Southern African Large Telescope)* v Jižní Africe a *Swope a DuPont* v Chile (Las Campanas) k pátrání po pozůstatku po nově. Nebyli úspěšní, dokud nevyužili také historická data – na fotografických deskách z r. 1923 z Peru, digitalizovaných v rámci projektu *DASCH (Digitizing and Sky Century at Harvard)*, se jim podařilo nalézt slabou červenou hvězdu. Rekonstrukcí vlastního pohybu necelých šest století do minulosti konečně **nalezli dlouho hledanou novu 1437** přesně uprostřed vytvořené mlhoviny. Při zpracování dalších historických desek z r. 1940 se ukázalo, že hvězda se dlouhodobě projevuje jako *trpasličí nova*. Autoři tedy předkládají hypotézu, že novy a trpasličí novy jsou ve skutečnosti různé fáze stejněho původu – pokud je příslun hvězdného materiálu na bílého trpaslíka pomalý, objekt se projevuje jako trpasličí nova občasnými zjasněními; jakmile je příslun rychlý a látky se na povrchu bílého trpaslíka nasbírá dost, hvězda vzplane jako nova. Tyto fáze se patrně víceméně pravidelně střídají; my je ovšem zatím nepozorujeme doslova, abychom to mohli jednoznačně potvrdit. Totéž nejspíš platí i o kvazinových a rekurentních novách.

D. Minniti aj. oznámili objev velkého přechodného zjasnění v blízkém IR oboru spektra v přehlídce *VVV (VISTA Variables in the Via Lactea)* z observatoře ESO. Objekt **VVV-WIT-06** zjasnil v červenci 2013 o $\geq 10,5$ mag ve filtru *K* a až do r. 2017 postupně slábl. Spektroskopická pozorování odhalila pohyb látky rychlostí až $3 000$ km/s. Zjasnění se neprojevilo v optickém oboru kvůli velmi silné mezihvězdné absorpci. Autoři nabízejí tři možná vysvětlení: buď šlo o *supernovu I typu* (pak by byla nejbližší za posledních 400 let), nebo o *neobykle silnou novu*, nebo o *splynutí dvou hvězdných objektů*. V každém případě si *VVV-WIT-06* zasluhuje další pozornost.

Dvojhvězda AG Peg byla známa jako **symbiotická nova** (tedy nepravidelná eruptivní proměnná s pomalým nábhěhem zjasnění), která naposledy vzplanula kolem r. 1850 a po 165 letech vybuchla znova. A. Skopal aj. publikovali první analýzu pozorování, z níž plyne, že bílý trpaslík rozfoukal nashromážděnou látku rychlostí několika 10^{-6} M_⊙/r. Teplota rázové vlny dosahovala $1,5+2,3 \times 10^5$ K a zažebla ve vodíkovém disku kolem bílého trpaslíka nukleární reakce.

L. Molnar aj. publikovali zpřesněnou předpověď výbuchu **novy KIC 9832227**. Autoři vycházejí z podobnosti vývoje předchůdce novy *V1309 Sco* – prozkoumali potenciální kandidáty na vzplanutí novy a odhadli, že se takových pozorovatelných dvojhvězd v Galaxii nachází 1–10. *KIC 9832227* je v centru jejich zájmu již delší dobu – již před

dvěma roky upozornili na možnost, že jde o předchůdce novy. Zkraťování oběžné periody (aktuální hodnota je asi 0,458 d) se zrychluje a nyní autoři **zpřesnili odhad** vzplanutí novy na **březen 2022**. Spektroskopický průzkum odhalil třetí těleso v systému s oběžnou dobou zhruba 590 d a hmotností $\geq 0,11$ M_⊕. Žádné další těleso se ze spektroskopie najít nepodařilo.

R. Rukeyer aj. spočítali numerické simulace výnosů hmotnosti ${}^7\text{Li}$ v odhozených obálkách nov. Na základě hmotnosti, rychlosti akrece hvězdné látky na povrch a chemického složení povrchu bílých trpaslíků vytvořili 79 modelů, pro něž vypočetli množství lithia, které každá nova rozhodí do okolí. Porovnáním s pozorovanými daty pro **novu V1369 Cen** autoři ověřili, že jejich výpočty odpovídají skutečným hodnotám. Pro předpokládané zastoupení nov v Galaxii pak odhadli, že množství ${}^7\text{Li}$, kterým novy obohatí mezihvězdné prostředí, je zhruba 10^{-9} M_⊕/r. Z této hodnoty plyne, že asi **10 % všechno ${}^7\text{Li}$ v Galaxii pochází z nov**, což je překvapivě hodně zejména ve srovnání s hvězdičkami asymptotické větve obrů, které byly dosud považovány za největší producenty tohoto lithia.

Rekurentní nova **M31N 2008-12a** prodělává pravidelná roční vzplanutí. M. Darnley aj. zpracovali data z *WFC3* z *HST* pro vzplanutí z r. 2015 spolu s historickými daty *HST* pro předcházející klidná období a data z *Keckova dalekohledu* pro vzplanutí z r. 2014. Pohasnutí novy je v posledních letech velice rychlé, což naznačuje, že **akreční disk** kolem bílého trpaslíka jednotlivá vzplanutí **bez úhony** přežije. Navíc podle autorů bílý trpaslík získává látku svého průvodce vysokým tempem 10^{-6} M_⊕/r, nárazově dokonce až 10^{-5} M_⊕/r, což se neobejdě bez odnosu látky z akrečního disku hvězdným větrem a polárními výtrysky. Autoři odhadli parametry průvodce bílého trpaslíka: zářivý výkon $10^{3+12} {}_{-11} \text{ L}_\odot$, poloměr $14,14^{+0,46} {}_{-0,47} \text{ R}_\odot$ a povrchová teplota (4890 ± 110) K. Autoři předpovídají, že bílý trpaslík dosáhne Chandrasekharova limitu v **době ≤ 20 kr**.

Magnetické pole ve hvězdách podle našich představ vzniká v důsledku diferenciální rotace jednotlivých pásů na rozhraní zářivé a konvektivní zóny a jednou za čas pohybu plazmatu donutí magnetické pole k překlopení. Málo hmotné hvězdy, které zářívou zónu vůbec nemají, by takový „sluneční“ cyklus mít neměly. B. Wargelin aj. však na základě dřívějších náznaků zpracovali optická, UV i rentgenová pozorování **Proximy Cen** (spektrální typ M3.5) v rozmezí více než 22 let a překvapivě potvrdili, že *Proxima* **vykazuje 7letý sluneční cyklus**. Autoři také potvrdili rotační periodu 83 d a jako další překvapení objevili náznaky diferenciální rotace zcela srovnatelné se Sluncem. Výsledky podpořili teoretickým výzkumem R. Yadav aj., kteří modelovali vývoj hvězdného dynamika pro pomalu rotující málo hmotnou hvězdu – vysvětlení se skrývá v **existenci diferenciální rotace**. Mladá konvektivní hvězda se silným magnetickým polem rotuje rychle a plazma nemá důvod rotovat diferenciálně; konvekce ve vrchních vrstvách hvězdy je však chaotická a způsobí „roztrhání“ magnetického pole a postupem času, jak hvězda zpomaluje svoji rotaci v důsledku stárnutí, roztržité magnetické pole slabě a plazma začne rotovat diferenciálně. Teoreticky předpovězená hodnota slunečního cyklu *Proximi* je podle autorů 9 r, což docela souhlasí s experimentálně pozorovanými 7 r.

I. Soszyński aj. oznámili **dokončení práce**, kterou před více než 100 lety zahájila **Henrietta Leavittová**. Její objev vztahu mezi svítivostí a periodou cefeid umožnil rozvoj experimentální kosmologie a její úsilí zmapovat cefidey v Magellanových mračnech čekalo na dokončení až do r. 2017. Autoři oznámili kompletní **katalogu všech cefeid v VMM a MM** z přehlídky *OGLE* – celkem jde o 9 649 klasických a 262 anomálních cefeid (plus 7 anomálních v halu naší Galaxie ve směru k Magellanovým mračnům). Dále se pracuje na **hvězdách typu RR Lyr** – těch je nyní zmapováno 46 443 a pokrytí se blíží 95 %. V druhé práci stejně autoři zveřejnili údaje o 924 cefeidách typu II, rozdělených do kategorií *BL Her*, *W Vir*, podivné *W Vir* a *RV Tau* plus 20 anomálních cefeid, nalezených ve výduti naší Galaxie.

S. Engle aj. zveřejnili analýzu dat z družic *Chandra* a *XMM-Newton* pro archetyp klasických cefeid, samotnou δ Cep. Potvrdili dřívější podezření, že δ Cep je **proměnná v rentgenovém oboru**. Již dříve se zjistilo, že v UV a dalekém UV cefida zhruba $10+20\times$ zjasní ve fázi 0,9–0,95. Variabilita je závislá na fázi cefidey, ale ze zatím neznámých důvodů je maximum světelné křivky v rentgenovém oboru posunuté přibližně o půl fáze oproti maximu v UV a dalekém UV oboru. Největší zářivý výkon v rentgenovém oboru δ Cep ve fázi $\sim 0,45$ je $1,7 \times 10^{16}$ MW, což představuje zhruba čtyřnásobek běžné hodnoty.

P. Morris aj. zveřejnili výsledky spektroskopického průzkumu **mlhoviny Homunculus** kolem jasné modré hvězdy η Car. Autoři použili data z družice *Herschel* pro blízkou IR oblast a dřívější submilimetrová data, aby určili hmotnost a složení prachu, z něhož se mlhovina skládá. Dva modely prachových částic odpovídají pozorovaným datům – první s hojným zastoupením železa, pyroxenu a dalších kovových silikátů, druhý nízkým zastoupením AlN a Si₃N₄. Pro oba modely vychází celková hmotnost Homunkula $\geq 45 M_{\odot}$, hlavně díky vysokému poměru plynu vůči prachu; hmotnost samotné prachové složky se pohybuje mezi $0,25 \pm 0,44 M_{\odot}$. Autoři dále zjistili, že **neprůhlednost materiálu mlhoviny klesla** proti období 1971–1977 zhruba o 25 %, což je zřejmě kromě rozfoukávání látky dáno také zvýšeným tlakem záření centrálního objektu, jehož jasnost ve vizuálním a UV oboru se naopak zvyšuje.

Vzplanutí symbiotické rekurentní novy V407 Cyg v r. 2010 přitáhlo pozornost k podivné dvojhvězdě, složené z horkého primáru a sekundáru, kterým je proměnná typu Mira. T. Iijima a H. Naito se zaměřili na spektroskopii tohoto systému v jeho klidném období. Použili data z observatoře v *Asiagu* (Itálie) a zaměřili se na období kolem r. 2012, v němž sekundár dosáhl maxima své jasnosti. Ukázalo se, že ačkolи přenos látky mezi složkami zhruba lineárně závisí na pulsování sekundáru, i mimo maximum jeho rozepnutí dochází k **nepravidelným zvýšením přetoku látky**, a to pravděpodobně v důsledku normálního přetecení Rocheova laloku. To patrně znamená, že oběžná perioda systému je ≤ 5 r a primár dokáže od svého souputníka do jisté míry přetahovat látku i v době, kdy se pulsující sekundár smrštěuje.

E. Bear a N. Soker zpracovali statistiku **morfologie planetárních mlhovin** se zaměřením na ty, které mají příliš složitý tvar, aby jej bylo možné vysvětlit klasickou interakcí dvojhvězdy. Rozdělili planetární mlhoviny do čtyř kategorií: *klasické, výrazně nesymetrické*, které lze vysvětlit přítomností 3. tělesa v systému, *nesymetrické s možnou přítomností 3. tělesa a mírně nesymetrické*, které je možné vysvětlit excentrickým dvojhvězdným systémem. Ukázalo se, že tvar 13+21 % planetárních mlhovin lze dobře vysvětlit přítomností 3. tělesa v systému. Autoři podotýkají, že ačkolи podle vývojových simulací 3. těleso většinou nemá šanci přežít vznik planetární mlhoviny, vzhledem k vysokému procentu takových mlhovin by mělo být možné najít několik trojhvězd v centru planetární mlhoviny.

2.3.6. Bílé trpaslíci

Dvojhvězda AR Sco sestává z chladné málo hmotné hvězdy a hmotnějšího bílého trpaslíka. Obě složky kolem sebe obíhají s periodou 3,55 h (!) a amatérští pozorovatelé si před nedávnou dobou všimli, že **jasnost dvojhvězdy kolísá** s periodou asi 1,97 min prakticky ve všech oborech spektra. D. Buckley aj. systém prozkoumali s ohledem na polarizaci záření a ukázalo se, že jeho světlo vykazuje **silnou polarizaci**, která se ovšem mění v závislosti na orbitální fázi, ale také v závislosti na rotační fázi bílého trpaslíka. Ten má velmi silné magnetické pole ($\leq 0,05$ T) a patrně právě interakce rychle rotujícího magnetického pole primáru s pozicí sekundáru moduluje polarizaci světla dvojhvězdy. Systém je **prvním objeveným pulsarem s bílým trpaslíkem namísto neutronové hvězdy**. C. Littlefield aj. použili dlouhodobá po-

zorování AR Sco z mise K2 sondy *Kepler* a doplnili je daty z přehlídek *Catalina* a *ASAS-SN* a zjistili, že kromě orbitalních modulací jsou na dlouhodobé fotometrii patrné náhodné variace s amplitudou kolem 2 % a typickou škálou jednotek dnů. Také je patrný dlouhodobý posun maxima jasnosti do dřívější fáze, což patrně souvisí s **magnetickým brzděním** rychle rotujícího bílého trpaslíka.

S. Parsons aj. také využili data z mise K2 sondy *Kepler* k průzkumu dvou systémů, v nichž bílý trpaslík obíhá spolu s málo hmotnou sekundární složkou na **mimořádně krátké oběžné dráze**. V prvním případě má oběžná perioda jen 71,2 min a sekundárem je hnědý trpaslík, ve druhém případě je oběžná perioda 72,5 min a sekundárem je buď hnědý trpaslík nebo málo hmotná hvězda. Systémy jsou převážně nekontaktní a zákrytové, takže bylo možné přesně určit hmotnosti složek – v prvním případě $(0,39 \pm 0,02) M_{\odot}$ a $(0,049 \pm 0,006) M_{\odot}$, v druhém $(0,56 \pm 0,07) M_{\odot}$ a $\leq 0,095 M_{\odot}$. Přinejmenším v prvním případě jde o systém, který se vyvinul z **jednoho společného hvězdného zárodku**.

U málo jasných **supernov typu Ia** se jako jedno z možných vysvětlení předpokládá, že jde o „nepovedené“ výbuchy uhlíkovo-kyslíkových bílých trpaslíků, na něž se v krátkém čase nabalilo velké množství látky získané z okolí. Numerické simulace ukazují, že v některých případech pozůstatek po takové explozi *může přežít díky vymrštění ze systému*. S. Vennes aj. objevili **bílého trpaslíka LP 40-365** s nízkou hmotností ($0,14 M_{\odot}$) a velikým vlastním pohybem – jeho rychlosť je dokonce větší než úniková z Galaxie. Přítomnost středně těžkých prvků v atmosféře, mezi nimiž chybí uhlík, a vysokou rychlosť autoři vysvětlují právě tím, že jde o přeživší pozůstatek po vzplanutí nepovedené supernovy.

J. Subasavage aj. zveřejnili přesné paralaxy 107 dalších blízkých bílých trpaslíků, získaných v projektech *Cerro Tololo Inter-American Observatory Parallax Investigation* a *Naval Observatory Flagstaff Station*. Z tohoto počtu se 50 bílých trpaslíků nachází do vzdálenosti 25 pc od nás, čímž se celkový počet těch nejbližších zvědlo o 42 %. Cílem autorů je objevit **všechny bílé trpaslíky** do vzdálenosti 25 pc, aby bylo možné extrapolovat jejich počet, vlastnosti a pravděpodobnou historii pro celou Galaxii. Sbírka už obsahuje krátkoperiodické systémy s oběma složkami degenerovanými, členy galaktického hala i trojhvězdu.

S. Xu aj. použili data z *HST* a *Keckova dalekohledu* k pozorování bílého trpaslíka **WD 1425+540**, kolem něhož se nachází oboba *Edgeworthova-Kuiperova pásu*, jak ho známe ze Sluneční soustavy. Podarilo se jim získat data pádu velkého množství kometárního materiálu na povrch bílého trpaslíka – ve spektrech totiž objevili otisk velice podobný našim kometám, byť zastoupení jednotlivých těžkých prvků se od nich poněkud liší. Těleso, které dopadlo na bílého trpaslíka, mělo hmotnost o pět rádů vyšší než komety ve Sluneční soustavě a patrně ho z disku zbytkového materiálu vytáhly dráhové poruchy, způsobené sekundární složkou dvojhvězdy. Jde o první případ **potvrzeného pásu kometární látky u jiného tělesa než Slunce** – navíc v okolí bílého trpaslíka, což ukazuje, že tento pás přežil i závěrečný kolaps hvězdy.

Konec LII. Žně objevů 2017 – část C

na tak dlhé ceste neobstojí. Na kozmickej lodi by museli byť oveľa robustnejšie a samostatnejšie. Czupalla: „Tam hore sa môže hocičo kedykolvek pokaziť. Netušíme, ako všetky tie zariadenia budú dlhodobo fungovať v podmienkach mikrogravitácie.“

Posádka na ISS o tom vie svoje. Počas prvých dvoch rokov bol systém recyklácie vody často mimo prevádzky. Filtre sa upchávali tri- až štyrikrát častejšie ako na Zemi. ISS sa vyvíjala sedem rokov, ale za ten čas nikomu nenapadlo, že v beztiažových podmienkach sa vápnik z kostí kozmonautov bude vylučovať močom, a takto vzniknuté kryštály budú upchávať filtre. Tento problém sa nakoniec operatívne zvládol. Špeciálne zariadenie na ISS spracovalo doteraz 13 ton moču.

„Bez dôkladných testov čohokoľvek v podmienkach mikrogravitácie sa na Mars nemôžeme vypraviť. Problémy, ktoré sa objavia, musíme odstrániť. Museli by sme však mať zariadenie, kde by sme mohli všetky technológie testovať,“ zdôrazňuje Czupalla. „Všetci dúfame, že ISS ešte nebude odstavená.“ ISS s meniacimi sa posádkami má obiehať okolo Zeme ešte päť rokov.

Riziká a vedľajšie účinky

Kto na seba zoberie zodpovednosť za ľudí, ktorí na ceste k Marsu budú musieť celé mesiace stráviť v podmienkach mikrogravitácie a potom žiť na planéte, ktorá má o dve tretiny slabšiu gravitáciu ako Zem?

„Vo vesmíre kosti rednú a krehnú. Svaly sa zmenšujú a slabnú. Aj srdce sa zmenšuje“, hovorí Jens Jordan, riaditeľ Inštitútu leteckej a kozmickej medicíny v Kolíne.

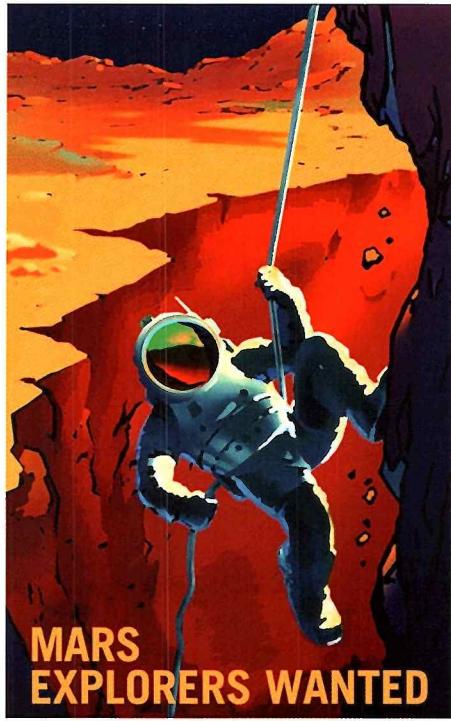
Astronauti pomocou silového tréningu môžu

tieto procesy spomalíť, ale nemôžu im zabrániť. Doteraz nevieme, či odbúravanie vápnika z kostí v podmienkach nižšej gravitácie bude pokračovať, alebo sa na nejakej úrovni, napríklad v závislosti od gravitácie Marsu, zastaví. Okrem dôsledkov chýbajúcej gravitácie budú mať marsonauti problém so žiareniom. Thomas Berger, vedúci skupiny biofyzikov Nemeckého kozmickej strediska: „Silné slnečné erupcie zaplavujú našu Slnečnú sústavu protónmi s vysokou energiou. Väčšia dávka môže u astronauta vyvoláť chorobu z ožiarenia.“ V každej lodi preto vznikne priestor, kde bude posádka chránená – napríklad zásobníkom vody. Predpoveď slnečnej aktivity sú dnes pomerne spoľahlivé, posádka dostane včasné varovanie.

Počas dlhodobého pobytu vo vesmíre bude marsonautov ohrozovať aj kozmické žiarenie; vysokoenergetické časticie môžu vyvolať rakovinu. Energia kozmického žiarenia je taká vysoká, že sa pred ňou nedá pasívne brániť. Každá kozmická loď by mala mať preto ochranné magnetické pole. Inžinieri z ESA už vyhodnocujú niekoľko konceptov „magnetického bunkra“.

Berger: „Je vyslanie ľudí na Mars v takýchto podmienkach eticky priateľné? V NASA platí, že pravdepodobnosť vzniku rakoviny vyvolanej žiareniom nesmie prekročiť hranicu troch percent. Počas letu na Mars i pobytu na planéte bude táto hranica určite prekročená. Mars, na rozdiel od Zeme, nemá globálnu magnetickú ochranu.“

Jens Jordan upozorňuje aj na možné psychické problémy. Marsonauti budú dlho spolu v relativne malom priestore. Také cestovanie je mimoriadne nudné. Preto psychológovia v rámci



Smelé plány boli doteraz neúspešné: jeden z plagátov kampane NASA z roku 2009.

dlhodobých simulácií skúmajú, aké vysoké je riziko ľudského zlyhania napriek tomu, že posádku budú tvoriť ľudia všeestranne odolní a pokiaľ možno aj duševne vyrovnaní.

Rizikové pristátie

Na Marse úspešne pristalo už veľa sond. Pre lodi s ľuďmi by sa však nehodila ani jedna doteraz použitá technológia. Či už ide o zníženie



Návrat Američanov do vesmíru: 24. mája 2011 NASA oznámila, že vyvíja novú kozmickú loď Orion MPCV (Multi-Purpose Crew Vehicle). V tejto lodi by mohli astronauti opustiť blízkú obežnú dráhu a zamieriť k Mesiacu alebo asteroidu či kométe. Prvý skúšobný let sa uskutočnil v decembri 2014. Prvý let s ľudskou posádkou sa uskutoční najskôr v roku 2023.



Pestovanie a príprava potravín na kozmickej lodi a na iných planétach je jednou z podmienok úspešných misií. Zelené pokusy sa robia aj na palube ISS. Na snímke astronaut Steve Swanson v module Harmony pri experimente so šalátom.



Kráter Kilauea na Havaji: Na Zemi sa študujú najrozličnejšie aspekty pobytu na Marse. V tomto prípade v rámci projektu BASALT (Biologic Science Associated with Lava Terrains) skúmajú čadičové oblasti, ktoré sa vyskytujú aj na Marse.

rýchlosť, alebo mäkký dopad na povrch planéty. Marsovská atmosféra je taká riedka, že jediný brzdiaci padák nepostačuje už pri užitočnom náklade 1 tony. Lod s ľudskou posádkou však bude mať hmotnosť najmenej 20 ton. Inžinieri zo SpaceX vyvinuli nadzvukovú brzdu pre jednotlivé dielce rakety. S takou brzdom by sa kozmická loď mohla zniest na povrch Marsu aj bez padákov. Túto techniku však budú musieť testovať 70 km nad Zemou, kde je atmosféra rovnako riedka ako na Marse. Mimochodom: rakety Falcon-9 už túto techniku pri návrate na Zem používajú.

Kto to zaplatí? NASA už nie

Technické problémy sú veľké, no cesta na Mars bude najmä otázkou peňazí. William H. Gerstenmeier, ktorý v NASA zodpovedá za kozmické lety s ľudskou posádkou, nedávno vyhlásil: „Kedy ľudia pristanú na Marse?

Neviem... O všetkom rozhodnú peniaze.“ Bez štedrej finančnej podpory nedokážu v NASA vyvinúť systémy pre pristátie na Marse. Scott Hubbard je presvedčený, že v krátkom a strednom horizonte NASA peniaze nedostane.

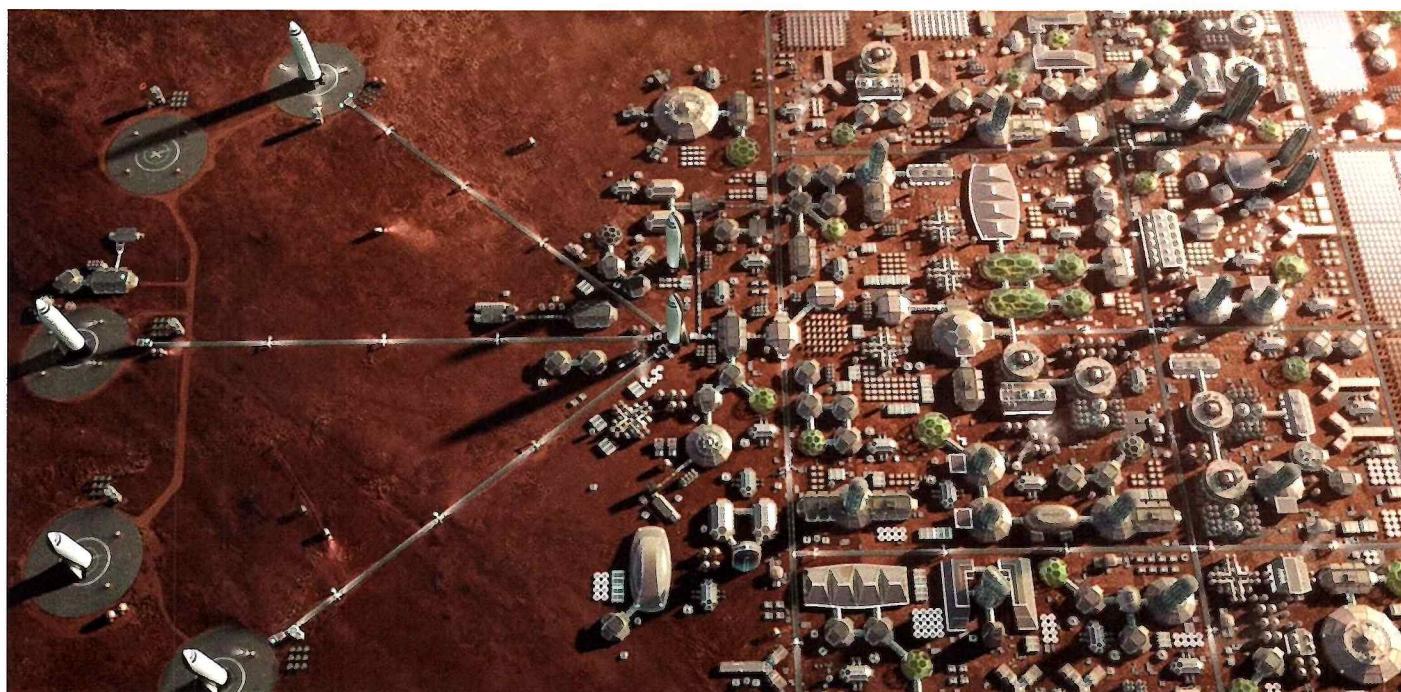
V 90. rokoch 20. storočia presadzovali inžinieri priamy let na Mars. Dnes majú na stole scenár s medzipristátim. Americký viceprezident Mike Pence nedávno oznámil, že hlavným cielom NASA by mal byť v prvom rade návrat na Mesiac. Tento plán sa nezaobídze bez zásobovacej stanice na obežnej dráhe okolo Mesiaca. Práve z tejto Deep Space Gateway by sa mali marsovské misie vypravovať. Príslušné direktívky podpísal prezident Trump už v decembri roku 2017.

Markus Landgraf z Európskej vesmírnej agentúry (ESA), ktorý pripravuje kozmické misie, to považuje za dobrý nápad: „Priamy

let na Mars by bol príliš drahý. Deep Space Gateway je projektom, bez ktorého sa ďalej nedostaneme. ESA sa na ňom bude podieľať.“ Zdá sa, že medzinárodná spolupráca – spomeňme si na ISS – je po rokoch opäť možná. Kozmické misie, bez veľkej reklamy, skôr potichu, pripravujú aj v Číne. Podľa Hubbarda napodobňujú Američanov: Najprv s jedným, potom s dvomi taikonautmi. Číňania majú výhodu: ich náklady sú zahrnuté vo vojenkom rozpočte. Reálne náklady sa sice utajujú, inžinieri sa však na rozpočet môžu spolaahnúť. Čína chce dopraviť ľudí na Mesiac. Kozmický program má aj India – s rovnakým cielom. Ľudstvo sa teda po ceste na Mars najskôr pristaví na Mesiaci. Bude to prestupná stanica, alebo zbytočná oklúka?

Uvidíme. O desať, dvadsať či tridsať rokov.

Bild der Wissenschaft 2018, E. G.



Predstava súkromnej firmy SpaceX: pravidelné prílety kozmických lodí na Mars a výstavba marsovskej dediny.

Na skok k (našim) ľadovým obrom

Exoplanéty s parametrami Uránu a Neptúna nazývame ľadovými obrami. V našej Galaxii sa vyskytujú v hojnom počte. Lenže o tých našich ľadových obroch, ktoré máme doslova za rohom, stále nevieme veľa. Aj keď snaha o nápravu tu je.

Prvé blízke snímky Uránu vyslala na Zem v roku 1986 americká sonda Voyager 2. Planetológov tieto snímky sklamali: Urán na nich vyzerá ako hladká zelenkavo modrastá guľa. Výsledkom bolo, že vedci Urán dlho považovali za jedno z najnudnejších telies Slnečnej sústavy. Mýlili sa. Rovnako ako Galileo, ktorý v roku 1612 považoval Urán za hviezdu.

Tajomné ľadové gule

Za najväčšieho znalca Uránu (ale aj Neptúna) je momentálne považovaný Mark Hofstadter z Jet Propulsion Laboratory v kalifornskej Pasadene. Hovorí: „V učebniach astronómie sa celé desaťročia tradovalo, že Urán a Neptún, ktoré sú štyrikrát väčšie ako Zem, sú menšími bratmi Jupitera a Saturna. Dnes však tietoplynné planéty zaradujeme medzi ľadové obry.“

Označenie ľadové obry vyplynulo z údajov, podľa ktorých 2/3 týchto planét tvoria prchavé látky ako voda, amoniak a metán, ktoré silný mráz na periférii Slnečnej sústavy mení na tvrdý ľad. Ibaže: kryštáliky vodného ľadu v atmosférach oboch planét objavili zatiaľ iba v oblakoch, ktoré okolo nich obiehajú. Pod atmosférami sa ľady topia, pričom každý má iný bod topenia.

Veľa nevieme ani o ich vnútorej stavbe, zložení a zvláštnych magnetických poliach. Pritom ide o mimoriadne početnú populáciu: vedci odhadli, že v iných sústavách sú telesá tohto typu devätkrát početnejšie ako v našej sústave.

Hofstadter: „Mechanizmus zrodu týchto stredne veľkých planét musí byť náramne jednoduchý, ale prečo je ich v Galaxii toľko, to zatiaľ netušíme. Ak na to raz príde, dozvieme sa viac o formovaní planetárnych sústav v celom vesmíre.“

NASA na základe Hofstadterovej iniciatívy odobrila plán nových výprav k Uránu a Neptúnu. K najvzdialenejším planétam poletíme desať rokov. Zatiaľ nevedno kolko sond sa vydá na cestu, prvá však má odštartovať v roku 2022.

Búrlivé atmosféry

Vedci od nových misií očakávajú bohatú korist. Okrem údajov sondy Voyager 2 analyzovali v ostatných rokoch aj iné údaje získané s pomocou ďalekohľadov alebo experimentov v laboratóriach. Rozšírili tak naše predstavy aj o vnútri týchto planét. Napríklad ďalekohľad Keck na Mauna Kea priniesol zistenie, že aj „nudný“ Urán má dynamickú atmosféru:

pod vrstvou uhlôvodíkov sa pohybujú oblaky a búrkы, pričom táto vrstva sa sezónne mení. Na snímkach z HST z roku 2012 rozlíšime pásy oblakov pripomínajúce girlandy. Späťa horizontu sa podchvíľou vynárajú menšie búrkы, raziace si cestu bezpočtom malých mračien. Severný pól má obvykle „čiapku“ z oblakov. V roku 2014 pozorovali vedci i amatéri na siedmej planéte mimoriadnu búrkovú aktivitu.

Pozornosť vzbudzujú aj čudesné fenomény počasia na Neptúne. Už sonda Voyager 2 vyskúšala v roku 1989 v stredných šírkach tmavú búrku. A v roku 2017 sa, na všeobecne prekvapenie, objavila nad rovníkom Neptúna aj mimoriadne svetlá búrka.

Aký mechanizmus generuje búrkovú aktivitu v atmosférach oboch planét? O tom vieme

rovnako málo ako o ich vnútorej štruktúre. Obe planéty majú obálku, ktorá nemá viac ako 10% ich hmotnosti, tvorenú najmä vodíkom a heliom. Kryštáliky predpokladaných „ľadov“ metánu, amoniaku, vody a sírovodíkov tvoria svetlé búrkové oblaky.

Diamanty v hlbke

Metán sa v atmosfére prejavuje modrou farbou. Uprostred oboch planét sa nachádza pevné, skalnaté jadro, veľké ako Zem. Tlak okolo jadra je 5-miliónkrát vyšší ako na povrchu Zeme. Teplota v týchto hlbkach dosahuje podľa odhadov 4000 až 14 000 °C. Najväčšou záhadou je však plášť oboch planét, pretože práve tam sa sústreduje 70 až 90% ich hmotnosti. Tento plášť tvoria už vyššie spomenuté lody, ale v „nadkritickom stave“.

V tomto plastickom oceáne sa odohrávajú exotické fyzikálne procesy. Vrátané možnosti, že v hlbke zhruba 10 000 kilometrov by sa mohli pod vysokým tlakom tvoriť aj diamanty!

Táto hypotéza je známa už 40 rokov. V roku 2017 pokusy vedcov okolo Dominika Krausa (Helmholz-Zentrum Dresden) túto možnosť potvrdili. Pomocou laserových pulzov v Stanford Linear Accelerator Center v Kalifornii nasimulovali podmienky vo vnútri oboch ľadových obrov: Kraus: „Uhlôvodík polystyrol sme vystavili tlaku 1,5 miliónov barov pri teplote 5000 °C. Prekvapilo nás, že už počas prvého pokusu sa začali tvoriť veľké kryštály. Rast kryštálov sme pozorovali pomocou röntgenového laseru v reálnom čase. Takmer všetky atómy uhlíka sa premenili na diamanty.“

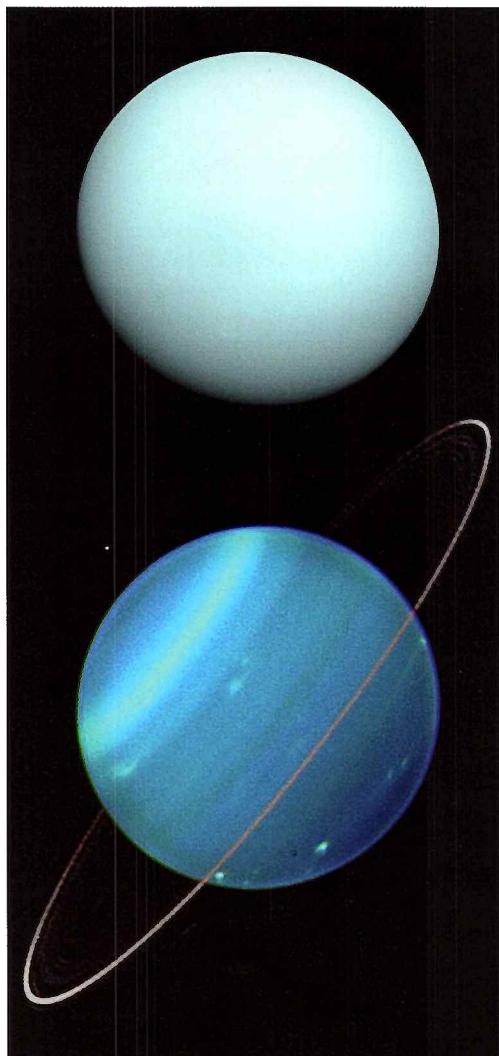
Či sa aj vo vnútri ľadových obrov naozaj tvoria veľké diamanty závisí od spravidelných látok – vody a amoniaku. Podľa modelových výpočtov, ktoré v roku 2016 zverejnili ruskí vedci, mohli by uhlík, kyslík a vodík v podmienkach vysokého tlaku vytvárať neznáme chemické väzby. Napríklad polyméry z pevnej kyseliny uhlíctej. To však iba vtedy, ak teploty vo vnútri ľadových obrov nie sú príliš vysoké. Pri vysokých teplotách by sa diamanty zrejme nevytvárali.

Zvláštny systém vykurovania

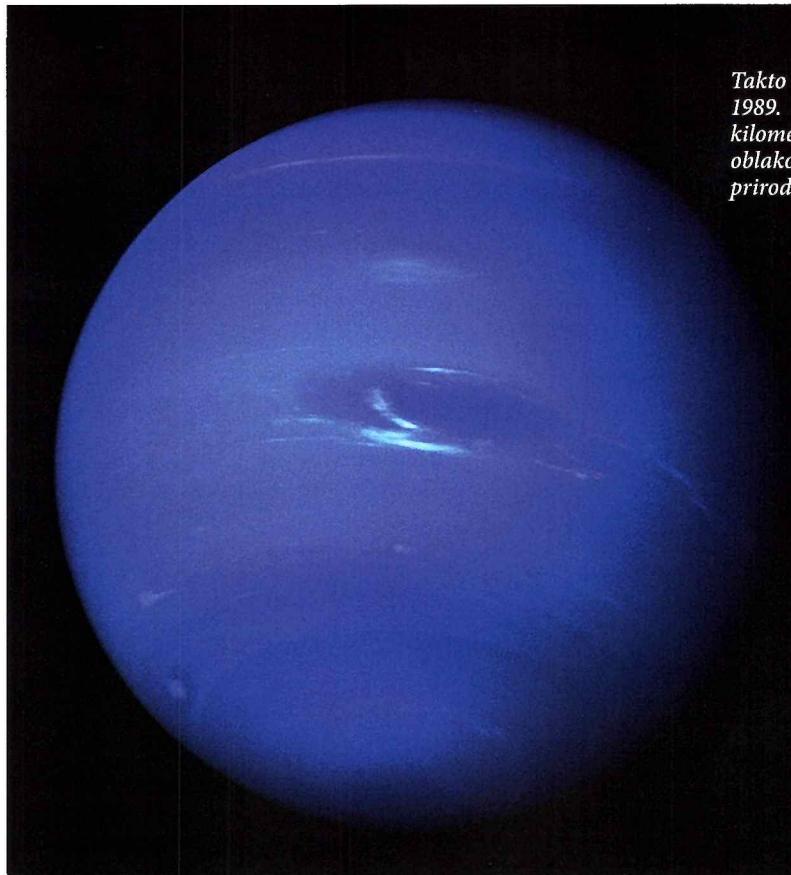
Mechanizmus vyhrievania, ktorý funguje v „bruchu“ Uránu, je zatiaľ záhadou. Táto planéta, na rozdiel od väčších súrodenec, nevyžaruje viac energie ako prijíma od Slnka!

Hofstadter: „Jupiter, Saturn a Neptún sa narodili ako horúce telesá. Dodnes výžarujú teplo do svojho okolia. Urán, napriek tomu, že je čo do veľkosti a zloženia podobný Neptúnu, teplo nevyžaruje.“

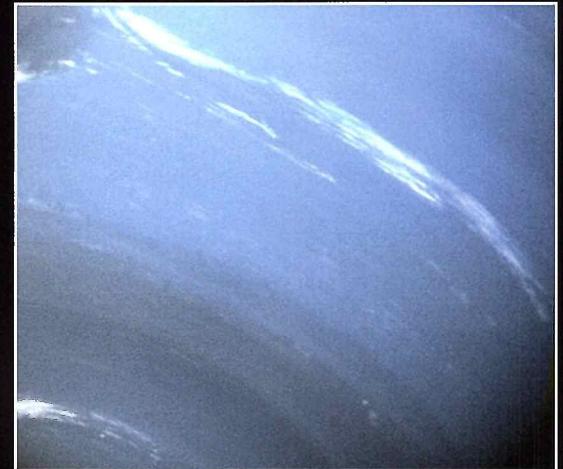
Prečo? Jedným z možných vysvetlení je, že Urán o teplotu svojho zrodu prišiel po gigantickej zrážke s iným telesom. Táto zráž-



Urán zblízka, presnejšie zo vzdialenosťi 815 600 km, nasnímala iba sonda Voyager 2. Bolo to v roku 1986. Plynová atmosféra sa zdala byť vtedy homogénna (horný obrázok). Na infračervenej snímke získanej obrím ďalekohľadom Keck v roku 2004 sa dajú rozoznať pásy (snímka dole). Keck exponoval snímky na vlnových dĺžkach 1,2 až 2,4 mikrometrov.



Takto Neptún videla sonda Voyager 2 počas blízkeho preletu v roku 1989. Snímku vľavo exponovala kamera zo vzdialenosťi 7 miliónov kilometrov, štyri dni pred najväčším priblížením k planéte. Formácia oblakov exponovaná zo vzdialenosťi 590 000 kilometrov má takmer prirodzené farby.



ka by mohla vysvetliť aj to, prečo Urán „leží na boku“: jeho os rotácie sa takmer dotýka roviny obežnej dráhy, takže Urán sa okolo Slnka doslova kotúľa.

Najnovšie vedci vyrukovali s hypotézou, že Urán má vo vnútri akúsi hraničnú vrstvu, ktorá zabraňuje prúdeniu tepla zvnútra na povrch. Podobne ako obyčajná termoska. Voda pri vysokom tlaku môže nadobúdať exotické skupenské formy, napríklad: zmení sa na superionickú vodu, hypotetickú látku s pevnou mriežkou, ktorú tvoria ióny kyslíka. V tejto mriežke sa ióny vodíka volne pohybujú.

Nepravidelné magnetické polia

Magnetické polia na oboch ľadových obroch by mohla generovať o niečo pohyblivejšia forma – ionická voda, ktorá je taktiež vodivá. Tieto magnetické polia sú podstatne nepravi-

delnejšie ako ich náprotivky na Zemi, Jupiteri či Saturne: os dipólu s magnetickým polom, ktoré je obdobou magnetického poľa týčkového magnetu, sa v prípade Neptúna i Uránu silne odchyluje od osi rotácie.

Okrem toho majú magnetické polia týchto planét viacero pôlov! To naznačuje, že dynamo, poháňané prevaľujúcou sa, elektricky vodivou kvapalinou, vzniká a zaniká v tenkej vrstve nedaleko povrchu planét. Prinajmenšom v prípade Uránu by to však nebolo v súlade s predstavou „izolačnej vrstvy, ktorá zabraňuje konvekciu.“

Vedci priznávajú, že sú na stope fyzikálnych procesov, ktorým ešte nerozumejú.

Vari najväčšou záhadou je samotný zrod ľadových obrov. Z počítačových modelov vyplývajú totiž náramne špecifické, takmer neuveriteľné podmienky zrodu. Dodnes platí, že sa

štiri obrie planéty v našej sústave formovali takto: najprv sa z ľadu a skaliek gravitačne, údajne pomaly, pozliepalí ich jadrá. Keď jadro dosiahlo kritickú hodnotu $10 M_{\oplus}$, začalo „hlátavo“ nabalať vodík a helium a planéty sa rýchlo zväčšovali. Jupiter a Saturn počas tohto obdobia nadobudli svoju súčasnú veľkosť. Vývoj Uránu a Neptúna však ešte pred štádiom nabalovania ľahkých plynov „zamrzol“.

„Urán a Neptún sú vlastne pôvodnými jadrami, pozliepanými z ľadu a skál,“ tvrdí Hubert Klahr z Max-Planckovho astronomického inštitútu v Heidlebergu. „Prečo to takto dopadol? To zostáva záhadou. Obe planéty pravdepodobne nadobudli kritickú hmotnosť vtedy, keď sa už solárna prahmlovina začala rozptyľovať a rednúť. Jednoducho sa minul materiál. Takéto špeciálne načasovanie je však v ostrom protiklade s hojnosťou výskytu uranických a neptunických telies v našej Galaxii.“

Planéty so zadržaným rastom

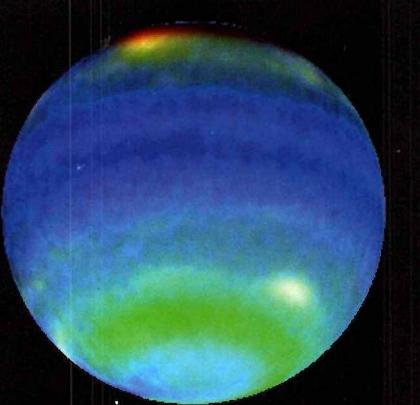
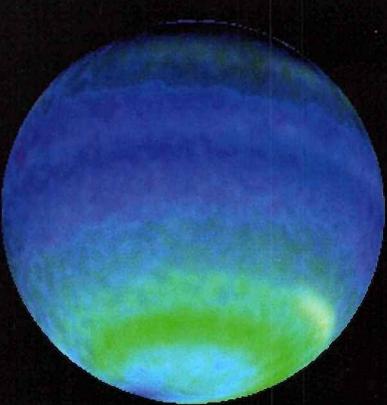
Iné vysvetlenie zverejnili v roku 2017 Renata Frelikh a Ruth Murray-Clay z University of California: Urán a Neptún sa podľa nich sformovali hlbsie vo vnútri Slniečnej sústavy, kde ich rast utlmila „pažravost“ Jupitera a Saturna. Keď solárna prahmlovina začala rednúť, obežné dráhy obrích planét sa začali meniť a stali sa nestabilným. Oba ľadové proto-obry sa pod vplyvom Jupitera a Saturna dostali na perifériu Slniečnej sústavy. Tam sa ich rast opäť do istej miery zrýchli, ale z rednúcej prahmloviny si dokázali nabaliť iba tenkú obálku atmosféry.

Pre našich ľadových obrov toto vysvetlenie neplatí. Vesmírny dalekohľad Kepler a ďalšie citlivé prístroje objavili v cudzích planetár-

Siedma a ôsma planéta Slniečnej sústavy

Vlastnosti	Urán	Neptún
Hmotnosť v M_{\oplus}	14,5	17,1
Polomer v R_{\oplus}	3,98	3,85
Teplota na povrchu (v K a °C)	76 (-197)	72 (-201)
Stredná hustota v gramoch na cm^{-3}	1,27	1,64
Trvanie dňa v hodinách	17,2	16
Obeh okolo Slnka v rokoch	84	165
Sklon osi rotácie voči rovine dráhy v stupňoch	97,8	28,3
Počet mesiacov	27	14

Všetky mesiace Uránu majú mená podľa postáv z diel Shakespeara a britského básnika Alexandra Popea. Až 7 mesiacov Neptúna okolo planéty obieha vzhľadom na rotáciu planéty opačným smerom. Predpokladá sa, že ide napospol o gravitačne polapené telesá.



Počasie na Neptúne: snímky oboch pologúľ Neptúna (hora) exponoval Hubblov vesmírny ďalekohľad (HST) 13. augusta 1996. Falosné farby zviditeľňujú metánovú atmosféru, biela a žltá farba najvyššiu vrstvu oblakov, tmavý pás rovníkové búrky s rýchlosťou bezmála 1500 km/h. O tri dni neskôr fotografoval HST Neptún znova. Snímka (vľavo) znázorňuje vo falosných farbách novú búrku pri Veľkej tmavej škvrne (šípka).

ných sústavách vyše 1000 exoplanét s polomermi 2 až 5-krát väčšími ako polomer Zeme. Takmer všetky planéty s takýmto parametrom majú nižšiu hustotu ako skalnaté planéty. A podľa všetkého sú bohaté na vodu, metán a iné, exotickejšie ľadové.

Ľadové obry sú teda výrazne najpočetnejšia skupina spomedzi doteraz objavených exoplanét aj napriek tomu, že väčšie ľadové obry sa ľahšie objavujú. Všetky tieto planéty majú jedno spoločné: svoje hviezdy obehnú za menej ako jeden pozemský rok. Ich obežné dráhy sa v porovnaní s obežnými dráhami Uránu a Neptúna nachádzajú oveľa bližšie k hviezde.

Klahr: „Takéto planéty v našej Slnečnej sústave nemáme. Znamená to, že sa zrodili a vyvíjali inak.“

Možno boli kedysi väčšie, ale intenzívne žiarenie materských hviezd ich atmosféry „očesalo“, zmenšilo ich hrúbku. Tento proces nazývajú planetológovia fotoevaporáciou.

Pozoruhodná je aj štatistika exoplanét, ktorú urobil tím Benjamina Fultonu z University of Hawaii. Vyplynulo z nej, že medzi terestrickými planétami a ľadovými obrami nejedstupuje kontinuálny, postupný prechod: v množine „keplerovských exoplanét“ by sme ľahko našli telesá s 1,5 až 2-násobným priemerom ako Zem.

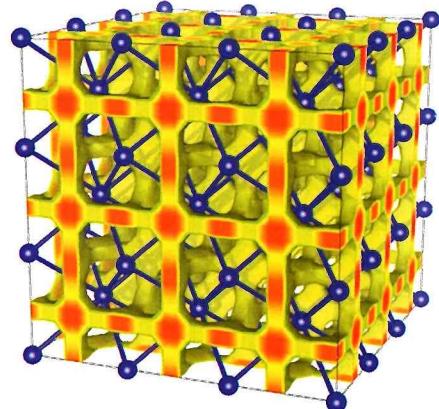
Fultonovci zverejnili štatistiku pred dvomi rokmi. Objavy nových exoplanét na jej výpo-vednej hodnote nič nezmenili.

Klahr: „Medzi poctivými skalnatými planéta- mi a na plyny bohatšími minineptúnnimi sme jasne rozdiely nezaznamenali. To je naozajstná záhada.“

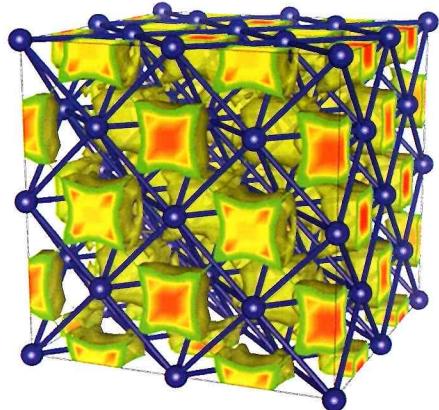
Misia na periférii

Astrofyzici pracujú aj s počítačovými modelmi, ktoré možno dokážu rast planetárnych sústav simulať.

Klahr: „Meníme počiatokné podmienky (ro-



Exotický ľad: superionický vodný ľad môže vypĺňať vnútropis Uránu i Neptúna, kde pôsobí obrovský tlak. Dve fázy tejto špeciálnej konfigurácie atómov vodíka a kyslíka predpovedali vedci už na prelome tisícročia. Tieto konfigurácie by sa mali vytvárať pri 500 000 až 1 000 000-krát vyššom tlaku než aký pôsobí na povrchu Zeme. Tieto štruktúry dokážu vedci zatiaľ iba simulovať. Dokaz z laboratória publikovali vo februári 2018.



táciu a hustotu plynového disku), aby sme sa dozvedeli, aké sústavy sa môžu vyvinúť.“

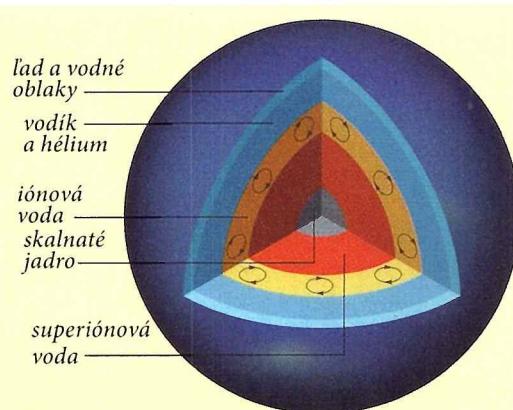
Výsledky, ktoré z modelov vyplynuli, sa spočiatku nezdale iba realistické. Prakticky všetky virtuálne planéty splynuli s materskou hviezdou, ale vedci ich z roka na rok vylepšujú. Ak modely budú fungovať čoraz lepšie, azda sa raz predsa len dozvieme, či je naša sústava naozaj výnimočná. Vtedy dokážeme vysvetliť aj história zrodu ľadových obrov.

Záhadu okolo ľadových obrov môže objasniť aj misia do vonkajšej oblasti Slnečnej sústavy. Navrhlo ju Hofstadterov tím. Sondu by mali vypustiť okolo roku 2030.

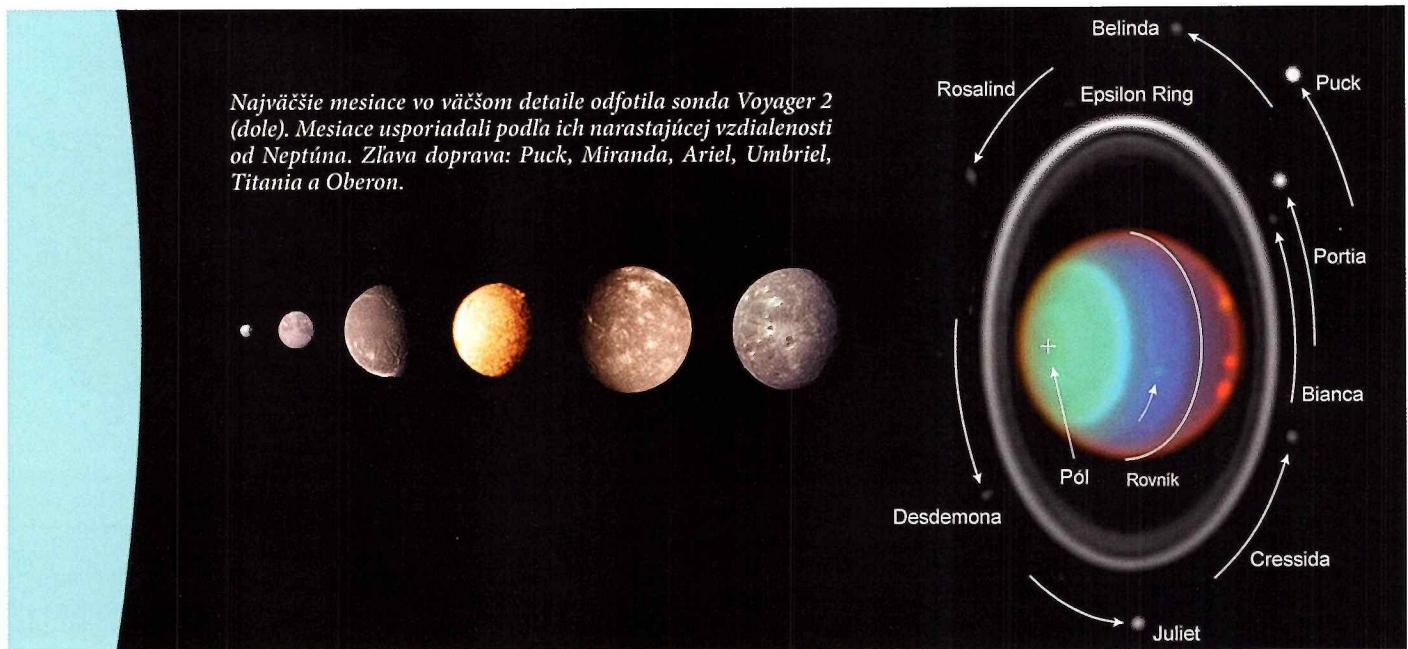
Hofstadter: „S pomocou gravitačného katapultu Jupitera by sme tam mohli vyslať najväčšiu sondu, vybavenú najrozličnejšími prístrojmi. Ak toto okno premeškáme, dve generácie našich nasledovníkov budú musieť čakať, kým sa vzhľadom na polohu Jupitera opäť otvorí.“

Hofstadter však údaje z tejto sondy už analyzoval nebude. V roku 2018 oslavil 55 rokov, a v roku 2040, keď sonda dorazí k Uránu, už bude dôvod na dôchodku.

Bild der Wissenschaft 24/18, E. G.
pokračovanie na nasledujúcej strane -->



Zvláštne vnútra: o vnútornej stavbe ľadových obrov zatiaľ veľa nevieme. Skalnaté jadro režime obaluje voda v exotickom stave. Atómy kyslíka vytvárajú mriežku, cez ktorú sa atómy vodíka môžu pohybovať. Konvekívne prúdy v iónovej vode by mali generovať globálne magnetické pole. V superiónovej vode by však takýto generátor nefungoval.



Mesiace Uránu a Neptúna

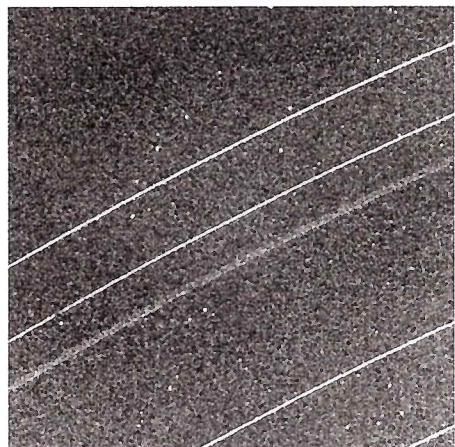
Hoci sa Urán a Neptún dosť podobajú, ich mesiace a mesiacíky sa výrazne odlišujú. Neptúnovej mesačnej družine vládne Tritón. Tento mesiac je o niečo menší, ale oveľa lahší ako nás Mesiak, pretože ho tvorí zmes ľadov a skál. Tritón je objektom z Kuiperovho pásu, ktorý sa ocitol v gravitačnej pasci Neptúna a vzápäť rozrušil pôvodnú sústavu mesiacov.

Zo simulácií vyplýva, že Tritón sa zrazil s niekoľkými „domácimi“ mesiacmi. Navyše: opakované blízke stretnutia s inými mesiacmi vyhostilo tieto telesá Neptúnovej rodiny. Dôsledkom opakovaných kolízií sa pretiahnutá, eliptická obežná dráha Tritóna premenila na kruhovú. Okolo Neptúna obieha opačným smerom ako väčšina jeho mesiacov.

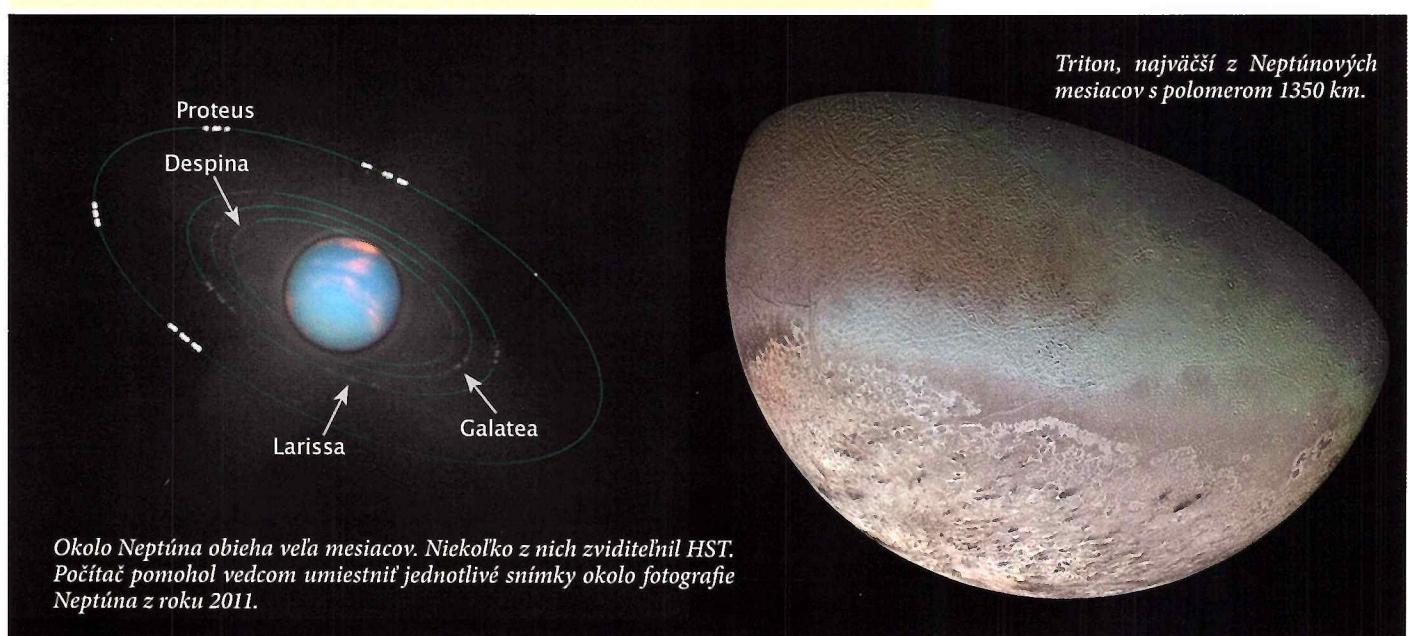
Výpočty priprúšťajú, že niektoré z pôvodných mesiacov mohli s Tritónom po mäkších zrážkach splynúť. Viac ako desatinu jeho hmotnosti tvorí hmota z obetí tohto koz-

mického biliardu. Na snímkach zo sondy Voyager 2 (z roku 1986) vidíme početné gejzíry tryskajúce z inak hladkého povrchu mesiaca. Tritón je geologicky aktívny a pod jeho povrhom sa prevaluje globálny oceán. Vzhľad ostatných mesiacov Neptúna môžeme odvodiť z vlastností mesiacov Uránu. Táto zelenkastá planéta má 27 pomerne malých mesiacov. Najmenej dva z nich – Miranda a Ariel – sú geologicky aktívne telesá, pravdepodobne s globálnymi oceánmi pod povrhom.

Interakcie medzi mesiacmi a prstencami oboch planét sú v porovnaní s pôvodnými vedeckými predpokladmi chaotické a podstatne dynamickejšie. Okolo Uránu obieha modrastý prstenec, ktorý zrejme tvoria kryštáliky vodného ľadu. Zdrojom vody môže byť mesiac Mab, hoci na prvý pohľad je príliš malý na to, aby z neho mohli tryskať gejzíry. V prstencoch Neptúna boli v čase obletu sondy Voyager 2 veľké zhluhy, ktoré sa medzičasom rozptylili.



Aj Urán má sústavu prstencov, tá však Saturnu nemôže konkurovať. Fotografiu urobil Voyager 2 v januári 1986. Vidíme na nej niektoré z 13 prstencov zo vzdialenosťi 1,12 miliónov kilometrov. Zhora nadol: Delta, Gamma, Eta, Beta a Alfa.



Okolo Neptúna obieha veľa mesiacov. Niekoľko z nich zviditeľnil HST. Počítač pomohol vedcom umiestniť jednotlivé snímky okolo fotografie Neptúna z roku 2011.

Čo všetko vidíme na Slnku?

Od pozorovania slnečných škvŕn voľným okom až k moderným družicovým prístrojom

Slnko pútalo pozornosť človeka už od dávnych čias. Kedysi sa slnečné škvŕny pozorovali voľným okom, o čom svedčia záznamy v mnohých historických zdrojoch. Až ďalekohľad, ktorý sa zrodil začiatkom 17. storočia, však umožnil spoloahlivejšie a pravidelnejšie zaznamenávať vývoj slnečnej aktivity (SA) a neskôr aj zistit jej 11-ročný cyklus.

Spektroheliografy, vyvinuté už v 90-tych rokoch 19. storočia, a neskôr i úzkopásmove Ha filtre, vynájdené v 30-tych rokoch 20. storočia, umožnili pozorovať slnečné protuberančie a erupcie zobrazením Slnka vo svetle spektrálnej čiary vodíka. V súčasnosti sa tieto prejavy SA pozorujú vo viacerých spektrálnych čiarach na mnohých miestach na zemskom povrchu. Prvé rádiové pozoro-

vanie Slnka pochádza z roku 1943. Dnes zaznamenávajú pozemské rádioteleskopy rádiové vzplanutia na Slnku už v širokom rozsahu frekvencií: od 15 MHz do 400 GHz. V kozmickom veku nadobudli pozorovania Slnka úplne nový rozmer. Postarali sa o tom najmä koronografy umiestnené na družiciach mimo zemskej atmosféry a ďalekohľady so spektrometrami na umelých družiciach Zeme. Dokážu registrovať ultrafialové, röntgenové i gama žiarenie Slnka, ktoré zemská atmosféra pohlcuje, preto ho z povrchu Zeme nevieme zaznamenať. Počas úplných zatmení Slnka je sice možné pozorovať chromosféru bez použitia filtra alebo i bielu korónu, no len veľmi zriedka.

Medzičasom boli vyvinuté i čoraz väčšie pozemské slnečné ďalekohľady. Súčasné pozorovania prejavov SA pozemskými ďalekohľadmi

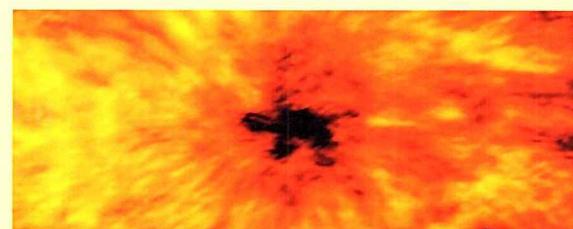
a prístrojmi na družiciach v rôznych oblastiach spektra odhalili obrovskú dynamiku javov prebiehajúcich v slnečnej atmosfére. Kedže variabilita SA je hlavným motorom tzv. kozmického počasia, ktoré môže negatívne ovplyvniť technosféru i biosféru na Zemi, je nevyhnutné neustále monitorovať Slnko z povrchu Zeme i z kozmického priestoru. Flotila súčasných kozmických družíc (SoHO, Hinode, SDO, STEREO, IRIS, GOES, PROBA) doplnila nedávno Parkerova slnečná sonda, vo februári 2020 by mala byť vypustená na svoju dráhu i družica Solar Orbiter.

Ivan Dorotovič

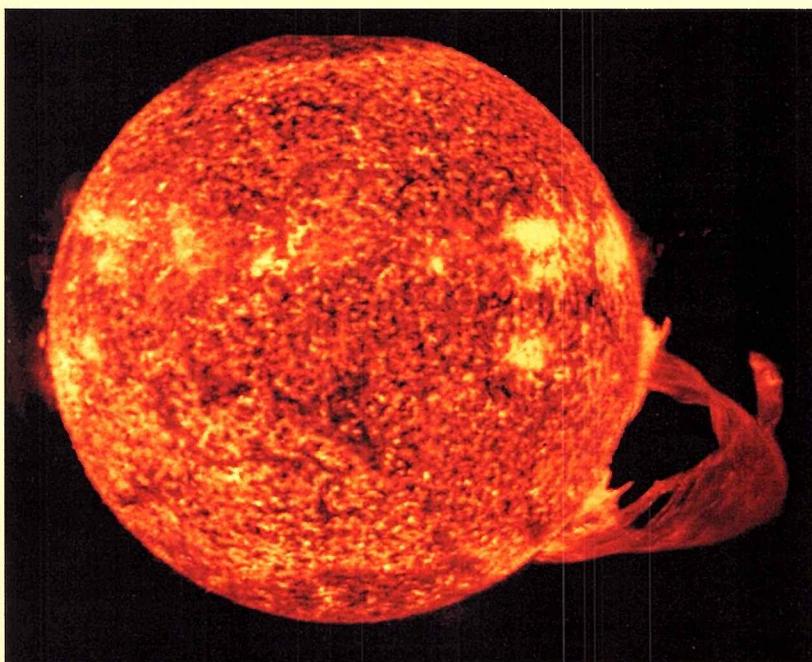
Zdroje obrázkov: I. Dorotovič (1), Encyclopædia Britannica, SKY&Telescope, NSO, ESO/ALMA, NASA/ESA/SOHO, NASA/SDO/GSFC.



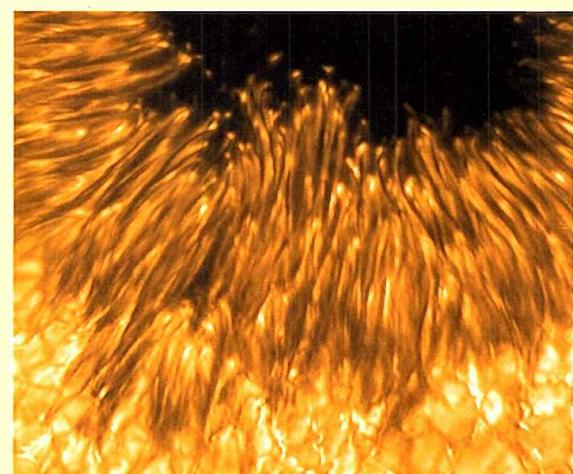
Pri pohľade voľným okom zo vzdialenosťi 150 miliónov km Slnko môže vyzeráť ako pokojný a relativne nezáujímavý objekt. Opak je však pravdou, ako to potvrdzujú pozorovania Slnka v rôznych časťach spektra s neustále narastajúcim priestorovým i časovým rozlíšením.



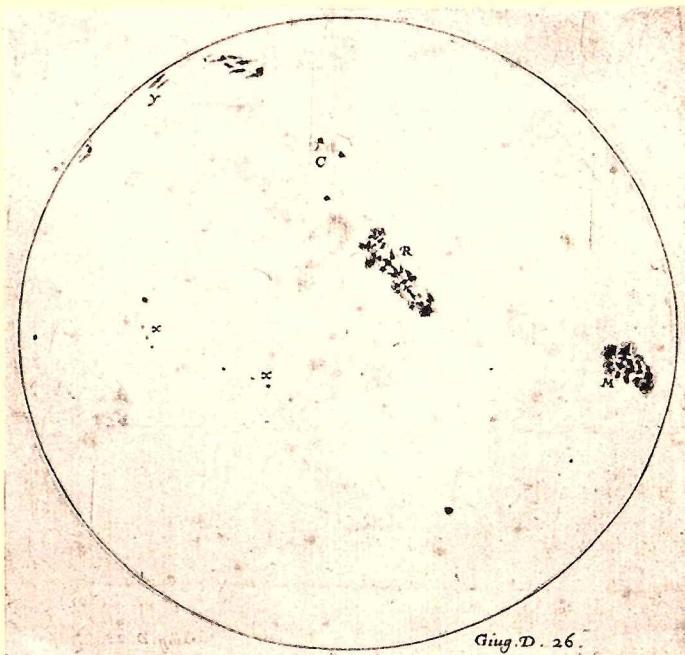
Sústava rádioteleskopov ALMA (Atacama Large Millimeter/submillimeter Array) v Čile dokáže pozorovať vo dne aj v noci vzdialený vesmír na vlnových dĺžkach 0,4 až 3 mm, môže však tiež priamo pozorovať Slnko. Zviditeľnený obraz časti povrchu Slnka sa zdá sice neostrý, no spolu s inými pozemskými pozorovaniami umožňuje lepšie študovať fyzikálne procesy v erupciách a rôznych magnetických štruktúrach našej najbližszej hviezdy.



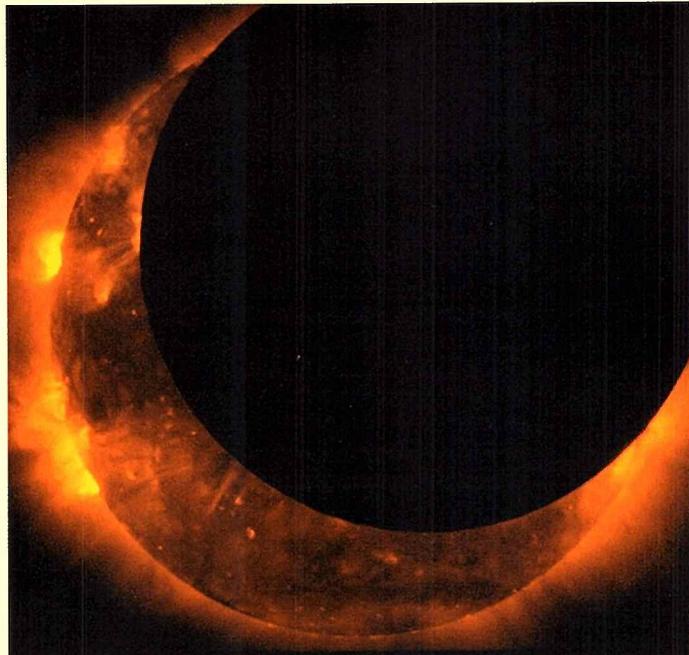
Chromosféru Slnka a obrovskú protuberanciu zaznamenali v roku 1973 astronauti na vesmírnej stanici NASA Skylab pomocou ďalekohľadu s filtrom s prieplustnosťou pre vlnovú dĺžku 30,4 nm v EUV (extrémne ultrafialovej) oblasti spektra.



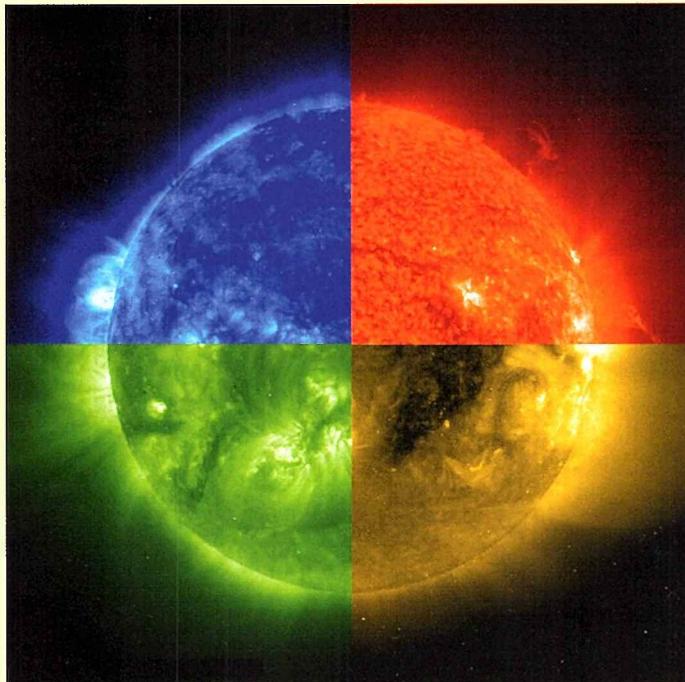
Pomocou Dunn Solar Telescope (Sacramento Peak, NSO, USA), objektív ktorého má priemer 76 cm, možno skúmať jemnú štruktúru penumby.



Ukážka kresby slnečných škvŕň Galilea Galilejho z roku 1613.



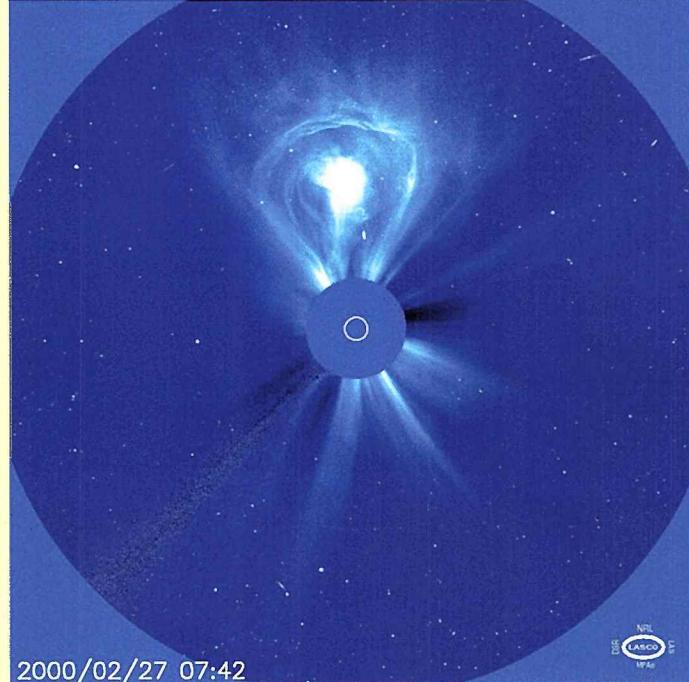
Zatmenie Slnka zaznamenané röntgenovým ďalekohľadom XRT na japonskej družici Hinode.



Zložený obrázok Slnka, ktorý odhaluje jeho rôzne podoby. Štyri EUV filtre prístroja EIT (Extreme ultraviolet Imaging Telescope) na palube družice SOHO prepúšťajú žiarenie z prechodovej vrstvy medzi chromosférą a korónou (vpravo hore: žiarenie emitované iónom He II na vlnovej dĺžke 30,4 nm z oblasti s teplotou 80 000 K) a z troch „vrstiev“ koróny Slnka s rôznou teplotou (vľavo hore: Fe IX – X, 17,1 nm, 1 MK; vpravo dole: 19,5 nm, 1,6 MK a Fe XV, 28,4 nm, 2 MK).

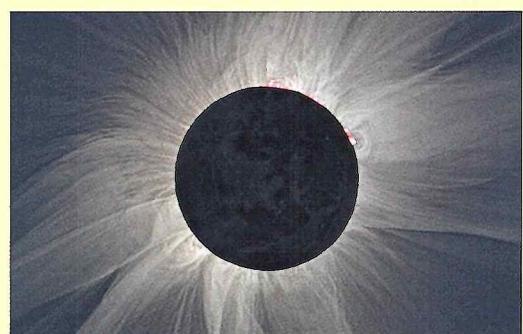


Obrovská pokojná protuberancia fotografovaná cez ďalekohľad s H α filtrom. V chromosféri možno na disku Slnka výrazne vidieť filamenty a flokule.

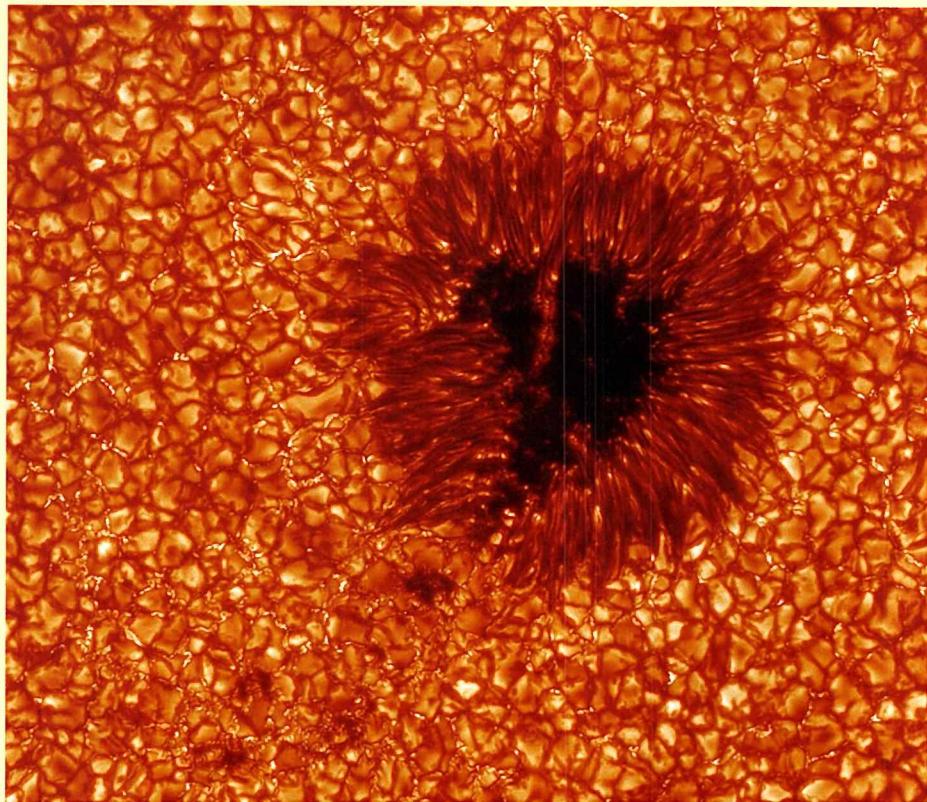


2000/02/27 07:42

Výtrysk koronálnej hmoty (Coronal Mass Ejection – CME) na snímke z koronografu LASCO (Large Angle and Spectrometric Coronagraph) na družici SOHO (Solar and Heliospheric Observatory). Biela kružnica v strede na clone koronografa označuje veľkosť disku Slnka.

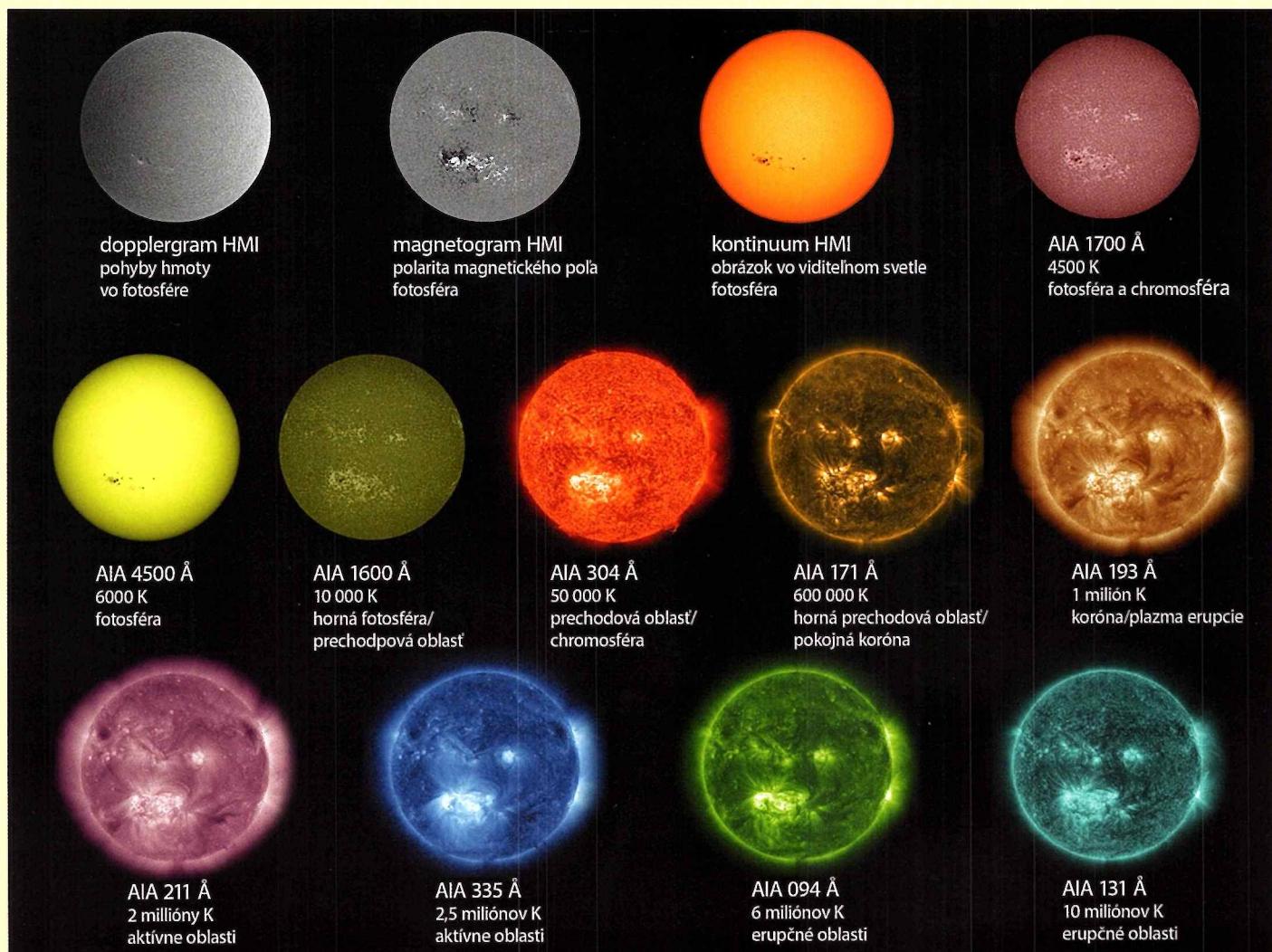


Biela koróna počas úplného zatmenia Slnka so softvérovo zvýraznenými koronálnymi štruktúrami.



Slnečná škvrna a jej okolie po hľadom Swedish Solar Telescope s priemerom objektívu 1 m na španielskom ostrove La Palma.

Na spodnom obrázku vidíme 13 rôznych typov snímok z dalekohľadov družice Solar Dynamics Observatory (SDO, NASA), ktoré pomáhajú vedeckom monitorovať aktuálny stav slnečnej aktivity. Prístroj HMI (Helioseismic and Magnetic Imager) poskytuje dopplergram disku Slnka, magnetogram a obráz fotosféry vo svetle kontinua viditeľnej oblasti spektra. Prístroj AIA (Atmospheric Imaging Assembly) pozoruje našu najbližšiu hviezdu cez 10 filtrov na rôznych vlnových dĺžkach. Každú z nich vybral vedecký tím SDO preto, aby vynikol špecifický aspekt jednotlivých vrstiev slnečného povrchu (resp. atmosféry). Prvé tri snímky sú z HMI a ďalších 10 je z AIA. Snímky AIA 1700 Å a AIA 4500 Å zobrazujú fotosféru Slnka a ďalšie snímky AIA umožňujú skúmať horúcejšie vrstvy atmosféry Slnka: chromosféru, prechodovú oblasť medzi chromosférou a korónou, a taktiež samotnú korónu, kde výrazne vidno magneticky aktívne oblasti na disku Slnka i na jeho limbe. V takýchto oblastiach sa pozorujú aj slnečné erupcie a magnetické slučky. Ióny prvkov, ktoré obsahujú koronálna plazma (napríklad vápnika a železa), vyžarujú vo vlnových dĺžkach, zodpovedajúcich jednotlivým hodnotám teploty plazmy uvedeným na obrázku.



Zdroje energie hviezd (5)

Spoločný výskum využitia jadrovej fúzie na mierové účely, ktorý je dielom vedcov mnohých krajín, prebieha predovšetkým na báze vzájomnej dôvery. Možno ho teda porovnať s úspešnou medzinárodnou spoluprácou v oblasti výskumu vesmíru. Využívajú sa pri ňom tak vedecké poznatky z fyziky plazmy, ako aj z astrofyziky: hmota celého viditeľného vesmíru sa nachádza prevažne v štvrtom skupenstve hmoty, v stave plazmy.

V súčasnosti sme svedkami snahy o druhé historické ovládnutie sily ohňa ľuďmi, tentoraz však ide o „ohň“ pochádzajúci zvnútra našej hviezd.

Prvé ovládnutie ohňa

Ako jediná živá bytosť sa človek už v kamennnej dobe naučil nebáť sa ohňa. Pred mnohými miliónmi rokov sa naučil udržiavať oheň, neskôr ho aj zapalovať. Technikou zakladania ohňa bola iskra vznikajúca udieraním dvoch kúskov kremene o seba alebo trením dvoch kúskov dreva. Predtým, ako si ľudia osvojili túto techniku, mohli prenášať oheň pomocou žeravých uhlíkov z tečúcej lávy alebo z ohňa, ktorý spôsobil úder blesku.

Pravekí ľudia sa podľa poznatkov archeológov naučili ovládať oheň, teda založiť ho a udržať, prípadne prestávať z jedného miesta na iné, už pred 790 000 rokmi. Toto prvé majstrovské ovládnutie ohňa v ľudskej histórii prinieslo obrovský pokrok. *Homo erectus* tak mohol prežiť svoj život bezpečnejšie a pripravovať si vylepšené a odolnejšie potraviny. Severnejšie oblasti Zeme mohli byť vďaka ovládnutiu ohňa, pomocou ktorého sa človek aj ohrieval, osídľované už počas doby ľadovej.

Druhé majstrovské ovládnutie ohňa

Súčasná doba, keď sa človek snaží ovládnuť

procesy prebiehajúce v slnečnej peci na Zemi, je zameraná najmä na dosiahnutie obrovského a zodpovedného cieľa: vyvinúť takmer nevyčerpateľný zdroj energie, ktorý bude potrebovať rastúcu svetová populácia s neustálne zvyšujúcimi sa energetickými nárokmi, a zastaviť tak ničenie klímy. Uznanie si zaslúžia vedci a technici zapojení do tohto zdĺhalového vývoja, pretože je evidentné, že z výsledkov ich práce budú mať osoh až nasledujúce generácie. Kedy presne ovládneme „slnečný oheň“ na Zemi? Ohlásené plány sme z technickej stránky rozobrali v predchádzajúcej časti seriálu, avšak implementácia fyzikálno-technických záležitostí má aj silnú politickú stránku. Ľudstvo by malo čo najskôr pochopiť, že musí rýchlejšie znižovať emisie klimaticky škodlivých plynov do zemskej atmosféry a urýchliť vývoj fúznych zariadení zvýšením výdakov na technologické zariadenia a personálne obsadenie.

Žial, rôzne rozpočtové, prípadne technologicke problémy jednotlivých partnerských krajín spôsobujú skôr opačný efekt – odsúvanie harmonogramu dokončenia ITER na neskoršie obdobie. Pôvodný plán pri štarte tohto veľkorysého projektu v roku 2006 počítal s rokom 2016 ako s termínom generovania prvej plazmy; neskôr bol tento miľník posunutý na rok 2019 a aktuálne je vykonanie prvých experimentov s plazmou odhadované približne až na rok 2025 (Pozn.: Podľa informácie z konca roku 2018 bol v tomto roku ITER vybudovaný iba na 60 %).

Dokončenie reaktora v roku 2025 však nebudé znamenať spustenie fúznej reakcie v tom istom roku. Niekolko rokov po dokončení sa musí reaktor ešte testovať pri udržiavaní rozličných foriem plazmy. Podľa dostupných informácií od odborníkov sa s fúzou reakciou počíta približne desať rokov po vytvorení prvej plazmy, teda podľa aktuálneho harmo-

nogramu asi až v roku 2035. (Pozn.: Toto naozaj nie je optimistický termín najmä vzhľadom na najnovšiu správu Medzivládneho panelu pre zmenu klímy IPCC, ktorý varuje pred rýchlejším postupom klimatickej zmeny najmä v oblasti topenia ľadovcov a zvyšovania hladiny oceánov ako sme predtým predpokladali; s tým, samozrejme, súvisia aj ďalšie negatívne dopady klimatickej zmeny na celú Zem).

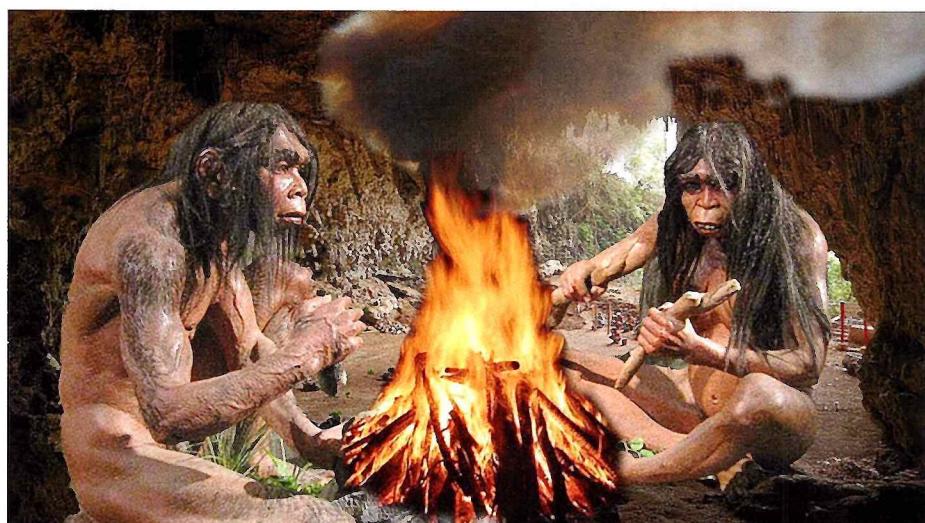
Hoci výroba energie z uhlia, ropy a plynu je stále ešte lacnejšia, škody v prírode spôsobené ľuďom sú už dostatočne viditeľné a obsah CO₂ v atmosfére nemilosrdne narastá; rovnako tak sa zvyšuje aj globálna teplota so všetkými škodlivými klimatickými vplyvmi. Budúce desaťročia, a nepochybne už aj roky, majú teda zásadný význam pre to, či sa svet naozaj vydá na cestu znižovania emisií skleníkových plynov a odhadlá sa na to uvoľniť dostatočné, najmä finančné prostriedky. Do konca storočia sa dopyt po energii strojnosobí pod spoločným tlakom rastu populácie, zvýšenej urbanizácie a rozšírenia prístupu k elektrickej energii v rozvojových krajinách. Na fosilné palivá, ktoré formovali civilizáciu 19. a 20. storočia, sa sice možno spoľahnúť, avšak pri súčasnom zvyšovaní koncentrácie skleníkových plynov vo vzduchu a raste znečistenia ovzdušia, ktoré ich spaľovanie sprevádzajú. Produkcia elektrickej energie z obnoviteľných zdrojov energie (v slnečných, veterných, či v hydroelektrárňach) je alternatívnym spôsobom šetriacim životné prostredie. Nevyrieseným problémom však zostáva, že elektrárne tohto typu sú schopné poskytnúť iba veľmi obmedzený vklad do energetickej spotreby ľudstva. V časoch špičkových nárokov na elektrickú energiu počas dňa je totiž stále nevyhnutné použiť vo veľkej miere najmä výkon jadrových štiepných elektrární, resp. teplných elektrární spálujúcich fosilné palivá.

Kľúčové výhody jadrovej fúzie ako energetického zdroja

Fúzna elektráreň by:

- mohla poskytnúť obrovský zdroj energie s využitím paliva, ktoré je dostupné po celom svete;
- iba zanedbatelné ovplyvňovala životné prostredie, lebo by nevytvárala emisie skleníkových plynov ako napr. CO₂;
- si nevyžadovala pri každodennej prevádzke prepravu rádioaktívnych materiálov;
- bola vo svojej podstate bezpečná, bez možnosti „roztavenia“ reaktora alebo nekontrolovatelných reakcií;
- neprodukovala dlhodobo rádioaktívny odpad, ktorý predstavuje environmentálnu záťaž pre budúce generácie.

Jadrová fúzia je teda taký proces výroby energie, ktorý by ľudstvu v budúcnosti zabezpečil obrovské množstvo čistej, bezpečnej a mimoriadne lacnej elektriny. Spotreba paliva v takto jadrovej elektrárni bude extrémne níz-



Prvé ovládnutie ohňa pračlovekom.

ka. Fúzna elektráreň s výkonom 1 GW bude potrebovať na prevádzku počas jedného roka asi 100 kg deutéria a 3 000 kg prírodného lítia, pričom vyrobí asi 7 miliárd kWh energie bez emisií skleníkových plynov alebo iných znečisťujúcich emisií. Stačí to iba porovnať s uholnou elektrárnou, ktorá na výrobu tej istej energie spotrebuje približne 1,5 miliardy kg paliva a vyprodukuje asi 4 – 5 miliárd kg CO₂.

Čo dodať na záver?

Jednu z odpovedí na otázku o presnejšom harmonograme vývoja trvale prevádzkovaného fúzneho reaktora kedysi predložil Lev Arcimovič, ktorý patril k hlavným tvorcom vte-

dajšieho sovietskeho tokamaku: „Fúzia bude k dispozícii vtedy, keď si ju spoločnosť bude vyžadovať. Možno ešte aj o niečo skôr.“ Arcimoviča však dnes možno doplniť aj menej optimistickým konštatovaním: že totiž jadrová fúzia ešte stále nemá takú medzinárodnú podporu, akú by si vzhľadom na svoj obrovský význam pre budúcnosť ľudstva zaslúžila, a svetoví lídri stále venujú viac pozornosti rozvoju a podpore iných, často, bohužiaľ, destruktívnych technológií.

RNDr. Ivan Dorotovič, CSc., SÚH Hurbanovo

Zdroje: Sterne und Weltraum a iné materiály
Obrázky: YouTube, NASA/SDO,
NASA/DSCOVR, Tokamak Energy



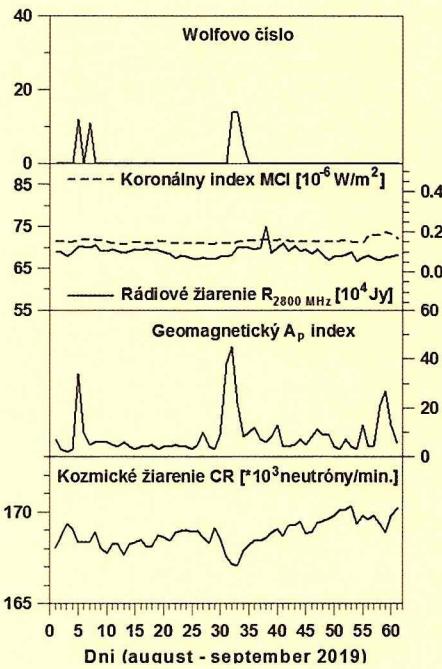
Schéma preniesenia jadrovej syntézy z vnútra hviezd na Zem.

ASTROOBCHOD.sk

Pohlédněte do hlubin vesmíru
vlastním dalekohledem!



ASTROOBCHOD.cz



august - september 2019

Slnečná aktivita

Úroveň slnečnej aktivity (SA) bola nadálej mimoriadne nízka. Wolfovo číslo slnečných škvŕní sa pohybovalo v rozmedzí iba 0 – 14. Za dva mesiace sme zaznamenali až 56 dní bez škvŕní na disku Slnka, zatiaľ, čo v rovnakom období 2018 bolo 37 takýchto dní. Tomuto trendu zodpovedala erupčná aktivita, keďže počas obidvoch mesiacov nebola zaregistrovaná erupcia ani na úrovni B. V geomagnetickej aktivite sme zaznamenali výraznejšie zvýšenie hodnoty planetárneho A_p indexu trikrát (5. augusta s hodnotou 34, 1. septembra s hodnotou 45 a 28. septembra s hodnotou 27). V celom období však bola hodnota tohto indexu počas 47 dní nižšia ako 10. Úroveň kozmického žiarenia sa v priebehu septembra nepatrne zvyšovala oproti predchádzajúcemu obdobiu.

Slnečná sonda Solar Orbiter (SolO), start ktorej plánuje ESA vo februári 2020, sa ako druhá po Parkerovej slnečnej sonda „dotkne“ Slnka. Prvé najväčšie priblženie SolO ku Slnku však nastane najskôr až v roku 2023. Bude totiž trvať vyše tri roky, kým sa dráha sondy postupne upraví vďaka gravitačnej pomoci Zeme a Venuše tak, že bude obiehať s períódou 150 dní po veľmi excentrickej dráhe s perihéliom vo vzdialnosti 0,28 AU a s aféliom vo vzdialnosti 0,9 AU. Sklon jej dráhy voči ekliptike sa bude postupne zvyšovať z 0° (budúci rok) na 25° (7 rokov po štarte). Stane sa prvou sondou, ktorá poskytne obrázky z polárnych oblastí Slnka. Po úspešných predletových testoch prístrojov sondu v októbri 2019 previezli z Európy na Mys Canaveral (Florida, USA) na predštartové prípravy.

Ivan Dorotovič



<https://sci.esa.int/web/solar-orbiter>

Aký osud očakáva Slnčnú sústavu?

Budúcnosť Slnčnej sústavy sa bude odvíjať od osudu našej hviezdy, Slnka. Hoci jeho záverečný stav po prejdení dlhej životnej púte je v podstate známy, cesty k nemu môžu byť mnohoraké a spektrum možností vývoja planetárnej sústavy veľmi pestré.

V článku, ktorý je skráteným komentovaným prekladom zo *Sky & Telescope* 10/2017, opisujeme hlavné možnosti vývoja Slnka a planetárnej sústavy (komentár kurzívou).

V časovej škále ľudskej civilizácie to vyzerá tak, že Slnčná sústava je stabilná. Avšak počas nasledujúcich 6,5 miliardy rokov, kým sa Slnko stane červeným obrom a následne bielym trpaslíkom, ju čakajú radikálne zmeny. Merkúr sa vyparí v slnečnom telesu a na povrchu Pluta vzniknú jazerá. Možnože v jazerách na vzdialených mesiacoch planét sa objaví život a dve alebo tri vnútorné planéty zaniknú. Platí to aj pre našu Zem. Zo všetkého života ostane iba populácia.

Iba čas nás oddeluje od takého konca. Naštastie je ho však dosť.

Naša hvieza

Budúcnosť Slnka je v podstate veľmi dobre známa. Astrofyzici môžu študovať Slnku podobné hviezdy v rôznych etapách ich vývoja od zapálenia termonuklearnych reakcií v ich vnútri, t. j. vzniku žiaracej hviezdy, až do štadiá červeného obra a ďalej. (Hmotnosť hviezdy predurčuje jej osud v konečných štadiách vývoja, teda či sa stane bielym trpaslíkom, ako to predpokladáme o Slnku, alebo skončí ako supernova, pokiaľ je jej hmotnosť oveľa vyššia).

Prognóza vývoja našej centrálnej hviezdy, Slnka, bola zatiaľ najpodrobnejšie publikovaná v článku L. J. Sackmannovej s kolegami v *Astrophysical Journal* (1993). Tento mnohokrát citovaný článok objasňuje časový priebeh vývoja Slnka od jeho zrodu, keď v jeho vnútri vzplanula termonuklearná premena vodíka na hélium. Podľa tejto štúdie má zatiaľ Slnko za sebou približne tretinu života. Jeho ďalší vývoj je schematicky znázornený na ilustráciach.

V nasledujúcich 6,5 miliardy rokov sa bude svietivosť Slnka postupne zvyšovať až na hod-

notu dvakrát vyššiu v porovnaní so súčasnosťou. To však bude iba začiatok jeho transformácie. Opustí tzv. hlavnú postupnosť a presunie sa medzi červených obrov. Jeho svietivosť a rozmer nesmierne vzrastú počas 600 miliónov rokov; svietivosť stúpne 2300-krát a rozmer 170-krát. Hlavnú zmenu predpovedajú scenáre počas druhej fázy premeny, ktorá potrvá cca 20 miliónov rokov, keď sa z neho stane AGB (asymptotic giant branch) objekt, čiže obor ležiaci na asymptotickej vetve Hertzsprungovo-Russellovho diagramu. Jeho svietivosť vtedy stúpne až na 5200-násobok a priemer na 200-násobok súčasných hodnôt.

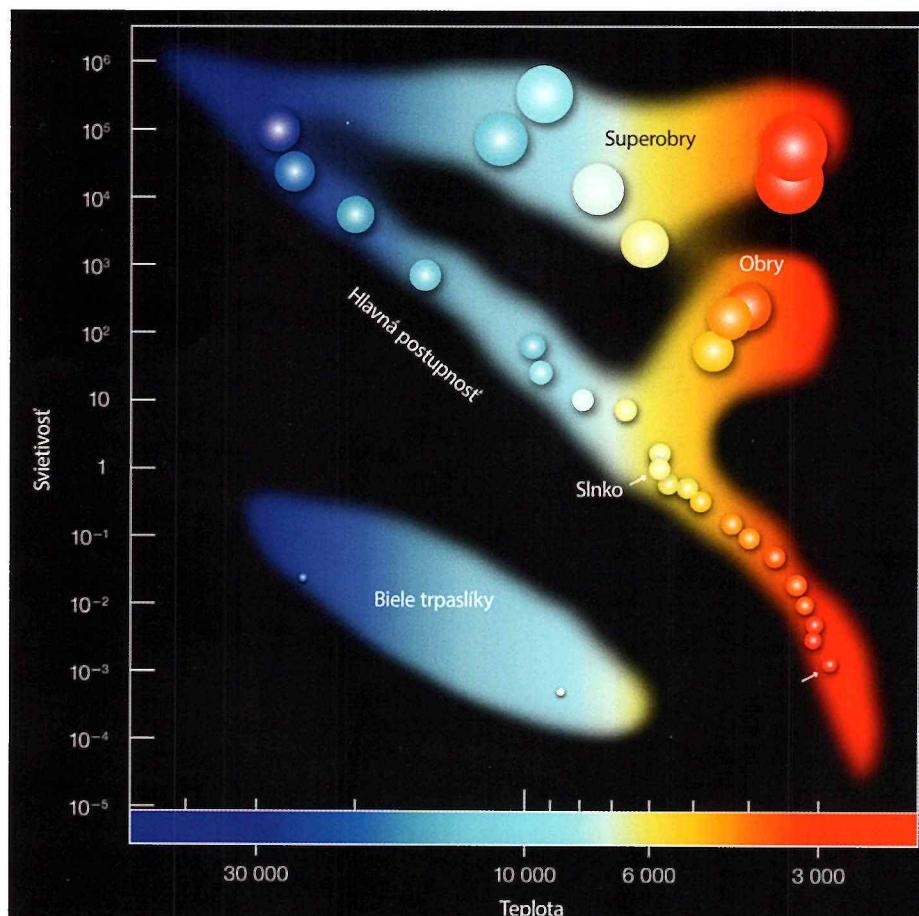
Hoci sa Slnko počas svojej „červenoobrej“ fázy nesmierne zväčší, paradoxne stratí väčšinu hmoty slnečným vetrom. V závere AGB fázy (na obrázku fáza 2) je celkom možné, že unikajúca hmota vytvorí expandujúci prstenec planetárnej hmloviny. Zvyšok hviezdy, ktorý využil všetky možnosti termonuklearnej premeny hmoty, predeje do fázy bieleho trpaslíka. V tejto fáze, 12,5 miliardy rokov od prvého vznietenia jadrovej fúzie, bude mať Slnko približne polovicu súčasnej hmoty a veľkosť porovnatelnú so Zemou. Jeho jas stúpne 35-krát a povrchová teplota dosiahne 120 000 K. Zvyškové teleso bude extrémne kompaktné. Zvyškovému teplu z jadrovej fúzie bude trvať miliardu rokov, kým prenikne k povrchu. Prípadne za 100 miliárd rokov dosiahne taký stupeň ochladenia, že sa Slnko stane čiernym trpaslíkom, natol'ko studeným, že nebude vyžarovať v optickej oblasti spektra a Slnčná sústava ostane bez svetla.

Pri konštruovaní scenára budúcnosti Slnka však ostáva veľa neurčitostí. Podstatnou neurčitosťou je napríklad odhad straty hmoty. Od tohto parametra závisí, ako ďaleko sa Slnko vzdialí od hlavnej postupnosti v priestore aj v čase. Pre spresnenie je potrebné zhromaždiť viac dát o priebehu tohto procesu na Slnku podobných hviezdach. Jeho rýchlosť závisí od hmotnosti hviezdy, jej veku, metalicity (pomernej hmotnosti všetkých prvkov hviezdy ľahších ako vodík a hélium) a zrejme aj od momentu hybnosti.

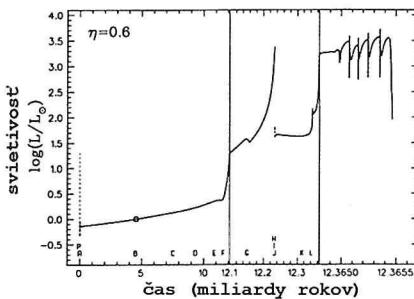
F. Adams z University of Michigan: „Máme 3 alebo 4 premenné, a prieskum funkcie s tolkými premennými vyžaduje enormné množstvo dát. Ešte to chvíľku potrvá“.

Nejasný je aj vplyv konvekcie, nevieme ako vlastne cirkuluje teplo vo vonkajších vrstvách slnečnej atmosféry. Je potrebné správne naimodelovať trojrozmernú turbulentnú konvekciu vo vonkajších vrstvách slnečnej atmosféry, aby sme mohli vytvoriť presvedčivý model hviezdnnej evolúcie. Zatiaľ to však nevieme.

R. Smith z University of Sussex, Veľká Británia: „Ani fyzici, zaoberajúci sa dynamikou spojitéh prostredí, nie sú schopní úplne opísat konvekciu v laboratórnych podmienkach. Pritom je to potrebné na vytvorenie dobrého modelu konvekcie vo hviezdach. Doteraz to nik neurobil.“



Na určenie súčasných vlastností hviezdy a na prognózu jej ďalšieho vývoja slúži Hertzsprung-Russellov diagram. Polohu hviezdy v tomto diagrame určuje jej teplota a svietivosť. Vývoj sa odvíja od zásoby energetických zdrojov. Zdrojom energie hviezd na hlavnej postupnosti je jadrová premena vodíka na hélium. Po vyčerpaní zásob neutrálneho vodíka dochádza k premeni ľahších prvkov a k zmene vnútornej stavby hviezdy. Obyčajne dochádza aj k jej „odchodu“ z hlavnej postupnosti.



Výsledky simulácie vývoja Slnka podľa citovanej práce. Plný čierny krúžok označuje súčasnú polohu Slnka. Časová os je rozdelená na tri časti. Zatialčo fáza 1 trvá okolo 12 miliárd rokov, druhá fáza „iba“ cca 300 miliónov rokov a fáza 3 dokonca len 5 miliónov rokov. Priemer Slnka rastie úmerne so svietivosťou: pri tisícinnásobnom zvýšení svietivosťi sa priemer zväčší stonásobne.

Merkúr, Venuša, Mars

Osud vnútorných planét závisí jednako od množstva hmoty, ktorá opustí Slnko, a ďalej od rýchlosťi tohto procesu. Pri poklese celkovej hmotnosti našej hviezdy sa zmenší jej príťažlivosť a planéty sa budú od nej vzdalovať do novej rovnovážnej polohy.

Merkúr sa nemôže vzdialiať dostatočne rýchlo, takže ho Slnko pohltí. Keď sa povrch našej hviezdy rozšíri za dráhu Merkúra, táto planéta s vysokým obsahom železa definitívne zanikne. Po niekoľkých obechoch v najvrchnejších vrstvach Slnka sa rozpadne následkom brzdenia v plyne. Keď sa začne pohybovať v slnečnej atmosfére, žiarene ho v podstate roztopí.

Venušu, nasledujúcu planétu, ktorá sa ocitne pod slnečným povrchom, očakáva rovnaký osud. Následkom brzdenia sa bude ponárať hlbšie a hlbšie, až sa roztopí. Podobne ako Merkúr, Venuša dosiahne svoju virálnu teplotu. To je zlomový bod, pri ktorom energia pohybu vlastných molekúl telesa je vyššia ako energia gravitačnej väzby a teleso sa rozplynie. Pre Zem je takým bodom teplota 300 000 K, ako určili K. Rybicki a C. Denis. Pri takej teplote sa všetky molekuly pohybujú rýchlejšie ako 11 km/s, čo je pre Zem úniková rýchlosť a teleso prestane byť planétou a stane sa zhlukom častic.

A čo bude s Marsom? Podľa väčšiny modelov by mohol zo zajatia Slnka uniknúť. Avšak po cca 6 miliardách rokov bude dostávať toľko tepla ako dostáva teraz Zem, a červená planéta zostane ďalej bez života. Už teraz je veľmi vysušená, nemá magnetické pole a jeho gra-

vitácia nie je dostatočná na udržanie teplej atmosféry; o 6 miliárd rokov bude jeho vnútorná geológia ešte menej aktívna ako v súčasnosti. „V súčasnosti je Mars mrívou planétoou – a potom bude mrívty ešte viac,“ tvrdí G. Laughlin z Yale University.

Modrá planéta

Osud Zeme je sporný. Nik nevie, či sa zachová, alebo nie. Môže byť zničená pôsobením slnečnej atmosféry počas AGB fázy, a môže toto stretnutie aj prežiť. Závisí to od množstva straty slnečnej hmoty v týchto neskorých fázach.

Naša planéta však v každom prípade bude v tom čase prehriata. Adams hovorí, že nás výber v rozhodujúcej fáze bude biedny: buď bude Zem pohltená Slnkom, alebo ju „iba“ spálí na uhol. V nasledujúcej miliarde rokov vzrástie svietivosť Slnka asi o 10 %. Hoci takáto zmena je nepatrňá v porovnaní s tým, čo nastane počas fázy červeného obra, stačí to na zničenie pozemského života.

Zvýšené množstvo energie zo Slnka roztopí ľad na pôloch a oceány sa začnú vyparovať. Vodná para je veľmi účinným plynom zosilňujúcim skleníkový efekt, a na horúcej a vlhkéj planéte nastane fáza vlhkého skleníkového efektu. Po ďalšej miliarde rokov bude zemský povrch natoľko vyprahnutý, že to neprežijú ani teplomilné baktérie. Asi po troch miliárdach rokov odteraz nastúpi fáza suchého skleníkového efektu. Zem sa začne podobať na Venušu s povrchovou teplotou cca 400 °C.

Plynné obry

Spolu so slnečným vývojom budú strácať hmotnosť aj veľké planéty – Jupiter, Saturn, Urán a Neptún. Poruchový efekt ich dráh však bude nepatrny, tvrdí J. Lissauer (NASA Ames Research Center). Spolu s M. Duncanom (Queen's University, Ontario, Kanada) detailne analyzovali zmeny dráh týchto planét a zistili, že ostatnú najmenej počas nasledujúcich 10 miliárd rokov takmer stabilné.

Toto tvrdenie je sporné. Ako uvádzajú J. Horák so spoluautormi v knihe „Deterministický chaos a podivná kinetika“, zmeny dráh týchto planét môžu byť podstatne väčšie.

Astronómov však viac zaujíma, čo sa stane s niektorými z ich mesiacov. Keď Slnko vo svojom vývoji dospeje do štátia červeného obra, jeho priemer sa zväčší a zároveň sa obývateľná zóna, definovaná ako priestor, v ktorom sú podmienky na existenciu vody v kvapalnom stave, presunie smerom von da-

lej od Slnka. Súčasný ľad na Európe a Titane by sa mohol roztopiť a ostáva otázka, či sa tie-to podmienky udržia dostatočne dlho, aby to stačilo na vznik života, pokiaľ tam už nie je.

Tieto vzdialené mesiace sa určite ohrejú dostatočne na to, aby sa ľad na nich aspoň čiastočne roztopil. Podľa R. Lorenza s kolegami z University of Arizona sa približne o 6 miliárd rokov v časovom intervale niekoľko stoviek miliónov rokov na povrchu Titanu vytvoria vodno-amoniakové moria a v nich vzniknú mnohé organické zlúčeniny. Hoci takéto prostredie by bolo toxicke pre pozemské organizmy, je možné, že by bolo neškodné pre organické zlúčeniny v prebiotickej fáze. Takéto podmienky by mohli trvať na Titane okolo 500 miliónov rokov, čo je dostatočná doba na vývoj života podľa pozemského scenára. Avšak medzi konštatovaním, že sa život môže vyvinúť a tým, že sa skutočne vyvinie, je veľký rozdiel. Máme zatiaľ iba jedený príklad vývoja organizmov a vôbec nepoznáme priebeh ich vzniku.

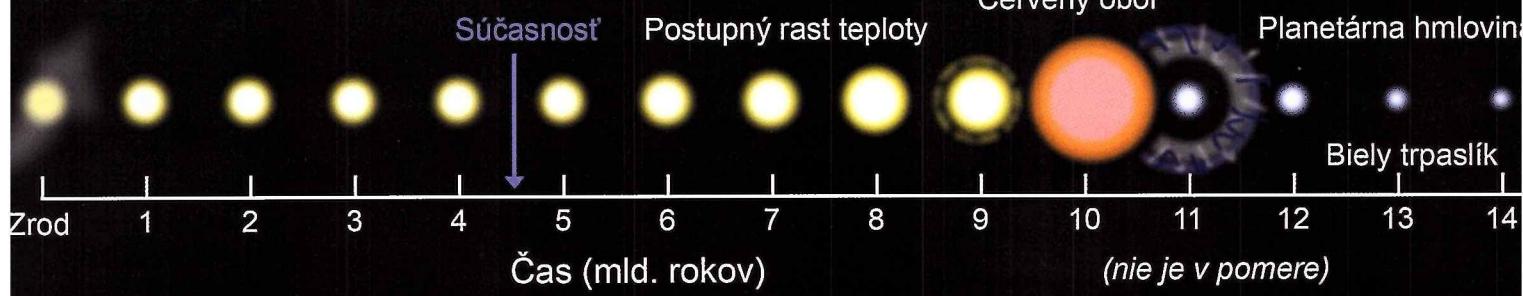
G. Laughlin (Yale) pochybuje, že sa takýto scenár môže uskutočniť, ale predsa si myslí, že Titan má najväčšiu pravdepodobnosť stať sa na krátku dobu náhradníkom Zeme – super-zemou, lebo sa u neho predpokladá podobné chemické zloženie. Tvrď však, že život sa tam môže vyvíjať iným spôsobom ako na Zemi: „Myslím, že sa musíme zbaviť konzervativizmu a nechať našu myseľ otvorenú pre hocaký, aj bláznivo vyzerajúci scenár vzniku života.“

Pluto a objekty Kuiperovho pásu

Posun obývateľnej zóny sa samozrejme pri Saturne nezastaví. Počas najhorúcejšej etapy prechodu Slnka medzi obrov môže táto zóna siaháť až do Kuiperovho pásu, teda viac ako 50 AU od Slnka. Najväčší mesiac Neptúna, Triton, Pluto s Cháronom a iné veľké objekty Kuiperovho pásu majú bohaté zásoby vody a organických zlúčenín a teda sú vhodným prostredím pre biochemickú, ak aj nie priamo pre biologickú evolúciu.

Časové okno pre komplexný vývoj života bude mať približnú veľkosť od 100 000 až po 100 miliónov rokov. Je to oveľa menej ako trval vývoj života na Zemi (okolo 3 miliardy rokov). Avšak pri ohromnej vzdialosti od Slnka sú tieto telesá v bezpečí pred náhlým vyparením sa pri epizódach s intenzívnejším žiareniom a vyhnú sa aj kolíziam s bludnými asteroidmi. Takže existuje reálna šanca na vznik života. Odhaduje sa, že v našej Galaxii existuje jedna

Vývojový cyklus Slnka



miliarda červených obrov. Analogicky zmrzené organické zlúčeniny vo vzdialosti 20 – 50 AU od centrálnych telies zodpovedajú posunutým obyvateľným zónam, a tu sa otvára možnosť pre usídlenie vesmírom putujúcich inteligentných civilizácií.

Iné scenáre

Je tiež možné, že Zem stredne iný osud ako spásenie a rozptyl na atómy. Simulácie J. Laskera M. Gastinea (Paris Observatory) ukazujú, že vnútorné planéty môžu vzájomne kolidovať, alebo môžu aj opustiť Slniečnú sústavu dlho predtým, než sa Slnko stane červeným obrom.

Lasker a Gastineau urobili 2501 rôznych simulácií, ktoré by viedli k zmenám planetárnych dráh počas nasledujúcich piatich miliárd rokov. Pri väčšine výpočtov dostali iba malé zmeny dráh, ktoré sú konzistentné s vývojom Slniečnej sústavy za predchádzajúcich vyše 4,5 miliardy rokov. Avšak v 1 % prípadov sa ukázalo, že podstatne vzrástla excentricita dráhy Merkúra, čo spôsobilo zmeny v ďalších 200 simuláciách. V 29 prípadoch nastala kolízia Marsu so Zemou a v 18 iných sa zrazila so Zemou Venuša.

Pri týchto simuláciach zistil Lasker dve prekvapujúce skutočnosti. Prvou je fakt, že pravdepodobnosť katastrofických prípadov je relatívne vysoká a nie je to iba matematická kuriozita. Druhou je zistenie, že ak pri simuláciách používali iba newtonovskú mechaniku, bola pravdepodobnosť kolízií počas 5 miliárd rokov o 60 % vyššia, ako keď použili mechaniku obecnej teórie relativity.

Laughlin: „Je zvláštne, že použitie inej mechaniky zvyšuje možnosť prežitia Zeme počas dlhého obdobia jej existencie.“

Je tiež možné, že Zem bude vypudená, či unesená zo Slniečnej sústavy hviezdom prechádzajúcou v jej blízkosti. Podľa Laughlina a Adamsa je pravdepodobnosť vypudenia 1:400 000 a pravdepodobnosť „únosu“ blízko prechádzajúcou hviezdom 1:2 000 000.

Slniečná sústava bola dlho stabilná a takou môže aj zostať. Narušenie jej stability však môže mať ďalekosiahle následky: Slniečná sústava by sa stala dynamickou sústavou s nepredvídateľným správaním. Medzi vedcami panuje názor, že vývoj Slniečnej sústavy môže mať miliardu možností.

*Spracoval Milan Rybanský
podľa Sky and Telescope 10/2017*

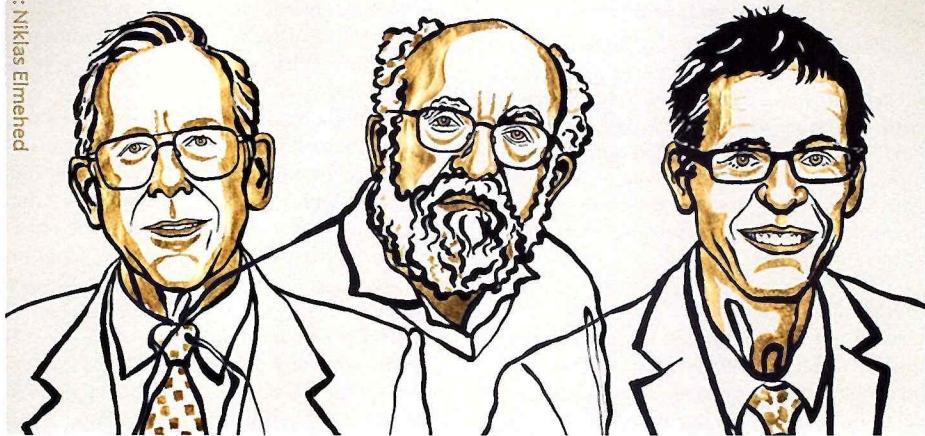


Planetárna hmlovina NGC 7293 Helix (NASA, ESA).

Nobelovu cenu za

Illustrations: Niklas Elmehed

THE NOBEL PRIZE IN PHYSICS 2019



Tohtoročnú Nobelovu cenu za fyziku získali kanadsko-americký fyzik James Peebles a dvojica švajčiarskych vedcov Michel Mayor a Didier Queloz. J. Peebles sa venuje kozmológii, teda vede o štruktúre a evolúции vesmíru, švajčiarski vedci boli ocenení za objav prvej exoplanéty, ktorá obieha okolo hviezdy podobnej nášmu Slnku.

Tradícia udeľovania Nobelových cien existuje už 118 rokov, prvýkrát sa tak stalo v roku 1901. Ceremoniál vyhlasovania sa koná vždy v Štokholme na začiatku októbra, samotné odovzdávanie sa uskutoční počas slávnostného večera v polovici decembra. Okrem zlatých pamätných medailí a diplomov laureáti získajú tiež odmenu vo výške 9 000 000 švédskych korún, čo je asi 830 000 euro.

Rovnako ako niekoľkokrát v minulosti, aj v roku 2019 sa Nobelova cena za fyziku delí na prvý pohľad zvláštnym spôsobom: na polovicu medzi troch vedcov. Jednu polovicu si odnáša teoretický fyzik James Peebles (Princeton University), druhú dvaja švajčiarski astrofyzici Michel Mayor (University of Geneva) a Didier Queloz (University of Geneva, University of Cambridge), ktorí naše teoretické poznatky o vesmíre dokázali zužitkováť pri objave prvej exoplanéty, obiehajúcej okolo Slnku podobnej hviezdy.

Vieme, kolko ešte nevieme

Posledné desaťročie možno označiť ako zlatý vek kozmológie. James Peebles, nositeľ polovice Nobelovej ceny za fyziku pre tento rok, sa zásadným spôsobom zaslúžil o významný pokrok v poznávaní vesmíru. Výrazne prispel k rozvoju teórie Veľkého tresku. Stále nemáme presnú predstavu, prečo a ako k nemu došlo, ale mnoho odborníkov, vrátane J. Peeblese, dokázalo predložiť veľa presných modelov vývoja vesmíru.

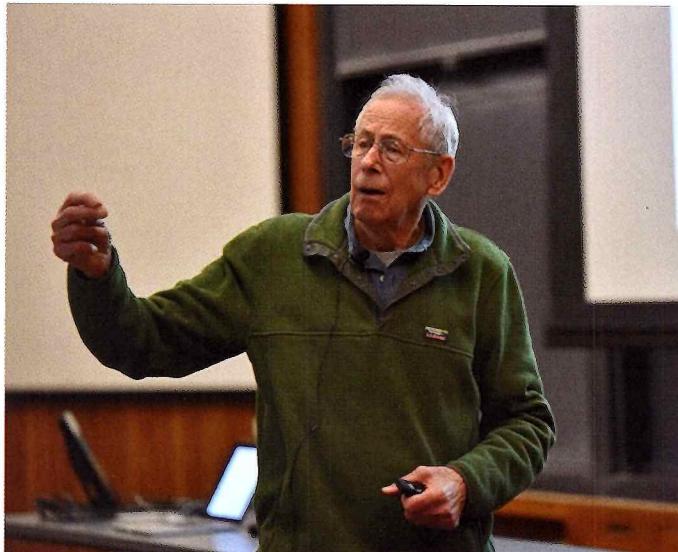
Veda však dlho nemohla aspoň čiastočne

nahliadnuť do čias tesne po Veľkom tresku. Zásadnú zmenu priniesol až rok 1964. Vtedy dvojica amerických fyzikov (a „nobelistov“ z roku 1978) Arno Penzias a Robert Wilson dokázala zachytiť žiarenie, ktoré vo vesmíre zostalo z doby tesne po Veľkom tresku, označované ako reliktové žiarenie alebo mikrovlnné žiarenie kozmického pozadia.

Toto žiarenie, ktoré vyplňa celý vesmír (tvorí akýsi „šum v pozadí“), vzniklo zároveň s Veľkým treskom. V tom čase však bolo premiešané s hmotou do nepríehľadnej „polievky“ fotónov a elementárnych častíc. Až keď vesmír v dôsledku svojho rozpínania vychladol natol'ko, že začali vznikať neutrálne atómy ľahkých prvkov, reliktové žiarenie sa oddelilo od hmoty. Odvtedy vlnová dĺžka reliktového žiarenia v dôsledku rozpínania vesmíru neustále narastá. V súčasnosti toto žiarenie detegujeme v mikrovlnnej oblasti spektra.

Aj keď k oddeleniu hmoty a žiarenia došlo, keď mal vesmír asi 380 tisíc rokov, reliktové žiarenie nesie v sebe informácie aj o skoršom vývoji vesmíru a je dnes neuveriteľne cenným zdrojom informácií pre kozmológiu. J. Peebles bol jedným z teoretikov, vďaka ktorým A. Penzias a R. Wilson dokázali presne pochopiť, čo a prečo zachytili (keď vylúčili, že ide o následok prítomnosti holubieho trusu v anténe). Objav to bol veľkolepý. Ďalšie generácie prístrojov umožnili v reliktovom žiareni nájsť „zárodky“ prvých zhlukov hmoty, teda hviezd, galaxií a viditeľného vesmíru vôbec. A presvedčivo ukázali, že naša vesmírna „inventúra“ sa naozaj nezaobíde bez prítomnosti niečoho neznámeho. Ukázalo sa, že viditeľná hmota predstavuje iba niekoľko málo percent z celkového množstva hmoty vo vesmíre. James Peebles bol celý čas pri tom. Jeho hypotézy o tom, čo sa skladá tmavá hmota, teda jedna z veľkých a pre nás pritom neviditeľných častí vesmíru, sa sice nepotvrdili, ale stimulovali ďalší vývoj v odbore. Podľa Nobe-

fyziku 2019 získali astrofyzici



James Peebles, jeden z nositeľov Nobelovej ceny za fyziku za rok 2019, počas prednášky na univerzite v Princeton v apríli 2018.

lovej komisie jeho najsvetlejšia a zároveň najtemnejšia chvíľa prišla v 80. rokoch.

Oživil Einsteinovu konštantu

Spolu s ďalšími teoretikmi prispel k oživeniu Einsteinovej myšlienky kozmologickej konštanty. Tú Einstein zaviedol do svojich rovníc, aby vysvetlil, prečo sa vesmír správa inak, než by sa mal na základe všeobecnej teórie relativity. Na pohľad je totiž príliš „riedky“, teda obsahuje menej hmoty a mal by mať iný tvar, ako naznačujú pozorovania.

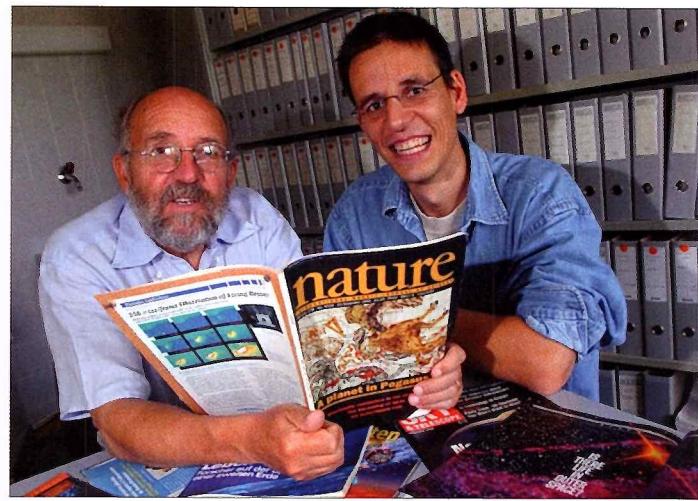
Einstina však nevysvetliteľná kozmologická konštantu rozčulovala, nikdy sa s ňou nezmieril a snažil sa jej usilovne zbaťi. Avšak nedávne merania rýchlosťi rozpínania vesmíru čím ďalej presvedčivejšie ukazujú, že bez ďalšej ingredencie vesmíru to zrejme nepôjde. V roku 1984 potom J. Peebles spolu s ďalšími teoretikmi prispel k definitívному oživeniu Einsteinovej myšlienky pod novým označením: tmavá energia. Tá je odvtedy pevnou súčasťou vedeckých úvah o vesmíre.

V roku 1998 astronómovia ukázali, že rozpínanie vesmíru sa zrýchľuje a zdá sa, že najlepším vysvetlením je práve tmavá energia, ktorá pôsobí proti gravitácii bežnej aj tmavej hmoty. Preto sa dnes predpokladá, že práve tmavá energia tvorí zhruba 70 percent celkového zloženia vesmíru.

J. Peebles ani nikto iný dnes nemá presnú predstavu o tom, čo by tmavú energiu mohlo tvoriť. Tento objav čaká na iného „nobelistu“. Kanadsko-americký fyzik dostal ocenenie za to, že pomohol vedu vyviesť z takmer úplnej kozmologickej temnoty k úsvitu novej éry výskumu vesmíru.

Pohľad k inému Slnku

Michel Mayor a Didier Queloz skúmali vesmír z iného pohľadu ako James Peebles. Nobelova komisia im polovicu ceny udelila



Na snímke z augusta 2005 sú dva nositelia Nobelovej ceny za fyziku za rok 2019. Vľavo Michel Mayor, vpravo Didier Queloz. V ruke držia vydanie časopisu Nature z roku 1995 s ich článkom o objave planéty obiehajúcej okolo hviezdy 51 Pegasi, za ktorú cenu získali.

za objav planéty 51 Pegasi b, ktorá obieha okolo hviezdy (51 Pegasi) približne 50 svetelných rokov od Zeme.

Samotná planéta je pre ľudí absolútne neobývateľná, pretože ide o plynného obra rozmermi porovnatelného s Jupiterom, ktorý sa však pohybuje v tesnej blízkosti svojej materskej hviezdy. Teplota na povrchu je okolo tisícky stupňov Celzia. Na objave oznámenom v októbri 1995 bolo zaujímavé predovšetkým to, že išlo o prvú „cudziu planétu“ (exoplanétu), obiehajúcu okolo hviezdy podobného typu ako je naše Slnko.

Z vedeckého hľadiska bolo ešte dôležitejšie, ako švajčiarski vedci svoj objav urobili. Pravda, neprišli s úplne originálnym nápadom, ved' astronómovia túto metódu používajú na výskum dvojhviezdných sústav už mnoho desiatok rokov. Metódou však výrazne vylepšili, aby sa dala použiť aj na sústavy, v ktorých okolo hviezdy neobieha iná hviezda, ale oveľa menej hmotná planéta.

Čarovanie so spektrom

Metóda je založená na meraní radiálnej zložky rýchlosťi hviezdy pomocou zmien vlnovej dĺžky spektrálnych čiar spôsobených Dopplerovým javom. Ako sa hvieza pohybuje okolo spoločného tažiska s planétou, spektrálne čiary v jej spektri sa posúvajú do červenej (ked' sa hvieza od nás vzdialuje) alebo modrej oblasti spektra (ked' sa hvieza približuje). Ak sú k dispozícii veľmi presné pozorovania, môžeme tieto pravidelné zmeny nielen detektovať, ale pomocou zaznamenaných zmien aj určiť, aká planéta by sa okolo hviezdy mohla pohybovať.

Amplitúda zmien radiálnej rýchlosťi hviezdy však býva veľmi malá. Pre predstavu, Slnko sa kvôli Jupiteru pohybuje okolo tažiska Slnčnej sústavy rýchlosťou cca 12 m/s (teda niečo cez 43 km/h), čo je pri rozmeroch Slnka nepatrný

pohyb. Zem „rozhýbe“ Slnko iba rýchlosťou približne 0,09 m/s.

Michel Mayor zostavil spektrograf na presné meranie radiálnych rýchlosťí už v 70. rokoch 20. storočia, ten však nedosahoval takú presnosť, aby sa s ním dali pozorovať zmeny rýchlosťí hviezd spôsobených ich planétami. Radiálne rýchlosťi hviezd tento prístroj meral s chybou okolo 300 m/s. M. Mayor sa však myšlienky nevzdaľ a v 90. rokoch poveril svojho vtedajšieho doktoranda D. Quelozu, aby presnosť merania zvýšil. To sa s použitím množstva vylepšení podarilo. Od roku 1994 mala švajčiarska skupina na Haute-Provence Observatory v južnom Francúzsku k dispozícii prístroj, ktorý, aspoň teoreticky, dokázal odhadliť aj planéty veľkosti Jupitera obiehajúce okolo Slnku podobných hviezd. Tento spektrograf dokázal merať s chybou zhruba 10-15 m/s.

Výskumu exoplanét sa venujú astronómovia aj na Katedre teoretickej fyziky a astrofyziky, Prírodovedeckej fakulty Univerzity P. J. Šafárika v Košiciach. Napríklad doktorand Pavol Gajdoš vo svojej dizertačnej práci skúma stabilitu orbitálnych dráh exoplanetárnych systémov s viacerými zložkami.

Objav planéty 51 Pegasi b možno považovať, minimálne symbolicky, za začiatok novej éry v astronómii, nazvime ju Érou planét. Ved dnes už poznáme viac ako 4 000 exoplanét a niet pochyb o tom, že ich počet bude nadalej rásť. Odborníci tiež optimisticky odhadujú, že nadalej porastie citlivosť pozorovacích metód, a to nielen merania radiálnych rýchlosťí, ale výhľadovo aj priameho pozorovania exoplanét. V priebehu niekoľkých desiatok rokov by sme sa azda mohli dozvedieť, kolko je v našom okolí planét vhodných pre vznik života. A možno aj niečo oveľa, oveľa zaujímavejšie.

doc. RNDr. Rudolf Gális, PhD.
Univerzita P. J. Šafárika v Košiciach

Dvanásť najvyšších vrchov

Vďaka letom medziplanetárnych sond dnes už poznáme povrhy mnohých telies v našej Slniečnej sústave. Predložený článok je pokusom o galériu 12 najvyšších vrchov, pričom do zoznamu sme zaradili vždy len najvyšší vrch na každom telesu. Ak by sme neuplatnili toto kritérium, polovicu nášho zoznamu by vyplnili vrchy na Marse.

Niekoho možno prekvapí, že v zozname nie je pozemský Everest. Dôvodom je, že neuvádzame nadmorskú výšku, ale výšku reprezentujúcu rozdiel medzi úrovňou vrcholov a ich základní. Takto spôsob určenia výšky sme zvolili preto, lebo na žiadnom telesu okrem Zeme nie je kvapalný oceán. Pri uplatnení tohto kritéria má Mt. Everest len 3,6 – 4,6 km podľa toho, ktorú náhornú plošinu v blízkosti vrchu považujeme za základňu. Kedže určenie základne je na všetkých telesach subjektívne, uvedené výšky a poradie treba považovať za orientačné.

1. Olympus Mons, Mars

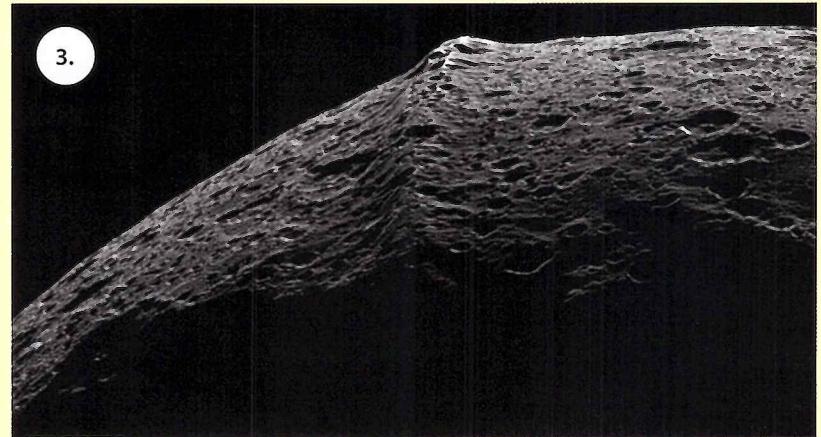
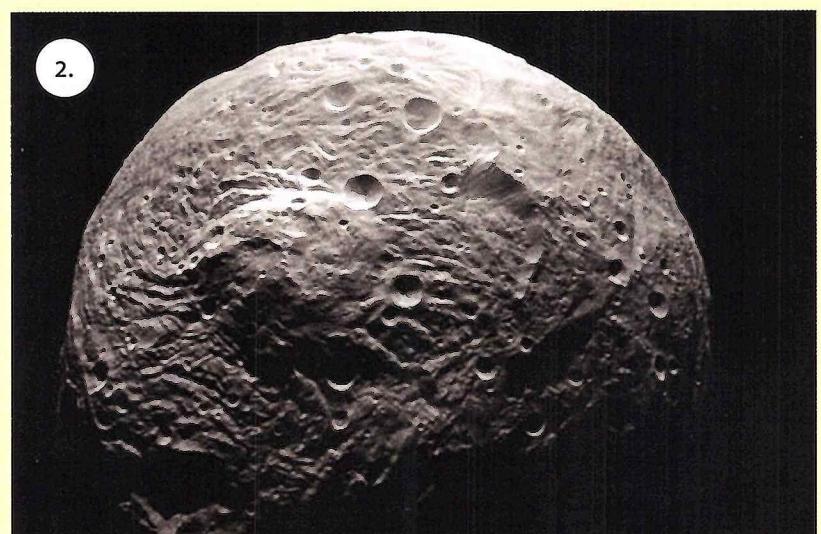
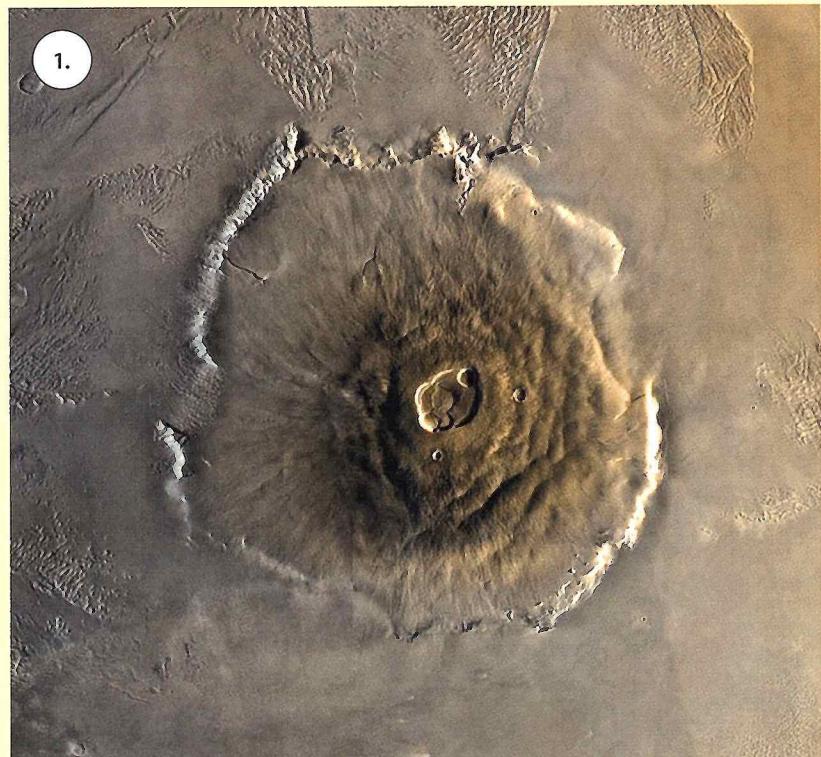
Olympus Mons je obrovská štítová sopka na planéte Mars. S výškou takmer 22 km bola viac ako 40 rokov považovaná za najvyšší vrch v Slniečnej sústave. Dnes sa o prvenstvo delí s centrálnym vrcholom Rheasilvia na asteroide Vesta. Keby sme za základňu Olympus Mons považovali 1000 km vzdialenosť severné planiny, jej relatívna výška by bola 26 km. Olympus Mons je najmladšia z veľkých sopiek na Marse, objavená bola už koncom 19. storočia. V blízkosti sa nachádzajú 3 sopky známe ako Tharsis Montes, ktoré sú 10 až 100-krát väčšie ako najväčšie sopky na Zemi.

2. Rheasilvia centrálny vrchol, Vesta

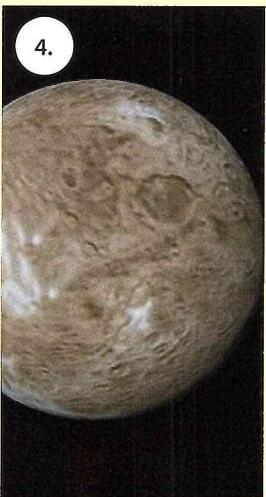
V roku 2011 sa zistilo, že stredný vrchol kráteru Rheasilvia na asteroide Vesta má porovnatelnú výšku s Olympus Mons, dovtedy najvyšším vrchom Slniečnej sústavy. Pre obmedzenia v presnosti meraní a nedostatok presnej definície základne je ľahké určiť, ktorý z týchto vrchov je vyšší. Rheasilvia je najvýznamnejším povrchovým prvkom na asteroide Vesta a predpokladá sa, že je impaktným kráterom. Predpokladá sa, že všetky asteroidy typu V sú produktmi tejto kolízie. Má priemer 505 km, čo je 90 % priemeru samotnej Vesty a pokrýva väčšinu južnej pologule. Kráter bol objavený na snímkach z Hubblovho vesmírneho ďalekohľadu v roku 1997. Kráter je starý približne 1 miliardu rokov.

3. Rovníkový hrebeň, Japetus

Japetus, známy pre svoj dvojfarebný povrch, je tretí najväčší mesiac Saturna, jedenásty najväčší v Slniečnej sústave. Najväčšou záhadou je objav sondy Cassini v roku 2007, ktorá nasnímala obrovský rovníkový hrebeň, tiahnući sa v dĺžke približne 1300 km v oblasti rovníka, pokryvajúci tri štvrtiny rovníkového obvodu mesiaca. Niektoré vrcholy v hrebeni stúpajú do výšky takmer 20 km nad okolité roviny.



Slnečnej sústavy



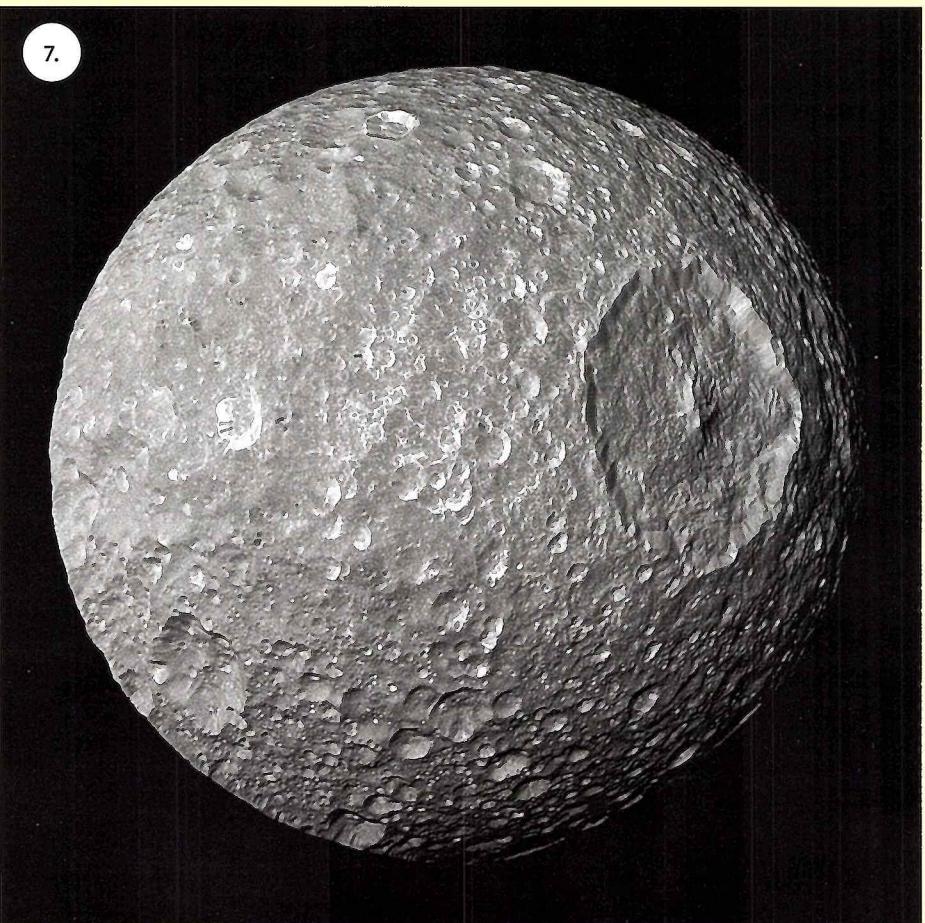
4.



5.



6.



7.

Pôvod hrebeňa je nejasný. Môže ísť o ľahký materiál vytlačený zvnútra mesiaca, môže byť zvyšok zrúteného prstence, alebo v tejto chvíli pre nás celkom neznáme.

4. Boösaule Montes, Io

Na povrchu Jupiterovho mesiaca Io bolo identifikovaných viac ako 135 vrchov. Na rozsiahlemu aktívnomu vulkanizmu, ktoré tam odohráva, je väčšina hôr na Io formovaná tektonickými procesmi. Boösaule Montes tvoria 3 vrchy spojené vyvýšenou planinou. Vrch nazývaný Juh je najvyšší s výškou až 18 km. Na jednej strane má svah so svahom až 40 stupňov, kde vedci predpokladajú obrovský zosuv pôdy v geologickej nie vzdialenej minulosti.

5. Vrcholový kráter, Oberon (nepomenovaný) Oberon je druhý najväčší mesiac Uránu. S výškou asi 11 km objavila sonda Voyager 2 v rokoch 1986-1987. Pravdepodobne ide o centrálny vrchol v krátere s priemerom približne 375 km.

6. Mauna Loa a Mauna Kea, Zem

Z pozemských vrchov sa do nášho zožitia dostala dvojica havajských sopiek Mauna Kea a Mauna Loa (na obrázku je Mauna Kea pri výbuchu v roku 1984). Nad hladinu výčnievajú do výšky 4205 a 4170 metrov. Väčšina je skrytá pod hladinou. Od základu na dno mora dosahujú výšku 10,2 km. S vznikom vďaka horúcej škvŕne pod tektonickou doskou Tichého oceánu. Keď sa tektonická doska pohybuje po horúcej škvŕne, aktívne najmenej 30 miliónov rokov, v oblasti tieto škvŕny na platni vznikajú postupne sopky – ostrovy, pričom na starých sopiekach je aktívna pohasina.

7. Herschel centrálny vrchol, Mimas

Herschel je obrovský kráter na Saturnovom mesiaci Mimas. Pomenovaný je po astronómovi z 18. storočia Williamovi Herschelovi, ktorý objavil mesiac Mimas v roku 1789. Herschel je druhým najväčším kráterom v Slnkej sústave vzhľadom k telesu, na ktorom nachádza. Priemer krátera je 139 km, jeho výška sú vysoké približne 5 km a stredový výpuk sa týči 7 km nad dnom krátera. Odhadovaný vek krátera je cca 4,1 miliardy rokov. Snímok mesiaca Mimas s kráterom Herschel získal sonda Cassini v roku 2005.

8. Skadi Mons, Venuša

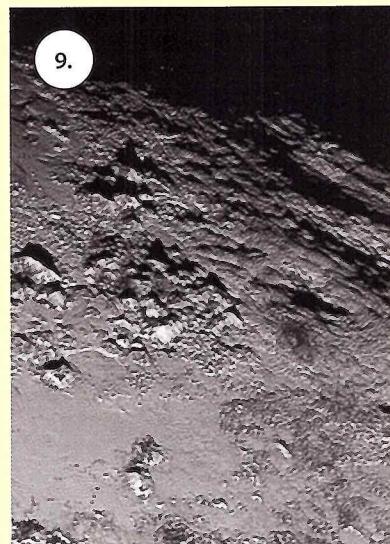
Radarový obraz vrchu Skadi Mons získaný sonda Magellan v roku 1996. Pôvod pohoria je tektonický, svahy boli na radare veľmi jasné a vysoko rozlišiteľné, keďže „sneh“ na Venuši je tvorený časticami kovov, napr. sulfidom olovnatým.

9. Tenzing Montes, Pluto

Tenzing Montes sú ľadové hory na trpasličej planéte Pluto, siahajúce do výšky 6,2 km. Sú najvyšším pohorím na Plute s najstrmšou svahmi s priemerným sklonom 19,2 stupňov. Ich pôvod je pravdepodobne tektonický, čo dokazuje sonda New Horizons počas svojho letu v júli 2015. Pomenované sú po Tenzingovi Norgayovi, ktorý spolu s Edmundom Hillaryom bol prvým ľudom, ktorí úspešne vystúpili na Mount Everest.

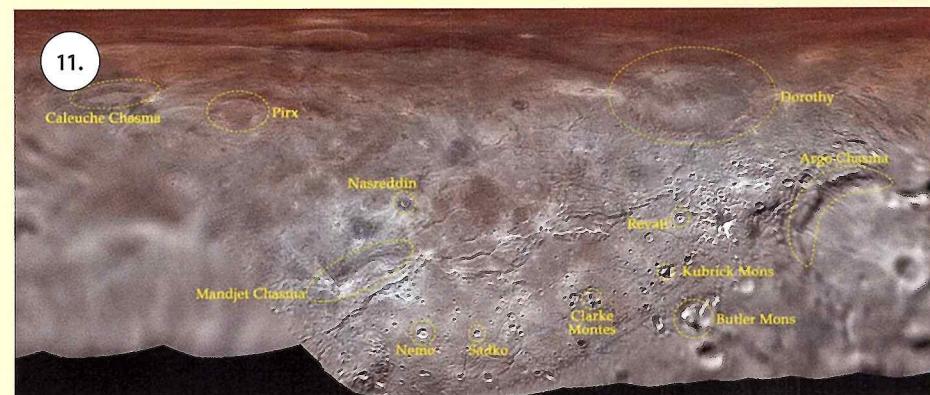
Mons Huygens, Mesiac

Mons Huygens je najvyšší vrch na Mesiaci. Je výšky 5,5 km a nachádza sa v pohorí Apenin. Vzniklo po impaktu, ktorý vytvoril Imbrium. Vrch nesie meno holandského nómoma Christiana Huygensa. Na snímke z Lunar Reconnaissance Orbiter z roku 2010 je vidno časť pohoria Apeniny, v strede nad vrchom Mons Huygens.



Butler Mons, Cháron

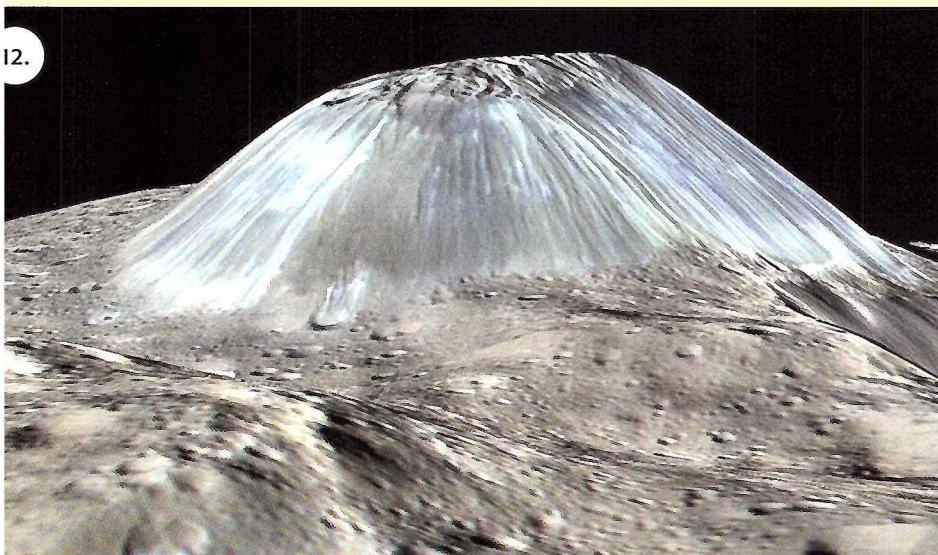
Snímka mesiaca Cháron, obiehajúceho Pluta, s vyznačením útvarov pomenovaných Medzinárodnou astronomickou úniou. Butler Mons je vrch s výškou 4,5 km, ktorý má lepodobne tektonický pôvod. Na planine Planitia, kde sa nachádza Butler Mons, niekoľko izolovaných vrcholov, možno nazývaných kôrových blokov. Vrch pomenovali staviteľ E. Butler, autorku sci-fi románov.



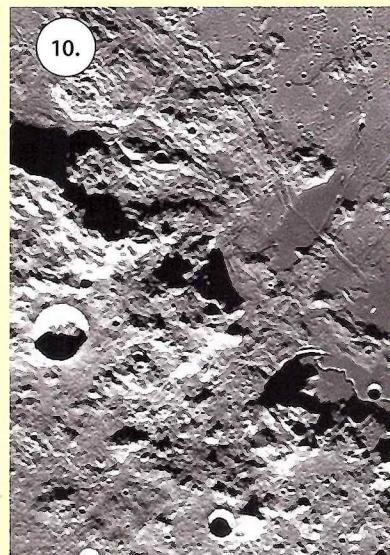
Doc. RNDr. Ján Svoreň, DrSc.
Astronomický ústav SAV

Údaje	Hora	Teleso	Výška [km]
Olympus Mons		Mars	21,9
Rheasilvia Mons		Vesta	21,9
Equatorial Ridge		Japetus	19,8
Boösaule Montes		Io	18,2
Limb mountain		Oberon	11,0
Mauna Loa a Mauna Kea		Zem	10,2
Herschel central peak		Mimas	7,0
Skadi Mons		Venuša	6,4
Tenzing Montes		Pluto	6,2
Mons Huygens		Mesiac	5,5
Butler Mons		Cháron	4,5
Ahua Mons		Ceres	4,0

12.



10.



Kosmické mikrovlnné záření jako tepelné záření mezigalaktického prachu?

O alternativní teorii fungování vesmíru s Dr. Václavem Vavryčukem z Geofyzikálního ústavu AV ČR

Reliktní záření (kosmické mikrovlnné pozadí) přicházející z vesmíru ze všech směrů je považováno za pozůstatek z období nedlouho po Velkém třesku. Pokládá se za nejvýznamnější zdroj poznatků o raném vesmíru a v současné době je předmětem intenzivního výzkumu. Arno Penzias a Robert Wilson za jeho objev získali v roce 1978 Nobelovu cenu a George Smoot a John Mather v roce 2006 obdrželi Nobelovu cenu za objev anizotropie reliktního záření. Na to, zdali by bylo možné i jiné vysvětlení tohoto jevu, a jak by to ovlivnilo současný kosmologický model, jsme se zeptali RNDr. Václava Vavryčuka, DrSc., z Geofyzikálního ústavu AV ČR.

Vážený pane doktore, jste původním povoláním geofyzik. Co vás přivedlo k astronomii?

„Jako geofyzik jsem se rádu let zabýval paprskovou teorií a šířením vln se zaměřením na vlastnosti seismických vln v Zemi. Posledních pět let jsem se začal zajímat rovněž o astronomii, a to díky své nejmladší dcerě, která nyní studuje matematiku. Na gymnáziu si pro jednu ze svých ročníkových prací vybrala Olbersův paradox, ve kterém se řeší zdánlivý rozpor mezi zanedbatelným množstvím světla přicházejícího z vesmíru oproti hodnotám předpovězeným pro model stacionárního vesmíru. V současné astronomii je tento po staletí známý rozpor zdánlivě vyřešen teorií Velkého třesku. Nedalo mi to, a ve snaze pomoci dcerě porozumět problému jsem výpočty prověřil. K mému překvapení jsem zjistil, že obecně přijímaný výklad je založen na nepřípustných zjednodušených a není správný. Výsledky jsem pak publikoval v časopisech *Astrophysics and Space Science* a *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*.“

Kosmické mikrovlnné záření bylo doposud považováno za reliktní záření z Velkého třesku. Vaše teorie jej ale považuje za tepelné záření mezigalaktického prachu. Jak jste k tomuto výsledku došel?

„Zde je právě možno vidět jistou souvislost s Olbersovým paradoxem. Mé řešení i původní řešení tohoto paradoxa samotným Olbersem

vysvětluje tmu ve vesmíru přítomností prachových částic v kosmickém prostoru. Prach je součástí galaktické i mezigalaktické hmoty, je bohatý na sloučeniny uhlíku a jeho částice mají složitý tvar s typickou velikostí v řádu μm . Prachové částice přitom dobře pohlcují světlo v širokém spektru vlnových délek.“

Máte na mysli situaci, kdy prach pohlcuje energii fotonů, zahřeje se, a následně tuto energii vyzařuje formou tepelného záření do kosmického prostoru?

„Přesně tak. Galaxie totiž produkuje světlo a prach se díky jeho absorpci zahřívá. Prachové částice se ve vesmíru nalézají jak v galaxiích, tak v prostoru mezi nimi, a pohlcováním energie fotonů dochází k jejich zahřívání a následnému tepelnému záření podle Planckova zákona o vyuzařování těles. Světlo uvnitř galaxií dokáže zahřát prach na 10 až 40 K, a v jádru galaxie to může být dokonce až na 80 K. V mezigalaktickém prostoru je ovšem světla podstatně méně, takže teplota mezigalaktického prachu je hluboko pod 10 K.“

Je možné teplotu mezigalaktického prachu určit přesněji?

„Ano, uvážíme-li pozorované množství světla mezi galaxiemi a množství prachu v galaxiích a mezi nimi, lze ukázat, že by mezigalaktický prach měl mít teplotu 2,7 K. A právě této teplotě odpovídá i mikrovlnné záření, které pozorujeme. Moje výpočty tedy naznačují, že by kosmické mikrovlnné záření nemuselo být reliktním zářením z Velkého třesku, ale tepelným zářením mezigalaktického prachu.“

Proč se však teplota mezigalaktického prachu neustále nevyšuje díky pohlcování světla hvězd?

„Ano, to je důležitá otázka. Mezigalaktický prach sice pohlcuje světlo z galaxií, a tudíž se neustále zahřívá, ale také vyzařuje tepelné záření, kterým se naopak ochlazuje a které se pohlcuje zpět galaxiemi. Obě energie – pohlcená prachem a vyzářená prachem – se rovnají, takže je prach v tepelné rovnováze. To ovšem neznamená, že teplota mezigalaktického prachu byla i v minulosti 2,7 K. V době,

kdy vesmír měl menší objem, byly galaxie blíže u sebe a světla v mezigalaktickém prostoru bylo mnohem více. Takže i teplota mezigalaktického prachu byla vyšší.“

Znamená to tedy, že se i mezigalaktický prach ochlazuje díky expanzi vesmíru?

„Ano, lze to tak říci. K ochlazení dochází díky adiabatickému rozpínání vesmíru. Tuto vlastnost má i hypotetické reliktní záření z Velkého třesku, kdy se předpokládá, že v raném vesmíru při rudém posuvu ~ 1100 se světlo o teplotě ~ 3000 K oddělilo od hmoty a adiabaticky se ochlazovalo díky expanzi vesmíru na dnešní teplotu 2,7 K. Tato teorie ovšem není schopna vysvětlit, jak to, že přes celou dlouhou historii vesmíru se intenzita a spektrum reliktního záření neporušily v důsledku absorpce galaktickým a mezigalaktickým prachem.“

Vaše teorie vyvolává mnoho dalších otázek.

Mohl byste se s námi o ně podělit?

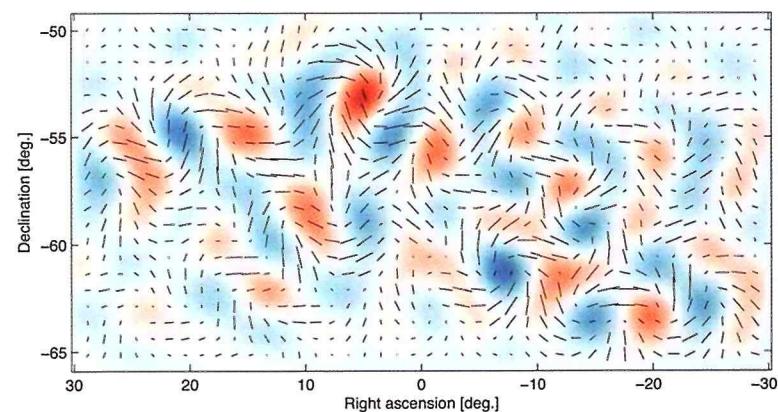
„Otázek je mnoho. Například, co je příčinou teplotních a polarizačních fluktuačí známých jako anizotropie kosmického mikrovlnného záření. Příčina je přitom jednoduchá, tepelné záření prachu závisí na hustotě galaxií ve vesmíru, v místech s velkou případně malou hustotou galaxií se prach ohřívá na vyšší, resp. nižší teplotu. Teplota kosmického mikrovlnného záření se tak může trochu měnit podle toho, ze kterého směru záření pozorujeme. Polarizační anomálie tepelného záření pak mapují magnetické pole okolo shluků galaxií ve vesmíru. Uhlík v prachových částicích má formu grafitu a způsobuje, že jsou vodivé. To má za následek, že se orientují podle siločar magnetického pole a vyzářují polarizované světlo.“

Publikoval jste už tuto teorii?

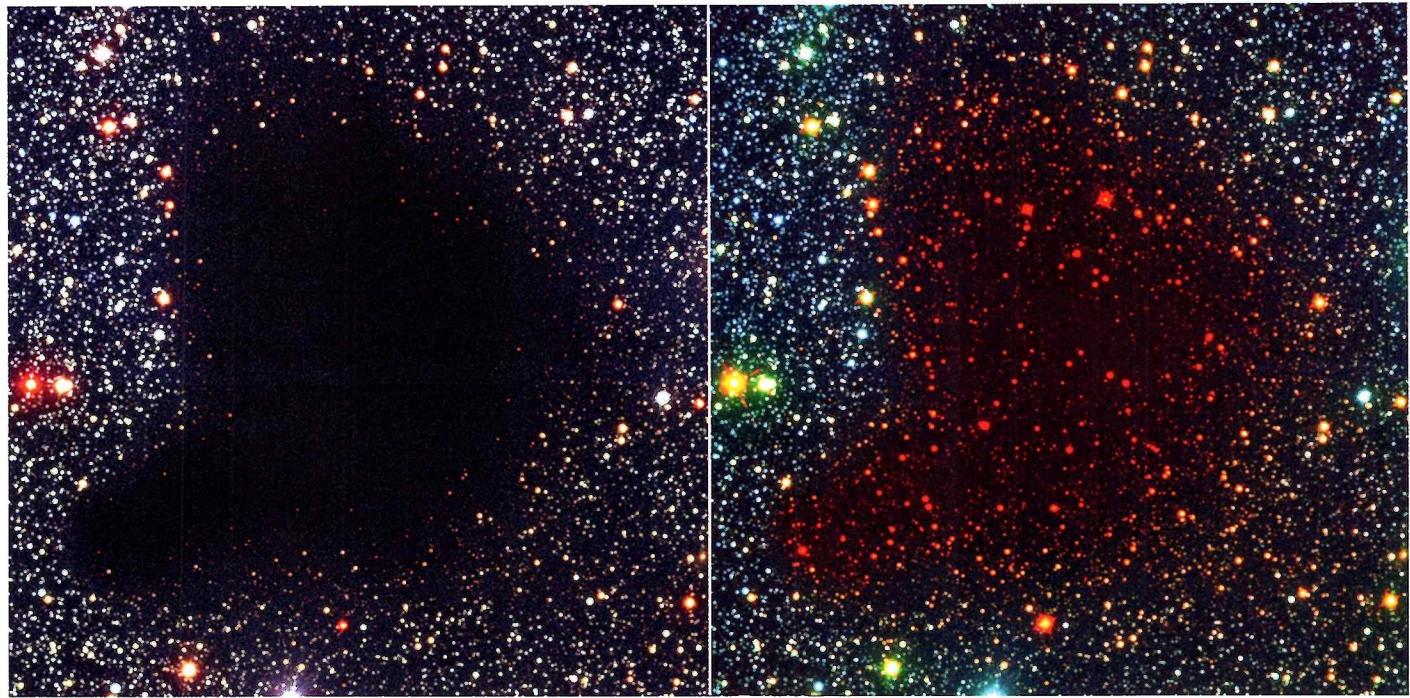
„Výsledky svých výpočtů jsem publikoval v britském časopise *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*. Nebylo to ovšem jednoduché, protože samotná myšlenka kosmického mikrovlnného záření jako tepelného záření mezigalaktického prachu není nová a byla bez hlubší analýzy již před mnoha lety odmítnuta. Musel jsem přesvědčit editora a recenzenty, že to bylo neprávem.“



Nositelé Nobelovy ceny za objev kosmického mikrovlnného záření Arno Penzias (vlevo) a Robert Wilson (vpravo).



Polarizační anomálie kosmického mikrovlnného záření



Oblak kosmického prachu v Mléčné dráze pohlcující světlo vzdálenějších hvězd a galaxií zobrazený dvěma barevnými filtry: (vlevo) převážně modrý filtr, (vpravo) převážně červený filtr. Kosmický prach pohlcuje více modrou než červenou barvu, takže v červené oblasti spektra je prach částečně průhledný. (Zdroj: ESO, prachový mrak Barnard 68, <https://www.eso.org/public/images/eso0102a/>, <https://www.eso.org/public/images/eso0102b/>)

Vaše teorie by mohla převrátit celou kosmologii doslova „vzhůru nohama“. Zaznamenal jste už nějaké důležité ohlasy?

„Reakcí nebylo zatím mnoho. Moje teorie je skutečně v zásadním rozporu se současnými představami o vesmíru a popírá značnou část moderní kosmologie, což logicky vzbuzuje rozpaky a nedůvěru. Ještě před publikováním jsem obdržel několik posudků od recenzentů, které upozorňovaly na mizivou šanci, že má teorie je správná a že bude mít úspěch. Recenzenti požadovali přesvědčivé argumenty a výpočty, a nabádali mě, abych vysvětlil, jaké dopady má moje teorie na teorii Velkého třesku.“ O vás je známo, že se domníváte, že Velký třesk nenastal. Jaké hlavní protiargumenty můžete předložit?

„Hlavním argumentem podporujícím teorii Velkého třesku je právě existence reliktního záření. Pokud zpochybníme existenci reliktního záření, pak dalších argumentů pro Velký třesk je už velmi málo.“



Spirální galaxie, M 100. Spirální galaxie jsou charakteristické vysokým množstvím galaktického prachu, který vyzáraje tepelné záření v infracerveném spektru. (Zdroj: <https://www.eso.org/public/images/eso-m100/>)

Jedním z nich je tzv. nukleosyntéza Velkého třesku. Mohl byste nám ji prosím objasnit?

„Nukleosyntéza během Velkého třesku předpovídá původní složení vesmíru. Vesmír měl být na počátku složen z 75 % z vodíku (H) a z necelých 25 % z hélia (^4He). Ostatní prvky jsou ve vesmíru zastoupeny pouze méně než jedním procentem. Nukleosyntéza například přesně předpovídá poměr hélia (^4He) a lithia (^7Li) vůči množství vodíku ve vesmíru. U hélia se podařilo nalézt uspokojivý souhlas mezi pozorováními a předpovědí, ale až po 20 letech snažení a s použitím celé řady korekcí na náhodné a systematické chyby. A u lithia se čísla rozházejí úplně.“

Lze z nukleosyntézy vypočítat poměr mezi množstvím hmoty a záření ve vesmíru?

„Ano, nukleosyntéza mimo jiné předpovídá z naměřeného množství deuteria určitý poměr mezi hmotou a zářením ve vesmíru – tedy mezi fotony a čisticemi. Víme poměrně přesně, kolik je záření, a díky tomu jsme schopni spočítat, kolik by mělo být ve vesmíru hmoty. Té ovšem vychází cca 10krát méně, než jak to odpovídá gravitačním pozorováním. Odtud plyně zavedení ‚temné‘ hmoty, složené z dosud neznámých částic, aby se tento nesoulad odstranil. Samozřejmě, že nutnost zavedení této zcela nefyzikální veličiny také podrývá věrohodnost teorie Velkého třesku.“

Vy se tedy domníváte, že vesmír cyklicky expanduje a opět se smršťuje. Jak jste k této teorii dospěl?

„Je to jedna z možností. To smršťování vesmíru by ale nebylo do jednoho bodu, ale třeba do 10.000x menšího objemu, než je nyní. Všechny struktury vesmíru by nadále existovaly. Jen by musel být nějaký mechanismus, který by zaručoval, že je vesmír dynamický. Přirovnal bych to například ke slapovým pohybům Země.“

Proč tedy současné hypotézy tvrdí, že vesmír expanduje a vždy to tak bylo?

„Expanzi vesmíru v současnosti odvozuje od pozorování rudého posuvu blízkých i vzdálených galaxií. Nejvzdálenější galaxie mají největší rudý posuv. Sám ale nevím, kde bereme jistotu, že když nyní pozorujeme expanzi vesmíru, muselo to tak být vždycky.“

Jaký největší rudý posuv byl u galaxií pozorovan a co z toho plyně?

„Poslední měření odhalují existenci poměrně vyvinutých a starých galaxií s rudým posuvem až 11, musely tedy existovat už v době přibližně 400 milionů let po Velkém třesku. Přitom zrod a vývoj galaxií má určitý řád a časový harmonogram a my neznáme mechanismy, kterými by se tak rychle po Velkém třesku mohla galaxie vytvořit. Jiná pozorování z ještě ranějšího vesmíru zatím nemáme, takže expanze vesmíru z bodové singularity je pouze spekulací založenou na platnosti velmi zjednodušených předpokladů a rovnic.“

Uvažujete ve své teorii i temnou hmotu a temnou energii?



Obraz pozůstatku supernovy typu Ia N103B nacházející se ve Velkém Magellanově mračně pořízený Hubbleovým teleskopem (Zdroj: <http://www.sci-news.com/astronomy/type-ia-supernova-remnant-large-magellanic-cloud-04746.html>)

„Temná hmota i temná energie jsou pojmy odpovídající základním fyzikálním zákonům a ve své teorii je nepotřebuji. V současnosti je 95 % energie ve vesmíru přisuzováno právě temné hmotě a temné energii. Podle mne ale těch 95 % temnoty spíše vypovídá o tom, jak nepatrný zlomek z dění ve vesmíru dokáže standardní kosmologický model racionálně vysvětlit.“

Pokud ale vím, temná energie byla zavedena kvůli nezvyklému chování svítivosti supernov a za tento objev byla v roce 2011 udělena Saulu Perlmutterovi, Adamu Riessovi a Brianu Schmidtovi Nobelova cena. O co přesně šlo?

„Máte pravdu, supernovy jsou žhavým tématem současné astronomie. Existuje totiž typ supernov Ia, které při explozi zazáří vždy se stejnou intenzitou. Pozorovaná svítivost těchto supernov tak závisí jen na jejich vzdálenosti od nás. Z rudého posudu a ze svítivosti lze pak určit jejich vzdálenost a rychlosť expanze vesmíru. Ukázalo se ovšem, že svítivost supernov klesá s rudým posudem mnohem rychleji, než se předpokládalo. Aby se vyhovělo pozorováním, tak původní a fyzikálně srozumitelná představa, že expanze vesmíru se musí zpomalovat díky dostředivé gravitaci, byla nahrazena představou o zrychlující se expanzi způsobené odstředivou temnou energií. Nezvyklý pokles svítivosti supernov se vzdáleností lze ale stejně dobře vysvětlit i absorpcí světla mezigalaktickým prachem bez nutnosti zavádět temnou energii, jak ukazují v mé posledním článku v *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*.“

Vraťme se ještě k vašemu cyklickému modelu vesmíru bez Velkého třesku. Jak by se podle vás dalo vysvětlit dynamické smršťování a rozpínání vesmíru?

„Dynamické smršťování vesmíru způsobuje gravitace. Základní otázkou však je, jaká síla vyvažuje gravitaci a může tedy způsobit rozpínání vesmíru. Moje představa je taková, že by vesmír mohl fungovat podobně jako hvězdy. I hvězdy jsou hmotné objekty s gravitací, ale přesto nezkolabují. Je to dánou tím, že vyzařují světlo a další složky elektromagnetického spektra, tedy fotony. Tlak světla působí proti gravitaci a je natolik silný, že udržuje hvězdy v rovnováze. Hvězda zkolabuje až poté, co ji dojde palivo a není už schopna vyzařovat.“

Dobře, ale jak by taková rovnováha fungovala pro vesmír s galaxiemi?

„Vcelku jednoduše. Galaxie jsou objekty tvořené hvězdami, plynem a galaktickým prachem, které vyzařují světlo do mezigalaktického prostoru. Toto světlo se opírá do ostatních galaxií jako vítr do plachet a vzájemně galaxie odtahuje. Fyzikální zákony jsou jasné a tlak světla působící na galaxie lze snadno spočítat. V dnešní době je tlak světla na galaxie vůči gravitaci zanedbatelný a expanze vesmíru musí tudíž zpomalovat, až se nakonec zastaví a začne smršťování vesmíru. Čím bude ale vesmír menší, galaxie budou více u sebe a množství světla v mezigalaktickém prostoru rychle poroste. Výpočty ukazují, že až bude mít vesmír velikost odpovídající dnes pozorovanému rudému posudu 20–40, tlak světla působící na galaxie bude natolik silný, že se smršťování zastaví a dojde k opětovnému rozpínání. Vesmír by tak nebyl stacionární, neměl by ani

počátek ani konec a podléhal by jednoduchému pulsujícímu mechanismu. Počet galaxií by byl stále stejný, protože zanikající galaxie by byly nahrazeny nově zrozenými galaxiemi.“

Existuje nějaký experiment, jímž by se dala vaše teorie ověřit?

„Pokrok v astronomii je založen na stále lepších a lepších možnostech pozorování. Obrovským skokem byla instalace Hubbleova vesmírného dalekohledu na oběžné dráze Země ve výšce 600 km, který pozoruje díky své citlivosti galaxie až do rudého posudu 11. A překvapivě zjišťujeme, že i v takto raném vesmíru existují vyvinuté galaxie, které by tam podle teorie Velkého třesku neměly být.“

Přesto by bylo potřeba dohlédnout ještě dál do minulosti s pomocí ještě kvalitnějšího teleskopu.

„S jistým zpožděním by měl být v roce 2021 do vesmíru vypuštěn teleskop Jamese Webba, jehož citlivost bude až 100x vyšší než u Hubbleova teleskopu. Proto by měl dohlédnout ještě mnohem hlouběji do raného vesmíru. Očekávám, že přinese řadu překvapení a potvrdí, že počet galaxií ve vesmíru se v podstatě nemění. V současných podmínkách pozorujeme ve velkých vzdálenostech pouze ty největší a nejsvítivější galaxie, protože svítivost galaxií s jejich vzdáleností rychle klesá. S citlivějším teleskopem bychom jich mohli pozorovat podstatně více, a to i v epochách vesmíru, kdy žádné galaxie neměly vůbec existovat. Pokud se tak stane, mohla by tím být moje teorie potvrzena.“

Výše uvedenou teorii jste nedávno prezentoval na mezinárodní astronomické konferenci v Bonnu. Jak byla odborníky přijata?

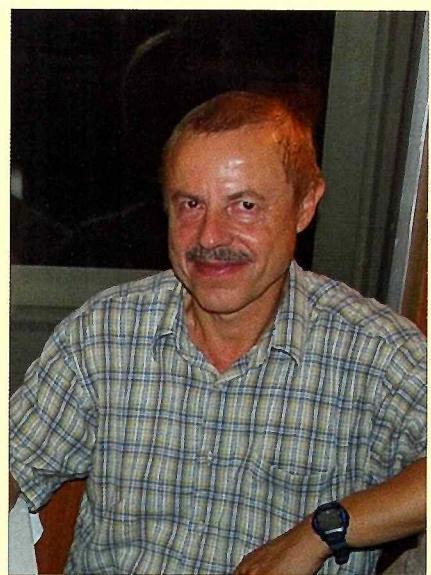
„Šlo o konferenci organizovanou prof. Pavlem Kroupou a jeho spolupracovníky z Univerzity v Bonnu, která se věnovala gravitaci a rozporům způsobeným přítomností temné hmoty v modelech galaxií. Moje přednáška o kosmickém záření jako tepelném záření mezigalaktického prachu byla přijata příznivě a vzbudila živou diskusi, ale vyhráno tím ještě není. Přesvědčit širokou astronomickou komunitu o správnosti mého modelu nebude vůbec jednoduché.“

Kolik let dáváte současnému kosmologickému modelu?

„To je velmi obtížné odhadnout. Většina astronomů, a zvláště pak kosmologů si už zvykla na to, že představa Velkého třesku přináší spoustu nesrovnaností, rozporů a záhad. Místo toho, aby kosmologové rozvíjeli nové alternativní teorie, tak se postupem času s Velkým třeskem i se všemi jeho nedostatkami naučili žít a stali se poněkud imunní vůči další kritice. Například v roce 2013 byla nalezena hvězda HD 140283 ve vzdálenosti necelých 60 parseků od Slunce, jejíž stáří 14,5 mld. let je vyšší než odhadované stáří vesmíru 13,8 mld. let. Ale ani po tomto objevu se většinový názor astronomů na Velký třesk nezměnil.“

Lze tedy říci, že vědce nevyburcoval z letargie ani takový neuvěřitelný výsledek pozorování? Jak je to možné?

„Svou roli hraje setrvačnost myšlení a neočekávané angažovaných v teorii Velkého třesku přiznat chyby. Nicméně kritika současného kosmologického modelu a nespokojenost



RNDr. Václav Vavryčuk, DrSc. (*1959)

Vystudoval Matematicko-fyzikální fakultu Univerzity Karlovy v Praze. Od roku 1985 pracuje v Geofyzikálním ústavu Akademie věd ČR. V roce 1993 získal roční stipendium na Univerzitě v Hirošimě v Japonsku. V roce 2000 působil jako hostující profesor na Univerzitě v Salvadoru (Brazílie). V roce 2001 získal titul DrSc. Zabývá se teorií šíření vln a modelováním vlnových polí ve strukturně složitých prostředích s aplikacemi v seismologii a kosmologii. V seismologii se věnuje zejména seismické paprskové teorii, mechanismům zemětřesení a studiu vlastností a příčin zemětřesných rojů v západních Čechách. V kosmologii se zabývá útlumem světla způsobeným absorpcí světla kosmickým prachem, modelováním extragalaktického záření a kosmického mikrovlnného záření, a také dynamikou vesmíru na základě pozorování supernov.

s ním neustále rostou a okamžik vážné krize v kosmologii se blíží. Optimisticky odhaduji, že do 5 – 10 let by se mohlo nashromáždit tolik pozorování svědčících proti Velkému třesku, že jeho idea bude prostě neudržitelná. Hodně v tom mohou pomoci budoucí pozorování z vesmírného teleskopu Jamese Webba.“

Co vás na vesmíru nejvíce fascinuje?

„Vesmír fascinuje asi každého. Už jako středoškolák jsem navštěvoval hvězdárnu a obdivoval rozmanitost hvězd a galaxií a neskutečný prostor mezi nimi. Hlavně se mi ale líbilo, že vesmír podlehá rádu a že jsme jej schopni popsat relativně jednoduchými fyzikálními zákony. Pochopit vývoj vesmíru je pro vědce velká výzva a vřele doporučuji všem, kteří se nebojí řešení náročných fyzikálních problémů a záhad, aby se kosmologií zabývali.“

Jana Žďárská, Fyzikální ústav AV ČR

(V časopise *Kozmos* môžu byť publikované aj názory a hypotézy, s ktorými sa redakcia ani redakčná rada *Kozmosu* nestotožňujú, považujú ich však za natoľko zaujímavé, že by o nich mal čitateľ vedieť)

18. zjazd SAS pri SAV

Slovenská astronomická spoločnosť (SAS) pri SAV každé 4 roky zvoláva zjazd, na ktorom sa stretnú delegáti zo všetkých odborov, aby prediskutovali svoju činnosť za uplynulé obdobie, navrhli nové úlohy, aby si v tajnom hlasovaní zvolili nové predsedníctvo, hlavný výbor, revíznu komisiu a čestných členov, a prijali uznesenie. Zjazd sa konal v dňoch 27. – 28. 9. 2019 v Danišovciach, na tom istom mieste ako konferencia „Astronomické Slovensko 2019“, o ktorej písame v inom článku tohto čísla časopisu, a časovo nadväzoval na uvedenú konferenciu.

Rok 2019 je rokom neuveriteľného množstva okrúhlych výročí

Úvodom by som chcel vyjadriť radosť nad tým, že nás 18. zjazd SAS pri SAV sa zhodou okolností konal práve v roku, na ktorý pripadá až neuveriteľné množstvo okrúhlych „astronomických“ výročí (náhodne spojených s číslom 50). Začnime tým, že Organizácia spojených národov pre vzdelanie, vedu a kultúru (UNESCO) vyhlásila rok 2019 za Medzinárodný rok periodickej tabuľky prvkov, nakoľko Dmitrij Ivanovič Mendelejev publikoval svoj periodický zákon presne pred 150 rokmi.

Vláda SR na návrh Ministerstva kultúry SR schválila, že rok 2019 bude Rokom M. R. Štefánika, ako hold „Najväčšiemu Slovákovovi“, generálovovi, astronómovi, diplomatovi a spolužakladateľovi 1. ČSR, ktorý tragicky zahynul pred 100 rokmi. Svoje 100. výročie si priopomína aj Medzinárodná astronomická únia (IAU), ktorá združuje takmer 14 000 astronómov zo 107 krajín celého sveta.

Rovných 100 rokov uplynulo aj od pozorovania najdôležitejšieho úplného zatmenia Slnka, ktorým sir Arthur Stanley Eddington experimentálne potvrdil platnosť Einsteinovej obecnej teórie relativity. Musíme však spomenúť ešte ďalšie dôležité výročia, ktoré úzko súvisia s astronómiou. Zrejme každý si už pripomínenul ten veľký krok, ktorý pred 50 rokmi urobil Neil Armstrong na Mesiaci. V tom istom roku bolo slávnostne otvorené aj Európske južné observatórium (ESO) La Silla v Čile, ktoré veľkou mierou dodnes prispieva k významným astronomickým objavom. A už 50 rokov tieto objavy popularizuje aj nás populárno-vedecký časopis *Kozmos*, ktorý má minimálne 1500 čitateľov aj v susednej Českej republike.

Okrúhle 50. výročie si priopomína aj pomaturitné štúdium astronómie na Slovenskej ústrednej hvezdárni (SÚH) v Hurbanove, 50-ročnú tradíciu zaznamenal aj Zraz mladých astronómov Slovenska (ZMAS) a zrejme čírou náhodou 50 rokov pôsobí na Slovensku aj Slovenský zväz astronómov amatérov (SZAA), dnes premenovaný na Slovenský zväz astronómov (SZA).

Astronómovia by nemali zabudnúť ani na ďalšie významné výročia. Pred 150 rokmi zomrel jeden z najvýznamnejších českých prírodovedcov Jan Evangelista Purkyně, z ktorého menom sa viaže 13 eponymov. Jedným

z nich je Purkyniov jav, dôležitý a dobre známy pre pozorovateľov premenných hviezd. Alebo pred 150 rokmi počas úplného zatmenia Slnka 7. 8. 1869 začala „záhada korónia“. A nedávno sme si pripomerali 250. výročie pozorovania prechodu Venuše popred disk Slnka na ostrove Vardö, ktoré uskutočnil slovenský astronóm, rodák zo Štiavnických Baní Maxi-milián Hell.

Väčšina týchto výročí sa odrazila v roku 2019 aj v činnosti členov Spoločnosti, ktorí zorganizovali množstvo seminárov, stretnutí, prednášok a spomienkových akcií.

Spoločnosť má 60

Konečne spomeňme pre nás momentálne to najdôležitejšie okrúhle výročie – 60 rokov existencie SAS pri SAV. (Podrobne je jej vznik a vývoj opísaný na inom mieste tohto čísla, v článku Dr. Zverka.) Toto výročie dalo zjazdu slávnostnejšiu atmosféru a bolo dôvodom na spomienky. Najstarším pamätníkom a zakladajúcim členom Spoločnosti je čestný člen RNDr. Jozef Tremko, CSc., ktorý sa nemohol na zjazde zúčastniť, no zaslal list, z ktorého vyberám:

Vážený pán predsedo!

Dakujem Vám za pozvanie na 18. riadny zjazd SAS. Pozvanie ma veľmi milo prekvapilo aj preto, že v Danišovciach som strávil niekoľko rokov svojho detstva. V roku 1936 som nastúpil do 1. ročníka Obecnej školy, ktorá sídlila v budove terajšieho Učebno-výcvikového strediska. V Astronomickej spoločnosti som začal pracovať už pri jej vzniku na zakladajúcom zjazde v decembri 1959. S RNDr. Róbertom Bajcárom, CSc., sme postupne navštívili sídla astronomických krúžkov na Slovensku. Pri zakladaní odbočiek v jednotlivých mestách sme museli riešiť aj vzťahy medzi SAS a zriaďovateľmi astronomických krúžkov. Istú dobu som bol aj prvým podpredsedom Československej astronomickej spoločnosti pri ČSAV. Spolupracovali sme pri uskutočnení odborných seminárov a organizovaní konferencií o výuke astronómie na školách. Počas 60.-ročnej existencie SAS prežila aj turbulentné zmeny, ktoré sa za ten čas udiali. Prajem členom SAS veľa úspechov v práci na poli astronómie a funkcionárom šťastné ruku pri riadení tejto činnosti.

S pozdravom

J. Tremko



Predseda SAS pri SAV privítal vzácnego hosta, prof. RNDr. Petra Heinzele, DrSc., predsedu Českej astronomickej spoločnosti.



Mgr. Mária Gallová prevzala z rúk predsedu Spoločnosti Csereho cenu SAS pri SAV za rok 2019.



Prof. RNDr. Petr Heinzel, DrSc., predniesol pozvanú prednášku.



Aktívni členovia Spoločnosti prevzali z rúk vedeckého tajomníka SAS pri SAV čestné plakety.



Odstupujúci predseda gratuluje k zvoleniu novému predsedovi SAS pri SAV doc. RNDr. Rudolfovi Gálisovi, PhD.

Astronomického ústavu AV ČR. Vzácny host prednesol v piatok večer pre účastníkov zjazdu pozvanú prednášku s názvom: „Účasť ČR na nových kosmických projektoch ESA“. Program zjazdu obohatila ešte jedna pozvaná prednáška z úst Mgr. Márie Gallovej: „M. R. Štefánik – astronóm“.

Aj keď zjazdy Spoločnosti sa riadia presne predpísaným programom, nakoľko je nutné prečítať správu o činnosti o hospodárení a správu revíznej komisie a samozrejme je potrebné vykonať volby, podarilo sa zaradiť do programu aj odovzdávanie Csereho ceny.

Csereho cena SAS pri SAV za rok 2019

Nakoľko udeľovanie Csereho ceny pripadlo v tomto roku na okrúhle výročie Spoločnosti, príslušná komisia rozhodla, že budú udelené ceny dve, na čo štatút ceny pamäta. Môžeme pripomenúť, že táto cena sa udeľuje iba členom SAS pri SAV za najlepšiu populárno-vedeckú činnosť a laureáta môže predsedovi návrhnúť každý člen Spoločnosti. Na Cenu boli v roku 2019 nominovaní Mgr. Mária Gallová a Mgr. Peter Zimník, obaja z Banskej Bystrice. Ceny odovzdal predseda SAS pri SAV RNDr. Ladislav Hric, CSc. Obidvom držiteľom ceny srdečne blahoželáme.

Zvolení čestní členovia a funkcionári Spoločnosti

18. zjazd SAS pri SAV zvolil nasledovných dlhorčných členov za čestných členov Spoločnosti: RNDr. Pavol Hazucha, Mgr. Peter Ivan, Dušan Kalmančok, Mgr. Jozef Krištofovič, Pavol Orolín, Prof. RNDr. Vladimír Porubčan, DrSc., RNDr. Daniela Rapavá, RNDr. Vojtech Rušin, DrSc., RNDr. Juraj Zverko, DrSc.

Odstupujúci dlhorční funkcionári sú úprimne radi, že pre ďalšiu prácu sa podarilo získať aj veľmi mladých členov Spoločnosti, čo zaručuje kontinuitu fungovania a dáva predpoklady pre ďalšie zavádzanie nových moderných metód do činnosti a do vzájomnej informovanosti jednako v rámci Spoločnosti, ale aj smerom von k záujemcom o astronómiu a k médiám. Na základe výsledkov volieb budú v ďalšom funkčnom období v rokoch 2019 – 2023 pracovať pre Spoločnosť: doc. RNDr. Rudolf Gális, PhD., predseda HV SAS pri SAV, Mgr. Márán Vidovenec, podpredseda HV SAS pri SAV, Mgr. Emil Kundra, PhD., vedecký tajomník HV SAS pri SAV, Mgr. Ľubomír Hambálek, PhD., hospodár HV SAS pri SAV.

Ďalší členovia hlavného výboru budú pracovať v zložení: Mgr. Stanislav Kaniansky,



Dr. Znášik ako predseda návrhovej komisie číta delegátom zjazdu návrh uznesenia.

RNDr. Pavol Rapavý, RNDr. Svetozár Štefek, Mgr. Eduard Kočí, Ing. Róbert Barsa, Mgr. Jaroslav Merc a RNDr. Ján Másiar.

Ako posledná bola zvolená aj revízna komisia: Mgr. Mária Gallová a bude zároveň vykonávať funkciu predsedníčky revíznej komisie, Mgr. Mária Záborská, členka a Mgr. Katarína Žilinská, členka.

Všetkým zvoleným funkcionárom želáme veľa trpežlivosti a úspechov v ďalšej práci.

RNDr. Ladislav Hric, CSc.
emeritný predseda SAS pri SAV
FOTO – Pavol Rapavý

Astronomické Slovensko 2019

Rok 2019 je veľkým medzníkom pre celosvetovú astronómiu, nakoľko astronómovia na všetkých kontinentoch si pripomenuli 100. výročie Medzinárodnej astronomickej únie (IAU). Ešte významnejším je však pre slovenských astronómov, nakoľko Slovenská astronomická spoločnosť (SAS) pri SAV, ktorá zastupuje všetky astronomické subjekty na Slovensku, si pripomína svoje 60. výročie.

Práve tento moment bol dostatočným dôvodom na zorganizovanie odbornej konferencie s názvom zhodným s nadpisom tohto článku, ktorá sa konala v dňoch 25. – 27. septembra 2019 v priestoroch Učebno-výcvikového zariadenia Univerzity P. J. Šafárika v Danišovciach, neďaleko Spišskej Novej Vsi.

Veľký záujem

Na konferencii sa prezentovali všetky astronomické inštitúcie, ktoré okrem vedeckého výskumu vykonávajú aj pedagogickú činnosť, pracujú s mládežou a popularizujú astronómiu na všetkých úrovniach vzdelávania, ďalej takmer všetky verejné hvezdárne a planetáriá, astronomické združenia a kluby, ktorých činnosť je nejakou formou spojená s astronómiou. Takže okrem UK v Bratislave, Univerzity P. J. Šafárika v Košiciach, Ústavu experimentálnej fyziky v Košiciach a Slovenskej ústrednej hvezdárne v Hurbanove sa tu stretli zástupcovia takmer všetkých verejných hvezdární a planetárií, Slovenského zväzu astronómov, Slovenských planetárií OZ, Slovenského národného múzea v Bratislave, Centra voľného času v Košiciach, či úplne malých zariadení,

akým bolo napr. Krajské osvetové stredisko v Nitre. Bezprostredne na konferenciu nadvázoval 18. riadny zjazd SAS pri SAV, o ktorom informujeme na inom mieste Kozmosu.

Výborná organizácia aj prednášky

Velké podákovanie za výbornú organizáciu konferencie patrí hlavne organizačnému výboru: doc. RNDr. Rudolf Gális, PhD., vedecký tajomník SAS pri SAV, Mgr. Jaroslav Merc, astronóm, čerstvý absolvent UPJŠ v Košiciach a Mgr. Ľubomír Hambálek, PhD., hospodár

SAS pri SAV. Nezištnú pomoc poskytli aj ďalší členovia Spoločnosti a vlastne všetci účastníci konferencie, ktorí prispeli do programu konferencie prednáškami, prezentáiami o vlastnej činnosti, či dokonca aj výstavami. A skutočne program bol neobvykle hustý, veď na 36 účastníkov konferencie pripadol 29 prednášok a 6 nainštalovaných výstav.

Veľké množstvo prednášok prezentovaných na konferencii nedáva možnosť spomenúť ani štvrtinu z nich, no každý záujemca si môže pozrieť program konferencie a dokonca aj



Účastníci konferencie v areáli školiaceho strediska.



Program konferencie obohatili aj astronómky – zľava Mgr. Mária Záborská, Dr. Mária Hricová Bartolomejová a Jana Švrčková.

jednotlivé príspevky na stránke konferencie na internete. Žiaľ zážitok z výstav nie je možné poskytnúť na internete, preto aspoň stručne uvediem, že Dr. D. Rapává vystavovala ďalšie nové fotografie pod názvom Kúzlenie svetlom, pričom počas vernisáže podrobne opísala aj fyzikálne a optické procesy, ktoré vytvorili neopakovateľné tvary zachytené kvalitnou zrkadlovkou. Mgr. S. Kaniansky, Ing. R. Barsa a Dr. J. Másiar prezentovali veľmi kvalitné fotografie nočnej oblohy, získané a spracované najmodernejšími metódami na počítačoch. Počas prednášky uviedli aj technické detaily, ako niektoré zábbery exponovali. Dr. L. Hric vybral malú vzorku fotografií, ktoré získal počas expedícií za astronomickými javmi,

prípadne na súkromných cestách z 10 miest sveta. Ďalšie výstavy sú k dispozícii aj v elektronickej forme na požiadanie. Hlavne výstava o M. R. Štefánikovi už bola poskytnutá niekoľkým inštitúciám aj za účelom vytlačenia na plagátový formát.

Ciele splnila

Konferencia splnila mnoho cieľov, od výmeny skúseností, cez oboznamovanie sa s novými metódami popularizácie astronómie až po získanie nových poznatkov z oblasti astronomickej fotografie. Upozorníme tu na výbornú prezentáciu Mgr. S. Kanianskeho o astronomických hráčach v exteriéri aj v interiéri, určených všetkým vekovým kategóriám.

Jedným z hlavných cieľov konferencie však bolo pripomenúť si 60 rokov činnosti Spoločnosti od jej vzniku až po súčasnosť. K tejto téme prezentoval veľmi cenné faktky vo svojej prednáške s názvom: SAS pri SAV v toku dejín Dr. J. Zverko (*skrátenú verziu jeho prezentácie uvádzame ďalej*). Účastníci konferencie vyjadrili želanie, aby tradícia podobných konferencií pokračovala. Zrejme si budeme musieť počkať ďalšie 4 roky, nakolko SAS pri SAV pracuje v štvorročných cykloch a ďalší zjazd bude v roku 2023.

Veľké úspechy v práci a čisté nebo želám slovenským astronómom do ďalšej konferencie.

Ladislav Hric, SÚH Hurbanovo

SAS pri SAV v toku dejín

16. decembra 1959

Zakladajúci slovenský zjazd Československej astronomickej spoločnosti (ČAS) pri SAV sa konal v Bratislave. Zápisnica z ustanovujúcej schôdze Slovenského výboru ČAS pri SAV uvádzá, že bolo zvolené Predsedníctvo Slovenského výboru ČAS v tomto zložení: člen korešp. SAV doc. dr. V. Guth – predseda, dr. L. Pajdušáková-Mrkosová – podpredseda, prom. fyz. J. Tremko – tajomník Slov. výboru, prof. J. Vanovič – člen Predsedníctva, K. Bézay – člen Predsedníctva; funkciu konataela bol poverený s. R. Bajcár.

V uznesení zakladajúceho slovenského zjazdu, ktoré rámcuje preambula, je 9 úloh, z ktorých za tažiskové považujem dve (citujem z dobového dokumentu):

4. V zmysle úloh organizačného poriadku ČAS reformovať všetky poradenské zbory pre otázky stavby LH, ... usmerniť plánovanie siete LH, plánovanie ich výstavby a zariadenia.

9. Ukladá sa Slov. výboru ČAS pri SAV, aby vzalo za prvoradú úlohu starostlivosť o výstavbu i prácu Ľudových hvezdárni a poskytlo všeobecnú pomoc a podporu pri výstavbe i vybavení Ľudovej hvezdárne a planetária v Bratislave.

Aj keď sa na zakladajúcim zjazde zúčastnilo

45 oduševnených priateľov astronómie, podľa vtedajších stanov (ČAS), ako výberovej vedeckej spoločnosti, kritériá členstva splňala iba desiat z nich: Milan Antal, Záviš Bochníček, Mária Hajduková, Ján Krajčí, Lubor Kresák, Margita Kresáková, Jiří Lexa, Ludmila Mrkosová-Pajdušáková, Ján Štohl a Jozef Tremko. Ako výberová spoločnosť mala SAS tri kategórie členstva – riadne, mimoriadne a čestné. Riadnym členom sa mohol stať profesionálny astronóm. Ostatní aktívni priatelia či záujemcovia o astronómiu mohli byť mimoriadnymi členmi.

Po zakladajúcim zjazde sa ďalšie konali v trojročných intervaloch podľa vzoru Medzinárodnej astronomickej únie, ktorej valné zhromaždenia sa tiež konajú v trojročných intervaloch.

Po Vladimírovi Guthovi sa v roku 1962 stala predsedníčkou Ludmila Pajdušáková, ktorá túto funkciu zastávala až do roku 1974.

1. apríla 1966

Od 1. apríla 1966 Spoločnosť zmenila názov na Slovenská astronomická spoločnosť (SAS) pri SAV, ale nadálej zostala „integrálnou súčasťou Československej astronomickej spoločnosti pri Československej akadémii vied“.

V roku 1974 sa stal predsedom Anton Hajduk, nasledovali Ján Štohl (1980 – 1986) a Pavol Paľuš (1986 – 1992).

1993

V roku 1993 sa SAS pri SAV úplne osamostatnila, tradícia spolupráce ČAS a SAS však pokračovala a pri významných príležitostiach sa uskutočnili stretnutia Výkonného výboru ČAS s Hlavným výborom SAS.

V tejto – súčasnej – etape boli predsedami Vojtech Rušin (1992 – 1999), Vladimír Porubčan (1999 – 2003), Juraj Zverko (2003 – 2011) a Ladislav Hric (2011 – 2019).

2002

V tomto roku nadobudol platnosť Zákon č. 144 prijatý 19. februára 2002 o Slovenskej akademii vied, ktorý znamenal novú etapu v živote vedeckých spoločností pri SAV. Tie totiž už v tomto zákone neboli spomenuté. Vedecké spoločnosti sa museli pretransformovať na novú právnu formu – občianske združenia. V celej dovtedajšej histórii boli vedecké spoločnosti podporované z rozpočtu SAV, čo už po novom nebolo priamo možné. SAV preto zriadila Radu vedeckých spoločností, ktorá zo svojho rozpočtu rozdelovala dotácie výhradne na ich vedecké aktivity, a výška pridelených prostriedkov výrazne klesla. Organizačná činnosť sa musela hrať z vlastných zdrojov. Ako občianske združenia sme však mohli zís-

kať aj prostriedky spôsobom 2 % z daní. Aj tento spôsob pomoci SAV vedeckým spoločnostiam sa neskôr musel zmeniť, preto ďalšia forma, ako udržať fungujúce spoločnosti pri živote, je uzatváranie dohôd o konkrétnych vedeckých a odborných projektach medzi ústavom Akadémie vied a vedeckou spoločnosťou, ktorá (väčšinou) pri ňom sídlila.

Z činnosti SAS pri SAV

Organizačná a administratívna činnosť Spoločnosti sa vykonávala cestou odbočiek. Medzi rokmi 1960 až 1965 ich bolo zriadených sedem: v novembri 1961 pri Krajskej hvezdárni v Hlohovci, v decembri 1961 v Piešťanoch pri Dome pionierov a mládež, vo februári 1962 pri Krajskej hvezdárni v Prešove, v máji 1963 v Košiciach pri Technickom múzeu, v júni 1963 v Banskej Bystrici pri Krajskej hvezdárni, v marci 1964 pri Astronomickom úseku PKO v Bratislave a v apríli 1964 v Žiline, pri Ludovej hvezdárni mesta Žilina.

Potom ešte v marci v roku 1968 vznikla odbočka v Hurbanove pri Slovenskom ústredí amatérskej astronómie – dnes Slovenskej ústrednej hvezdárni, v máji 1971 v Tatranskej Lomnici pri Astronomickom ústave SAV.

Medzičasom zanikli odbočky v Košiciach a v Piešťanoch a po zrušení Astronomického úseku PKO v Bratislave začala odbočka od roku 2005 pracovať pri oddelení MPH AsÚ SAV v Bratislave.

Odborná činnosť sa odohráva v odborných sekciách, ktoré organizujú alebo sa podielajú na organizovaní vedeckých a odborných konferencií, seminárov, pozorovacích kampaní a expedícií, ako aj sústredení pre mladých astronómov.

V päťdesiatročnej histórii sa sekcie utvárali prirodzene podľa rozvíjajúcich sa oblastí vedy a techniky, ale najmä podľa aktivity členov, ktorí im vdýchli život. V súčasnosti máme sekcie astronomickej fotografie, medziplanetárnej hmoty, ochrany pred svetelným znečistením, slnečnú sekciu, stelárnu sekciu, sekciu zákrytov a zatmení a historickú sekciu.

V minulosti boli aktívne aj sekcia výpočtovej techniky, sekcia fotografičkej a prístrojovej techniky, ktorá má pokračovanie v súčasnej sekcií astronomickej fotografie, sekcia kozmonautiky, sekcia observačnej techniky a sekcia kozmológie a kozmogónie.

Najmä posledná z nich sa zapísala do histórie SAS organizovaním dlhoročnej súrie spoločných konferencií so Slovenskou filozofickou spoločnosťou pri SAV. Tu nie je treba zamlčať, že tieto konferencie boli reakciou oboch vedeckých spoločností na ideologickej požiadavky vytvárania správneho svetonázoru. V podstate to ale boli konferencie odborné, na ktorých filozofovia prezentovali svoje odborné pohľady na podstatu hmotného sveta, astronómovia zase na vznik vesmíru. Popri sekciách rozvíjali svoju činnosť aj dve komisie – Pedagogická

a Terminologická. Tá v spolupráci s Jazykovo-viedným ústavom Ľudovítu Štúra realizovala svoje výsledky v publikácii *Astronomická terminológia*, ktorej vydavateľom bola SÚH v Hurbanove. SAS pri SAV za tento počin získala podakovanie za *Príspevok k tvorbe slovenského jazykového korpusu*.

Odborné sekcie publikovali svoje výsledky v cirkulároch, správach a zborníkoch, obyčajne v tesnej spolupráci s odbočkami a hvezdárňami pri ktorých pôsobili. V tejto oblasti má SAS pri SAV významný podiel na tvorbe časopisu *Kozmos*, ktorý vydáva SÚH. V období, keď bol predsedom SAS pri SAV Ján Štohl, prispievala Spoločnosť na jeho činnosť aj finančne. Dnes nám SÚH poskytuje niekoľko desiatok výtlačkov zdarma. Tie potom rozdávame účastníkom Celoslovenskej olympiády, ich školám, ale aj pri rôznych verejných akciách.

2007 – Astronomická olympiáda

Tento najväčší projekt SAS sa začal realizovať po vypísaní výzvy APVV na podporu projektov zameraných na popularizáciu vedy. O organizovaní takejto súťaže sme v SAS uvažovali už predtým, a tak sme boli pripravení a získali sme grant v hodnote 2 milióny Sk na 4 roky.

Zhodou okolností sa v roku 2007 začal aj nový medzinárodný projekt Medzinárodná olympiáda z astronómie a astrofyziky (IOAA) a v prvých 4 ročníkoch slovenskí účastníci získali 2 zlaté, 1 striebornú a 2 bronzové medaily. Celkovo, vrátane roka 2019, máme 10 zlatých, 5 strieborných a 14 bronzových medailí.

Od roku 2011, po ukončení projektu APVV, sme využívali vlastné prostriedky (zmluvy na projekty s AsÚ SAV od RVS, 2% z dane). Pomáha aj SÚH v Hurbanove a sponzori – rodičia a osvetení podnikatelia. Osvietených politikov sa nájšť nepodarilo.

60 rokov činorodosti SAS pri SAV

Záujem o členstvo v SAS pri SAV od začiatku

rástol. Od roku 1960, keď mala Spoločnosť 13 členov, ich počet narásť do roku 1987 na 401. V roku 1990 začal počet členov klesať a v roku 2007 mala Spoločnosť iba 152 členov. Od vtedy však záujem o členstvo stabilne rastie, v roku 2018 mala Spoločnosť 181 členov. Významné je, že mimoriadni členovia vždy počtom výrazne prevažovali nad riadnymi členmi. To platí v podstate aj dnes, keď v roku 2018 mala Spoločnosť z SAV a vysokých škôl len 47 členov (pôvodne „riadni“ členovia).

Členstvo vznikalo vždy tam, kde vďaka osobnostiam existovala astronomická aktivita ešte pred vznikom SAS pri SAV a často siahala aj do minulosti. Pri pomeňme si aspoň niektoré z nich:

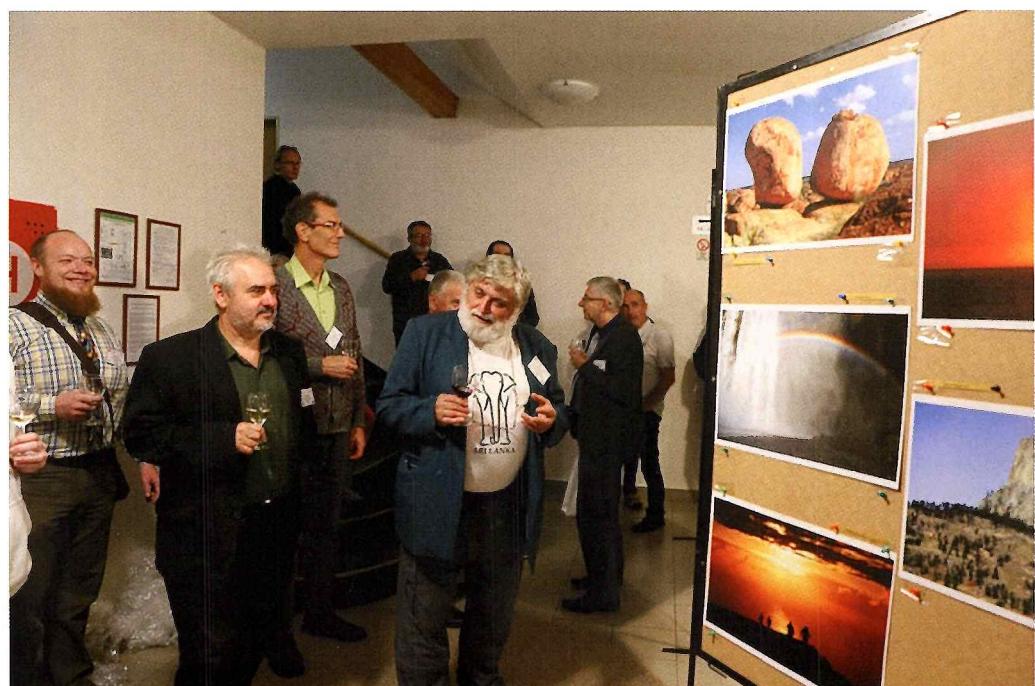
Odbočka v Košiciach pri Technickom múzeu, Pavel Adamuv, Odbočka pri Hvezdárni v Banskej Bystrici, František Longauer,

Odbočka pri Hvezdárni v Hlohovci, Elemér Csere, Odbočka pri Hvezdárni v Prešove, Imrich Szeghy, Odbočka pri Astronomickom úseku PKO v Bratislave, Kornel Bézay a Elemér Kécskei, Odbočka v Žiline pri Ludovej hvezdárni mesta Žilina, Vratislav Šrobár, Odbočka pri SÚH v Hurbanove, Mikuláš Konkoly-Thege,

Spomenút si zaslúžia aj ďalší, napríklad: Michal Havrilák, hvezdáreň v Humennom, Jozef Novotný, Adam Abrahám, LH v Leviciach, František Dojčák, Spišská Nová Ves, Ján Volkov-Starohorský, Liptovský Mikuláš, Ladislav Košinár, Senica, Ján Lačný, Žiar nad Hronom, Juraj Gömöry, Rožňava, Juraj Bardy, Považská Bystrica

Aby sme si pripominali úlohu takýchto významných osobností ešte pred érou SAS pri SAV, cena za najlepšiu populárno-vedeckú činnosť nesie od roku 2018 názov *Csereho cena Slovenskej astronomickej spoločnosti pri SAV*.

RNDr. Juraj Zverko, DrSc., SAS pri SAV



Počas vernisáže sa účastníci konferencie postupne oboznámovali s jednotlivými výstavami.

Astronomická jar a leto v Sobotišti

Letné prázdniny sú obdobím, kedy aj v slobodných hvezdárni prebieha najväčšie množstvo aktivít, aj keď tentokrát boli veľmi plodné i jarné mesiace. Z celého spektra podujatí vyberiem najúspešnejšie.

Z pohľadu milovníkov skutočnej oblohy bolo najväčším zážitkom čiastočné zatmenie Mesiaca v noci 16./17. júla. Hoci väčšina z nás videla tento úkaz už viackrát, vždy má svoj osobitný charakter. Podobne ako v júli 2018, usporiadali sme v areáli hvezdárne verejné pozorovanie tohto javu. Keďže sme predpokladali vyšší záujem verejnosti, okrem prameho sledovania cez okulár ďalekohľadu sme pripravili aj kamery s výstupom na monitor. Samozrejme, že sme využili aj viditeľnosť

dvoch najväčších planét na večernej oblohe, a tak si záujemcovia pozreli aj galileovské mesiace Jupitera i Saturnove prstence. Viac ako 100 návštěvníkov odchádzalo spoločných. Okrem popularizačnej roviny sme sa venovali snímaniu zatmenia pomocou DSLR zrkadlovky a zábery sme využili pri tvorbe zaujímavých mozaikových fotografií. Príchuť astronómie mal i seminár pre učiteľov fyziky Vanovičove dni. Konal sa v priestoroch Gymnázia L. Novomeského v Senici necelých 10 km od Slobodného, a mnohí členovia našej MO SZA sú jeho študentmi resp. absolventmi. Témam kozmonautiky a astronómie bol venovaný popoludňajší blok prvého dňa (26. 8. 2019) a exkurzia na Bradlo a do Košarísk (27. 8. 2019).



Dr. Štefeček po odhalení pamätné tabule Ladislavovi Košinárovi odovzdáva kyticu kvetov pani Olge, vďaka po L. Košinárovi.

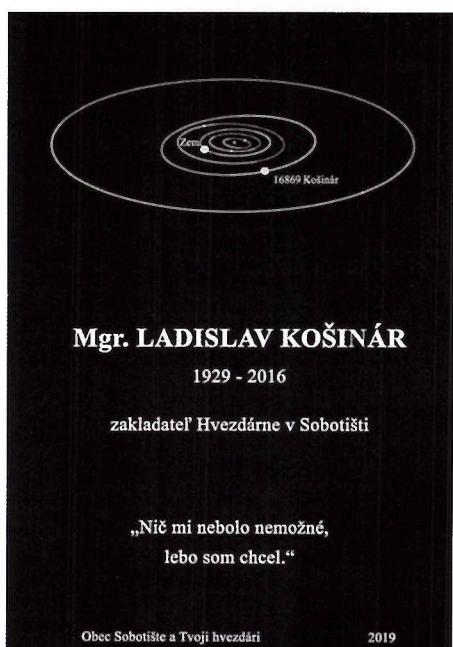


Na spomienkové stretnutie za L. Košinárom prišlo množstvo slovenských astronómov aj občanov zo Slobodného.

Veľký úspech malo i ďalšie podujatie spojené s rodičom i miestom večného odpočinku M. R. Štefánika. Turistický pochod Za Štefánikom na Bradlo (20. 7. 2019) organizujeme spolu s Klubom slovenských turistov Slobodného. Keďže išlo o 25. ročník a tento rok je navyše rokom M. R. Štefánika, rozhodli sme sa uskutočniť autobusový výlet na Bradlo a do Košarísk pre členov spoločenských organizácií pôsobiacich v našej obci. Samozrejme, skalní turisti zvolili peši presun, pripadne prišli na bicykli. Pamiatku narodenia nášho velikána sme si učili položením kyticke k mohyle a nezabudli sme si pritom spomenúť aj na človeka, ktorý stál pri zdrode tejto akcie, Mgr. Ladislava Košinára.

K osobie Ladislava Košinára, zakladateľa našej hvezdárne, sa vrátim ešte raz. Práve v tomto roku, ktorý je rokom viacerých okrúhlych výročí, by Lacko oslavil 90. narodeniny. Spomienkové podujatie k jeho nedožitému jubileu sme zorganizovali v sobotu 23. marca 2019 v spolupráci s Obcou Slobodného, Osvetovým strediskom v Senici a Trnavským samosprávny krajom. Po privítaní hostí v kultúrnom dome sa v areáli hvezdárne konal akt odhalenia pamätnej tabule. Rozmer Košinárovo ducha je na nej zvečnený v Štefánikovom motte „Nič mi nebolo nemožné, lebo som chcel“, ktoré vystihuje i životnú cestu nášho učiteľa a inšpirátora. Grafický motiv v hornej časti dosky zasa znázorňuje dráhu planétky (16869) Košinár v medziplanetárnom priestore.

Program pokračoval v dome kultúry. RNDr. Pavol Rapavý, riaditeľ Hvezdárne v Rimavské Slobode, si zaspomína na stretnutia s našim zakladateľom a prečítal i úryvky zo spomienok našich kolegov spoza rieky Moravy. Okolnosti posledného rozhovoru s L. Košinárom, ktorý po jeho smrti vyšiel v ča-



Grafické stvárnenie pamätnej tabuľe L. Košinárovi.

sopise *Kozmos*, prítomným priblížil jeho autor – predseda SAS pri SAV RNDr. Ladislav Hric, CSc. Ďalším príspevkom bola prednáška RNDr. Romana Nagya, PhD. z FMFI UK v Bratislave, zameraná na podstatu tma-vej hmoty vo vesmíre. Bodku za odborným programom akcie spravila členka našej MO ŠZA Janka Švrčková, poslucháčka MFF UK v Prahe, ktorá nám pripomenula 50 rokov od pristátia Apolla 11 na Mesiaci.

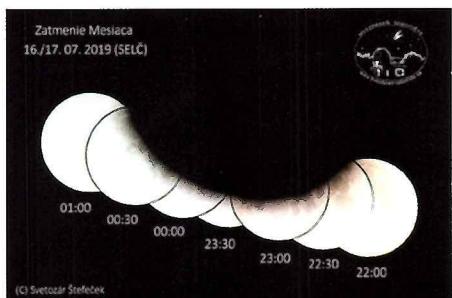
Po ukončení oficiálneho programu ešte po-kráčovali kuloárne rozhovory. Všetci zúčas-tení sa zhodli, že podujatie bolo zaujímavým a dôstojným pripomnenutím odkazu Ladislava Košinára.

RNDr. Svetozár Štefeček

FOTO - M. Nečas (1), S. Štefeček (3), L. Hric (2)



Návštěvníci hvezdárne počas zatmenia Mesiaca 16. 7. 2019.



Mozaika prechodu Mesiaca tieňom Zeme 16./17. 7. 2019.



Za Štefánikom sme podnikli výlet na Bradlo.



Účastníci „Vanovičových dní“ na výlete na Bradle.

Expedícia v Roztokoch

Po niekoľkých mesiacoch sa opäť konala na Hvezdárni v Roztokoch expedícia. Stretli sa na nej členovia astronomických krúžkov i ich „vyslúžili“ členovia – študenti vysokých škôl a pracovníci hvezdárni z Prešova a z Michaloviec s „domácimi“. Spolu sa stretlo v Roztokoch 28 pozorovateľov.

Expedícia sa konala v dňoch 9. – 11. 8. 2019. Počasie nám prialo prvú noc, kedy boli podmienky výborné. Naše tri pozorovacie skupiny získali 658 záznamov o prelete meteorov. Keďže to bolo ešte pári dní pred maximom, frekvencia Perzeid vtedy bola len okolo 20 meteorov za hodinu. Dáta z pozorovaní sme potom spracovali programom WIMPS a odoslali sme ich do centra IMO. Robili sa aj snímky nočnej oblohy a objektov vzdialého vesmíru fotoaparátmi cez dalekohľady a takisto aj samotnou zrkadlovkou na klasickom statíve. K dispozícii boli dalekohľady i na vizuálne pozorovanie objektov hviezdznej oblohy. Nízko nad južným obzorom sa stretli Mesiac s Jupiterom a opäť bol Saturn. Účastníci mali tiež bohaté športové vyžitie. Na dvoch ihriskách pri hvezdárni sa hral

futbal, florbal a plážový volejbal. Spestrením nášho pobytu bola aj putovná slovensko-poľská výstava fotografií s tematikou astronomických snímok s makro- a mikrofotografiami. Bola nainštalovaná vonku na podstienke hvezdárne a okolo kupoly. Pozreli sme si aj nový planetárny chodník predstavujúci Slnko a planéty Slnečnej sústavy, ktorý bol vybudovaný od našej poslednej návštevy v Roztokoch za hvezdárňou.

Počas expedície odznela druhý večer cestopisná prednáška „Dominikánska republika – raj v Karibiku“ doplnená prezentáciou s fotografiemi z pobytu v tejto krajine. Žiaľ, druhú noc nielen že pršalo, ale lialo a prechádzali búrky, takže na pozorovanie nebolo ani pomyslenie. Napriek tomu, že nám počasie počas druhej noci neprialo, odchádzali sme spokojní a tešíme sa na ďalšie stretnutie pod tmavou a jasou hviezdnou oblohou na Hvezdárni v Roztokoch. Toto podujatie sa uskutočnilo vďaka finančnému príspevku z Fondu na podporu kultúry.

Mgr. Roman Tomčík, Mgr. Ján Sadiv,
RNDr. Zdeněk Komárek



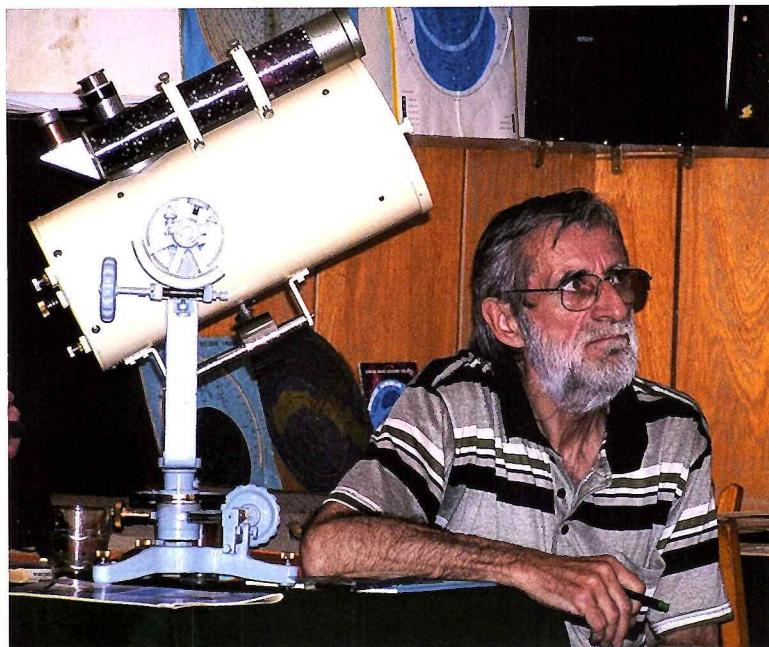
Hvezdáreň Roztoky.



Prvá noc, kedy sa nám podarilo pozorovať meteory.



Účastníci expedície Roztoky 2019.



Najlepšie mu to pristalo pri ďalekohľade.

Pavol Hazucha 80-ročný

Čas je neúprosný, ponáhla sa dopredu a takmer by som sa nestihol pristaviť pri významnom životnom milníku, keď sa priateľ mnohých priateľov pristavil na svojej ceste vesmírom, aby na chvíľu oslávил pekné jubileum, a už beží ďalej. Taký je nás Paľko a takého ho chceme stretávať ešte mnoho rokov.

Pavol Hazucha sa narodil 29. augusta 1939. Detstvo prežil v rázovitej kysuckej obci Skalité, maturoval na JSŠ v Čadci v roku 1957. Vyššiu pedagogickú školu, aprobáciu matematika a fyzika, absolvoval v rokoch 1957-1959 v Bratislave. Nastúpil na SVŠ, neskôr Gymnázium v Hlohovci, kde učil hlavne fyziku, a stal sa aj jeho dlhorčeným riaditeľom. Stále ho lákali nové poznatky, a preto ďalej externe študoval na Matematicko-fyzikálnej fakulte UK (MFFUK) v Bratislave odbor jadrová fyzika. V roku 1970 získal ďalšiu vysokoškolskú kvalifikáciu v odbore fyzika. V diplomovej práci Jadrové reakcie vo hviezdach a vývoj hviezd si splnil svoj cieľ o ďalšom prehľbení poznatkov o hviezdach.

Postgraduálne štúdium astronómie a astrofyziky absolvoval na Matematicko-fyzikálnej fakulte UK v Prahe v rokoch 1975-1977 a neskôr vykonal aj rigoróznu skúšku na MFFUK v Bratislave v roku 1983 a získal titul RNDr.

Popri pedagogickej činnosti na gymnáziu od r. 1961 aktívne spolupracoval s hvezdárňou v Hlohovci, bol externým pracovníkom na pozorovateľskom oddelení. Venoval sa štúdiu slnečnej aktivity, zakreslovaniu slnečných škvŕn, zákrytom hviezd Mesiacom a neskôr aj premenným hviezdam..

V roku 1961 bol zakladajúcim členom odbočky ČAS pri SAV a dlhorčeným tajomníkom a neskôr aj predsedom odbočky. Popri tom niekoľko rokov prednášal astronómiu na Pedagogickej fakulte v Trnave. Zároveň viedol aj

klub mladých astronómov pri Krajskej hvezdárni v Hlohovci – celých 50 rokov. Zapájal sa do organizovania astronomických súťaží, olympiad, SOČ a samozrejme veľmi aktívne popularizoval astronómiu v Západoslovenskom kraji. Bol autorom metodických materiálov, názorných pomôcok, diafilmov pre astronomické krúžky a astronomicke kabinety v každom okrese kraja, ktorých bolo v roku 1982 až vyše 400.

V roku 1970 bol aj pri zdrobe časopisu *Kozmos*. V prvých číslach uverejňoval články o jadrových reakciach vo hviezdach a vývoji hviezd, čím už vtedy dokumentoval späťosť mikrofyziky a astronómie.

Za svoju usilovnú prácu získal viaceru ocenení, spomeňme Pamätnú medailu Konkoly-Thegeho od SÚH Hurbanovo v roku 1975, Čestné uznanie s plaketou od SAS pri SAV v roku 1984, Čestné uznanie a diplom od Západoslovenského KNV za vynikajúce výsledky v pedagogickej praxi v roku 1987 a medailu „Úcta k tradíciam, zodpovednosť za budúenosť“ od VUC Trnava v roku 2006. A konečne k svojim 80. narodeninám dostal darček od SAS pri SAV, keď bol na 18. zjazde Spoločnosti zvolený za čestného člena SAS pri SAV.

Ja som ho stretol osobne na Bezovci a na Čingove a hned sme sa spriateli. Vtedy tieto semináre a letné táborov ešte organizoval nestor slovenskej astronómie Dr. E. Csere a spoločne sme získavalí cenné skúsenosti, ako organizovať astronomické akcie pre rôzne vekové kategórie. Želám Paľkovi, aby mu zdravie dovolilo rozdávať charizmu aj v ďalších rokoch a aby sme sa ešte stretávali aj na akciách, ktoré už organizujú naši bývalí študenti a pokračovatelia astronomických tradícií.

Dr. Ladislav Hric, SÚH Hurbanovo
FOTO - Ladislav Hric

XIII.

Reprezentatívne priestory kina Fontána pod stáročnými stromami piešťanského parku privítali 15. októbra to najlepšie, čo sa udialo na poli astronomického filmu za uplynulý rok. Aj 13. ročník Astrofilmu, ktorý prebehol v kúpeľnom meste Piešťany, bol vizitkou rokmi overenej kvality.

Festival sa začal utorok podvečer slávnostným otvorením. Generálny riaditeľ Slovenskej ústrednej hvezdárne v Hurbanove Marián Vidovenec privítal hostí a vyzdvihol prínos všetkých kultúrnych podujatí, ktoré si kladú za cieľ osvetliť nám cestu poznávania okolitého sveta.

Program pokračoval krstom pútavej knihy *Bačkorový astronom* uznaného českého astronóma, astrofotografa Zdeňka Bardona. Krstný otec Pavol Rapavý na krst priniesol malú nádobu so zmesou rozdrveného meteoritu, pomletého CCD čipu, starej sklenej fotoplatne so záberom Slnka, piesku z observatórií v La Palma zo severnej a La Silla z južnej pohole.

Program pokračoval moderovanou besedou. Viedla ju Mária Gallová zo Spoločnosti Milana Rastislava Štefánika, a pozvala si dvoch generálmajorov – Petra Novotnáka a Svetozára Naďoviča z Kluba generálov Slovenska. Prvým filmom bola dráma z roku 1935 *Milan Rastislav Štefánik*. Jeden z našich najvýznamnejších rodákov bol ústrednou tému celého nadchádzajúceho festivalu. Po filme sa pokračovalo slávnostnou recepciou, pripravili ju na profesionálnej úrovni študenti hotelovej akadémie v Piešťanoch. Hostia, usporiadatelia a účastníci mali príležitosť si v príjemnej atmosfére vymeniť dojmy, poznatky, alebo sa len srdečne pozdraviť. Záverom prvého dňa bolo verejné pozorovanie Saturna a Mesiaca,



prof. Zdeněk Mikulášek.



Mária Gallová a Ján Tatara.

Astrofilm 2019

ktoré zanechalo v mnohých návštěvníkoch pekný zážitok.

Druhý deň festivalu pokračoval v duchu prvého večera, pretože dva úvodné filmy boli venované jednej z najvýznamnejších postáv slovenskej štátnosti. Dokumentárne filmy z rokov 2010 a 2011 s názvami *Štefánik, príbeh hrdinu* s podtitulmi Poroba a Vlast' boli dôstojným pokračovaním festivalu. Nasledovali prvé súťažné filmy usilujúc sa získať jednu z cien – Cenu primátora Piešťan, Cenu generálneho riaditeľa SÚH a Cenu diváka Astrofilmu. Príjemným sprestrením bola prezentácia *Kozmo a jeho dobrodružstvá*, ktorú predstavila Mariana Kováčová z neziskovej organizácie Slniečko.

Vo večerných hodinách si návštěvníci vypočuli dve prednášky Zdeňka Mikuláška o umení prednesu astronomickej prednášky pre publikum. Pokračovalo sa spomienkou na veľkána slovenskej astronómie Milana Antala, dlhorčného obyvateľa Piešťan, objaviteľa takmer deväťdesiatich asteroidov. Dvanásť z nich aj pomenoval, zväčša po významných slovenských dejateliaoch. Beseda Jána Tataru s Máriou Gallovou priblížila život a prácu Milana Antala. Milou spomienkou bolo vystúpenie jeho manželky, ktorá divákom priblížila menej známe podrobnosti jeho života. Večerné prednášky uzavrel Karol Petrik s *Kozmologickými aktualitami*, ktoré spestril spevom a hrou na gitaru. Počasie tohtoročnému Astrofilmu žičilo, a odchádzajúci návštěvníci sa opäť mohli pozrieť na nebeské divadlo s hlavnými aktérmi Saturnom a Mesiacom.

Tretí deň festivalu odštartovala prednáška profesionálneho fotografa Martina Farkaša, ktorý divákom priblížil tajomstvá tvorby kvalitnej a peknej fotografie z cest. Program ďalej pokračoval premietaním súťažných filmov, po ktorých prišiel na rad ďalší z dokumen-

tov o M. R. Štefánikovi – tentoraz francúzskej provenience z roku 2009. Nasledovala prednáška riaditeľa Astronomického ústavu Slovenskej akadémie vied Petra Gömöriho o tajomstvách Slnka, ktorú vyštredala multi-mediálna prezentácia Jiřího Tesařa s názvom *Môj priateľ Milan* (Štefánik). Celý cyklus prednášok uzavrela známa a oblúbená Miriam Jarošová. Venovala sa vzťahom astronómie a meteorológie v minulosti a teraz.

Počas slávnostného ukončenia festivalu porota oznámila výsledky súťaže, na ktorej sa zúčastnilo celkovo 18 súťažných filmov, z toho 4 boli profesionálnej produkcie.

Cenu primátora mesta Piešťany Petra Jančoviča získala spoločnosť *Reef Distribution* za film *The Secrets of Gravity*.

Cenu generálneho riaditeľa SÚH si odnášajú Ján Sadiv a Pavol Filip z Hvezdárne a planetária v Prešove za film *Hladáme tmu*.

Cenu diváka tohtoročného Astrofilmu získava duo autorov Michal Vojsovič a Tomáš Fečo za film *07:21:26 na orbite*.

Dôstojným vyvrcholením festivalu bolo premetanie sci-fi drámy Ad Astra, napĺňajúcej kinosály po celom Slovensku.

Ked sa hodnotné kultúrne podujatie s dlhoročnou tradíciou uskutoční na kultúrnom mieste, vznikne krásny zážitok, ktorý si obečenstvo oblúbi a rado sa k nemu vracia. Medzinárodný filmový festival Astrofilm môžeme smelo priradiť k takýmto podujatiám. Neostáva iné ako podákovať sponzorom, partnerom aj vystavovateľom, ktorí významne prispeli k tomu, aby sa mohol uskutočniť aj tento, číslovkou azda menej oblúbený 13. ročník filmového festivalu.

Ďakujeme a tešíme sa opäť o rok!

Jozef Csipes, SÚH, Hurbanovo



Ján Sadiv.



Beseda s hostami z Klubu generálov Slovenska.



Krst knihy Bačkorový astronom.



Slávnostné otvorenie.



Večerné pozorovanie oblohy.

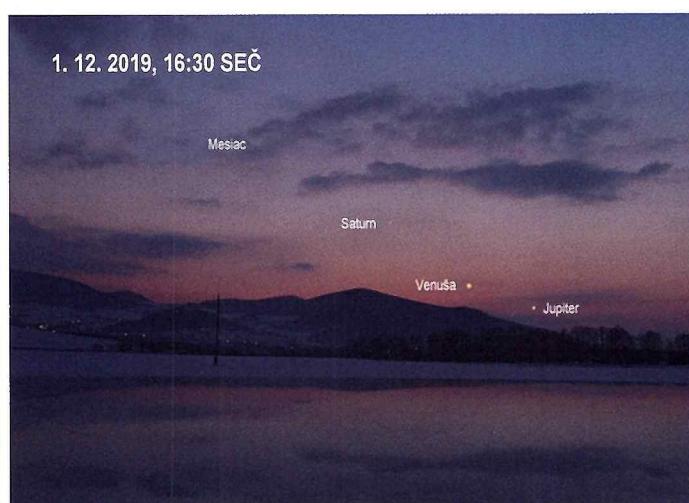
Miriam Jarošová.

December 2019 – január 2020

Všetky časové údaje sú v SEČ

Obloha v kalendári

1. 12. 2019, 16:30 SEČ



23. 12. 2019, 06:00 SEČ



Pred nami sú najdlhšie, ale aj najchladnejšie noci, no nadšencov iste neodradí ani mráz. Výborné podmienky sú na sponzorovanie Merkúra, Venuša sa opäť stáva jahavým klenotom večernej oblohy. Čaká nás pomerne výrazné polotieňové zatmenie Mesiaca, kométa PANSTARRS bude v dosahu binokulárov a solidne pozorovacie podmienky nás čakajú aj počas Kvadrantíd, prvého aktívneho roja v roku.

Planéty

Merkúr bol 28. 11. v najväčej západnej elongácii a začiatkom decembra sú teda jedny z najlepších ranných podmienok jeho viditeľnosti v tomto roku. Sklon ekliptiky k obzoru je veľký, vychádza takmer dve hodiny pred Slnkom, a tak pri jeho jasnosti $-0,6$ mag by sme ho mali nájsť bez väčších problémov. Jeho jasnosť je stabilná, na prelome posledných dekád sa dostáva nad obzor v polovici nautického súmraku. Neskôr sa uhlovo približuje k Slnku a stratí sa na svetlej oblohe. Dňa 5. 1. je od nás najďalej (1,4388 AU) a 10. 1. je v hornej konjunkcii, bude prechádzať necelé dva stupne pod Slnkom. Po konjunkcii sa presunie na večernú oblohu a uhlovo sa od Slnka vzdaluje. Podmienky na jeho sponzorovanie sa zlepšujú, koncom januára zapadne až koncom nautického súmraku ako objekt -1 mag.

Konjunkcie s Mesiacom 25. 12. aj 25. 1. budú skutočným pozorovacím orieškom, obloha bude svetlá.

Venuša ($-3,9$ až $-4,1$ mag) sa opäť stáva ozdobou večernej oblohy a jej viditeľnosť sa ešte

zlepšuje. Už od prelomu prvých decembrových dekád zapadne koncom astronomického súmraku a koncom januára dokonca viac ako 3,5 hodiny po Slnku. Začiatkom decembra jej bude robíť spoločnosť aj Jupiter a Saturn. Vzhľad Venuše v dalekohľade sa bude meniť len málo. Uhlový rozmer sa zmenší z $12''$ na $15''$ a osvetlosť jej kotúčika z 89 % na 73 %.

Dňa 29. 12. bude v konjunkcii s kosáčikom Mesiaca, no keďže tá nastáva pod obzorom, užijme si tento skvelý páru už o deň skôr, a nad obzorom si všimnime aj Saturn. Ich ďalšie fotogenické priblíženie nastane 28. 1. a triédrom, len stupeň západne od Venuše, nájdeme aj Neptún (7,9 mag) a medzi nimi aj červenkastú hviezdu φ Aqr (4,2 mag).

Dňa 11. 12. bude Venuša v konjunkcii so Saturnom, nižšie nad obzorom bude ešte jasný Jupiter; 27. 1. si určite pozrime v dalekohľade tesné priblíženie Venuše s Neptúnom, priblížia sa k sebe len na $4''$.

Mars (1,7 – 1,4 mag) nájdeme na rannej oblohe ako červenkastý, pokojne svietiaci objekt. Takmer do polovice decembra, nižšie nad obzorom, uvidíme aj Merkúr a vpravo hore im bude robíť spoločnosť modrobiela Spika. Presunie sa z Panny cez Váhy a Škorpióna do Hadonosa, uhlovo sa od Slnka vzdaluje a jeho pozorovacie podmienky sa tak zlepšujú. Kedže sa k nám priblíží z 2,3877 na 1,9481 AU, jeho jasnosť sa zvyšuje a uhlový rozmer koncom januára dosiahne $5''$; no aj to je na pozorovanie jeho albedových útvarov málo.

Dňa 23. 12. bude v konjunkcii s Mesiacom a podobná situácia sa zopakuje aj 20. 1. Janu-

árová konjunkcia je súčasťou tesnejšia, no nastáva pod obzorom a tak pri ich východe už bude ich vzdialosť väčšia.

Jupiter ($-1,8$ až $-1,9$ mag) je na večernej oblohe v Strelcovi nízko nad obzorom, zapadne pred koncom nautického súmraku. Jeho viditeľnosť sa skracuje, v polovici decembra zapadne už koncom občianskeho súmraku a v ďalších dňoch to bude stále horšie, uhlovo sa približuje k Slnku. Dňa 27. 12. je v konjunkcii so Slnkom a o dva dni skôr je od nás najďalej: 6,2129 AU. Po konjunkcii sa presunie na rannú oblohu a na prelome prvých januárových dekád vychádza začiatkom občianskeho súmraku. Ranná viditeľnosť sa zlepšuje a na konci tohto obdobia už bude ozdobou rannej oblohy nízko nad obzorom, vychádza už koncom astronomického súmraku. Triédrom v blízkosti Jupitera uvidíme jeho štyri najjasnejšie mesiace, v dalekohľade nás zaujme jeho mierne sploštený kotúčik. Výkonnejši prístroj ukáže útvary v jeho búrlivej atmosfére, medzi ktorími vynikajú tmavé rovníkové pásy. Pri dobrom načasovanom pozorovaní uvidíme aj Veľkú červenú škvru. Decembrová konjunkcia s Mesiacom nastáva v tesnej blízkosti Slnka, no 23. 1. ich už nájdeme spolu za súmraku nízko nad obzorom.

Saturn ($0,6$ mag) je v Strelcovi, nájdeme ho na večernej oblohe ako pokojne svietiaci žltkastý objekt. Jeho viditeľnosť sa však kráti a 13. 1. je v konjunkcii so Slnkom a súčasne najďalej od Zeme: 11,0165 AU. Po konjunkcii sa presunie na rannú oblohu, no lepšie podmienky budú až koncom januára, keď sa nad

Merkúr



1. 12. – 1. 1. – 1. 2.

Venuša



Mars



1. 1. 2020

Jupiter



Saturn



Urán

Neptún

30"

Prechody Veľkej červenej škvry

centrálnym poludníkom Jupitera

(Jupiterov systém II)

Dátum; čas	Dátum; čas	Dátum; čas	Dátum; čas
5.12.; 14:34	7.1.; 7:08	19.1.; 7:08	24.1.; 6:18
7.12.; 16:13	9.1.; 8:47	21.1.; 8:47	26.1.; 7:58
9.12.; 17:52	17.1.; 5:29	22.1.; 4:39	29.1.; 5:28

obzor dostane len koncom nautického súmraku. V ďalekohľade uvidíme jeho mohutné prstence, ktoré pozorujeme z ich severnej strany, pričom sú široko roztvorené. V blízkosti tejto obrej planéty nájdeme aj jeho najväčší mesiac Titan (8,9 mag) a do 11 mag aj ďalšie tri (Rhea, Tethys, Dione).

Dňa 27. 12. bude Saturn v konjunkcii s tenkým kosáčikom Mesiaca a vyššie nad obzorom im bude robiť spoločnosť jagavá Venuša. Ďalšiu konjunkciu s Mesiacom 24. 1. neuvidíme, Mesiac vychádza len krátko pred Slnkom. Užijeme si však pekné priblíženie Saturna a Venuše 11. 12., nad obzorom bude aj jasný Jupiter. **Urán** (5,7 – 5,8 mag) v juhzápadnej časti Barana je nad obzorom takmer počas celej noci okrem rána. Možnosti na jeho pozorovanie sa krátia, koncom januára zapadne o polnoci. Nachádza sa v oblasti pomerne chudobnej na hviezdy a tak sa ho môžeme pokúsiť nájsť aj bez ďalekohľadu. Na hviezdnom pozadí sa pohybuje západne, 11. 1. je v zastávke a začne sa pohybovať v priamom smere. V ďalekohľade pri dosťatočnom zväčšení ho uvidíme ako malý kotúčik s priemerom necelé 4".

Konjunkcie s Mesiacom 8. 12. a 5. 1. sú len nevýrazné vo vzdialosti okolo 5°.

Neptún (7,9 mag) v západnej časti Vodného je nad obzorom v prvej polovici noci, koncom januára zapadne už pred 20. hodinou. Na jeho

identifikáciu medzi hviezdami potrebujeme aspoň triéder; dobre sa nám to podarí koncom januára, keď bude 20' východne od φ Aqr (4,2 mag). V ďalekohľade za vhodných pozorovacích podmienok ho uvidíme ako malinký kotúčik s priemerom 2". Konjunkcie s Mesiacom 4. 12., 1. a 28. 1. nastávajú len vo vzdialnosti väčšej ako 4°, no určite si nezabudnite pozrieť skvelé priblíženie s Venušou 27. 1.

Zimný slnovrat, začiatok astronomickej zimy, nastane 22. 12. o 5:19 SEČ. Slnko vstupuje do znamenia Kozorožca, je však v súhvezdí Strelca. Kulminuje nad obratníkom Kozorožca, poludňajšia výška Slnka je najnižšia, len 18°. Počas slnovratu je deň najkratší, trvá len 8,3 h a po slnovrate sa predlžuje.

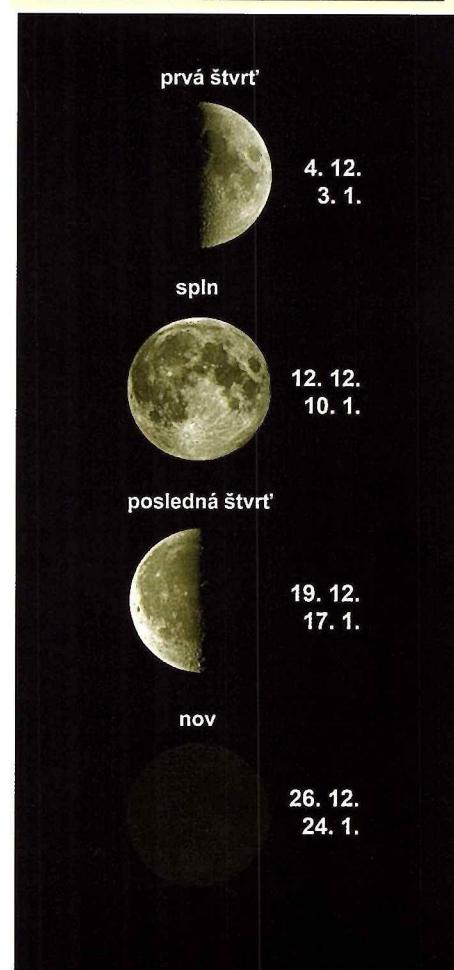
Zem v periheliu bude 5. 1. o 8:48, vzdialenosť od Slnka je najmenšia, len 0,9832 AU (147,1 milióna km) a zdánlivý uhlový priemer Slnka na oblohe najväčší (32,5'). Ak si v tento deň urobíme fotografiu Slnka dostatočne dĺhym ohnískom, môžeme porovnať zmenu jeho uhlového priemera porovnaním s fotografiou zo 4. 7., keď budeme od Slnka najďalej.

26. 12. nastane **prstencové zatmenie Slnka**, ktoré však od nás neuvidíme ani ako čiasťočné. Maximálna fáza zatmenia dosiahne 0,97 západne od Singapúru. Prstencovú fázu zatmenia bude možné z pevniny pozorovať z Bornea, Sumatre, juhu Indie a juhovýchodnej časti Arabského poloostrova.

Polotieňové zatmenie Mesiaca 10. 1. od nás uvidíme v celom priebehu. Zatmenie začne o 18:08 a skončí o 22:12 SEČ. Mierne stmavnutie juhovýchodnej časti Mesiaca si však všimneme asi až hodinu po začiatku zatmenia. Maximum zatmenia nastane o 20:10, v polotieni bude ponorený takmer celý Mesiac (fáza zatmenia 0,9), a to už bude vyzeráť akoby bola spodná časť Mesiaca mierne zadymená.

Fázy Mesiaca

nov	4.12.; 07:58	3.1.; 05:45
prvá štvrt'	12.12.; 06:12	10.1.; 20:21
spln	19.12.; 05:57	17.1.; 13:59
posledná štvrt'	26.12.; 06:13	24.1.; 22:42



Zákryty hviezd Mesiacom (december 2019 – január 2020)

Dátum	UT	f	XZ	mag	CA	PA	a	b
	h m s				°	°	s/°	s/°
5.12.	16 12 4	D	32209	4,3	+38N	13	38	145
5.12.	17 10 31	R	32209	4,3	-51N	284	146	-6
5.12.	18 26 36	D	51	4,7	+85N	60	89	30
5.12.	22 15 40	D	150	6,0	+17S	138	115	-475
9.12.	0 52 25	D	3360	6,3	+89N	64	27	-43
9.12.	20 22 41	D	4170	6,4	+62S	94	119	0
14.12.	3 36 40	R	10401	5,9	+71S	257	63	-52
14.12.	4 34 30	R	10462	6,0	+80N	286	26	-102
15.12.	3 29 13	D	12253	5,4	-82S	108	66	-89
15.12.	4 37 52	R	12253	5,4	+89N	281	47	-91
18.12.	22 43 21	D	17633	4,2	-67S	136	7	5
18.12.	23 35 57	R	17633	4,2	+64S	267	20	95
30.12.	16 53 43	D	30502	6,6	+43N	26	22	41
6.1.	18 33 46	D	4670	6,5	+41N	24	47	166
9.1.	1 23 46	D	7286	6,3	+70N	64	49	-38
9.1.	16 57 36	D	8918	2,8	+71N	71	12	104
9.1.	17 58 53	R	8918	2,8	-90N	270	44	79

Predpovede sú pre polohu $\lambda_0 = 20^\circ$ E a $\phi_0 = 48,5^\circ$ N s nadmorskou výškou 0 m. Pre konkrétnu polohu sa čas počíta zo vztahu $t = t_0 + a(\lambda - \lambda_0) + b(\phi - \phi_0)$, kde koeficienty a, b sú uvedené pri každom zákryte.

UT = čas zákrytu vo svetovom čase; f = typ úkazu: D – vstup, R – výstup; XZ = číslo hviezdy v katalógu XZ (katalóg hviezd do $\pm 6^\circ 40'$ od ekliptiky); mag = jasnosť hviezdy; CA = uhol meraný od severného (N) alebo južného (S) rohu Mesiaca k hviezde; PA = pozičný uhol meraný od severného okraja Mesiaca v kladnom smere.

Pri decembrovej aj januárovej prvej štvrti bude Mesiac len krátko pred odzemím a jeho uhlový rozmer bude najmenší, len 29,3'. Posledná štvrt 19. 12. však bude len deň po odzemí a v tomto prípade dosiahne zdánlivý uhlový priemer Mesiac 32,7'. Porovnaním fotografií získame pekné porovnanie zmeny zdánlivého uhlového rozmeru Mesiacu.

Trpasličie planéty

Trpasličie planéty počas týchto dvoch mesiacov neuvidíme, obe najjasnejšie budú v konjunkcii so Slnkom.

(134340) **Pluto** (14,4 mag) v Strelcovi zapadá vo večerných hodinách. Uhlovo sa približuje k Slnku a 13. 1. je s ním v konjunkcii.

(1) **Ceres** (9,1 – 8,8 – 9,0 mag) sa koncom januára presunie zo Strelca do Kozorožca. Je uhlovo blízko Slnka, 13. 1. sa presunie len 4° popod Slnko a bude teda prakticky nepozorovateľná.

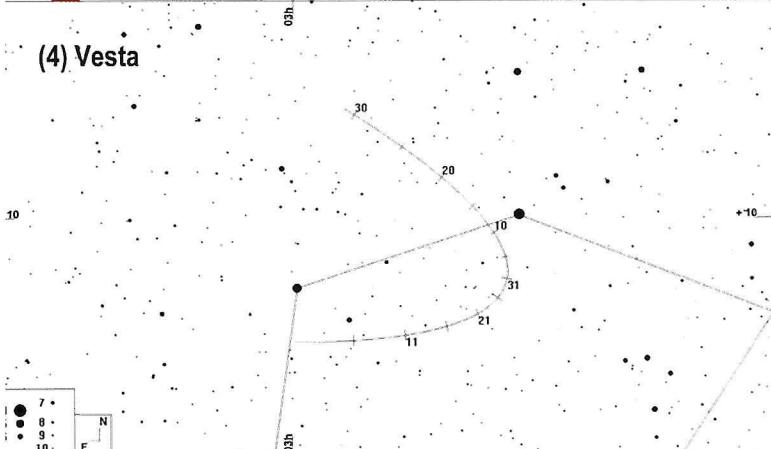
Asteroidy

V opozícii budú jasnejšie ako 11 mag: (97) Kloko (2.12.; 9,9 mag), (28) Bellona (10.12.; 10,4 mag), (132) Aethra (14.12.; 11,0 mag), (69) Hesperia (30.12.; 10,4 mag), (563) Suleika (24.12.; 10,7 mag), (144) Vibilia (3.1.; 11,0 mag), (389) Industria (2.1.; 11,0 mag), (192) Nausikaa (9.1.; 10,0 mag), (511) Davida (15.1.; 9,5 mag), (63) Ausonia (18.1.; 11,0 mag), (5) Astraea (21.1.; 8,9 mag), (230) Athamantis

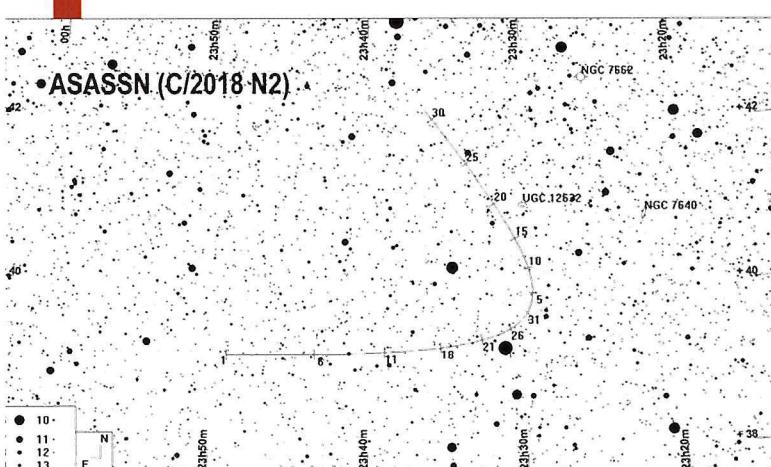
Efemerida asteroidu (4) Vesta

Dátum	RA(2000)	D(2000)	mag	el.
1.12.	02h59,9m	+08°01,5'	6,8	155,2
6.12.	02h55,9m	+08°02,9'	6,9	149,6
11.12.	02h52,5m	+08°08,0'	7,0	144,0
16.12.	02h49,8m	+08°16,7'	7,1	138,5
21.12.	02h47,7m	+08°28,9'	7,2	133,1
26.12.	02h46,4m	+08°44,5'	7,3	127,9
31.12.	02h45,8m	+09°03,2'	7,4	122,8
5.1.	02h45,9m	+09°24,8'	7,5	117,9
10.1.	02h46,6m	+09°48,9'	7,6	113,2
15.1.	02h48,1m	+10°15,3'	7,7	108,6
20.1.	02h50,1m	+10°43,7'	7,8	104,2
25.1.	02h52,7m	+11°13,7'	7,8	99,9
30.1.	02h55,9m	+11°45,2'	7,9	95,7

(4) Vesta



ASASSN (C/2018 N2)



(23.1.; 10,4 mag), (139) Juewa (28.1.; 11,0 mag). Najjasnejším asteroidom je (4) Vesta, ktorá je po opozícií a tak sa možnosti jej pozorovania skracujú. Začiatkom decembra je vo Veľrybe, kulminuje 2 h pred polnocou, koncom januára zapadne hodinu po polnoci. 3. 1. je v závrate a začne sa na hviezdnom pozadí pohybovať v priamom smere. Dňa 5. 1. večer bude stupeň pod Mesiacom a 10. 1. ju nájdeme len 0,5° juhovýchodne od μ Cet (4,3 mag).

(10) Hygiea (10,4 – 11,4 mag) a (88) Thisbe (10,9 – 12,3 mag) sa budú presúvať popod Plejadami.

Kométy

Kométa PANSTARRS (C/2017 T2), ktorá príjemne zjasňuje, bude pekným vianočným darčekom pre tých, ktorí obľubujú kométy. Počas celého tohto obdobia je cirkumpolárna a bude v dosahu silnejších binokulárov.

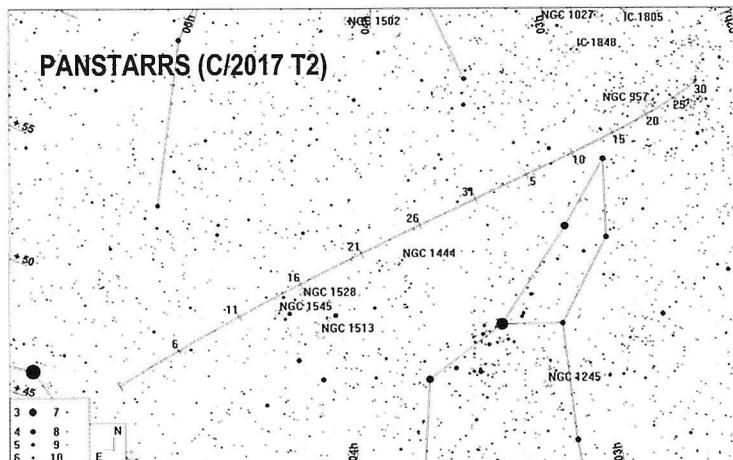
Efemerida kométy PANSTARRS (C/2017 T2)

Dátum	RA(2000)	D(2000)	mag	el.
1.12.	04h56,3m	+46°19,1'	10,0	154,6
6.12.	04h44,3m	+48°10,6'	9,9	154,2
11.12.	04h30,9m	+49°55,6'	9,7	152,0
16.12.	04h16,2m	+51°31,1'	9,6	148,3
21.12.	04h00,5m	+52°54,7'	9,5	143,6
26.12.	03h44,5m	+54°05,2'	9,4	138,3
31.12.	03h28,5m	+55°02,4'	9,4	132,8
5.1.	03h13,2m	+55°47,4'	9,3	127,2
10.1.	02h59,1m	+56°22,1'	9,2	121,6
15.1.	02h46,4m	+56°49,1'	9,2	116,2
20.1.	02h35,3m	+57°11,1'	9,1	111,0
25.1.	02h26,1m	+57°30,7'	9,1	106,1
30.1.	02h18,6m	+57°50,3'	9,0	101,5

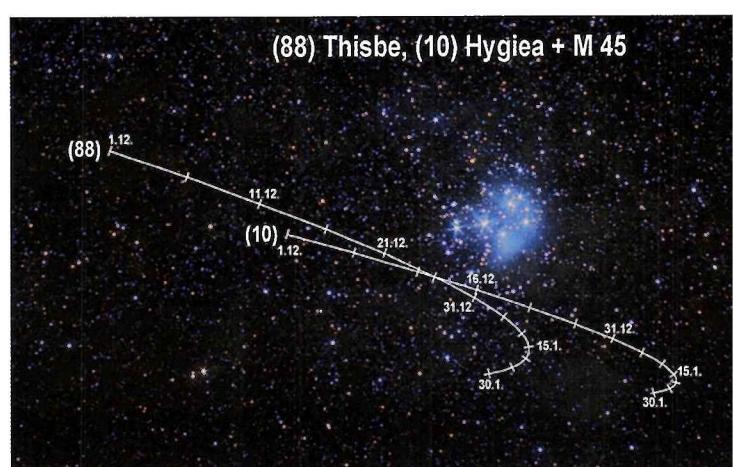
Efemerida kométy ASASSN (C/2018 N2)

Dátum	RA(2000)	D(2000)	mag	el.
1.12.	23h49,0m	+39°09,0'	11,5	119,3
6.12.	23h43,4m	+39°10,1'	11,5	114,4
11.12.	23h38,9m	+39°11,8'	11,6	109,8
16.12.	23h35,4m	+39°15,1'	11,7	105,2
21.12.	23h32,8m	+39°20,5'	11,7	100,8
26.12.	23h30,9m	+39°28,6'	11,8	96,6
31.12.	23h29,9m	+39°39,9'	11,9	92,5
5.1.	23h29,5m	+39°54,6'	11,9	88,6
10.1.	23h29,7m	+40°12,9'	12,0	84,9
15.1.	23h30,5m	+40°34,9'	12,0	81,3
20.1.	23h31,9m	+41°00,6'	12,1	77,9
25.1.	23h33,6m	+41°30,1'	12,2	74,6
30.1.	23h35,9m	+42°03,3'	12,2	71,5

PANSTARRS (C/2017 T2)



(88) Thisbe, (10) Hygiea + M 45



Prechádza v blízkosti viacerých otvorených hviezdochôp a koncom januára bude len polstupňa od krásnej dvojitej otvorenej hviezdochopy χ a h v Perzeovi.

ASASSN (C/2018 N2) sa od nás vzdala a tak mierne slabne, v januári sa dostane pod 12 mag. Je taktiež cirkumpolárna a medzi hviezdami v Andromede opíše elegantný oblúk.

Koncom augusta objavil na Kryme G. Borisov objekt s jasnosťou 17,8 mag, pôvodne označený ako kométa C/2019 Q4 (Borisov). Už predbežné určenie dráhy však poukazovalo na veľmi neobvyklú dráhu s excentricitou 3,3. Jedná sa tak o prvú pozorovanú kométu, ktorá sa dostala do Slnečnej sústavy z medzhviezdneho prostredia, z blízkosti galaktického rovníka, pravdepodobne od dvojhviezdejnej sústavy červených trpaslíkov Kruger 60 v súhvezdí Cefeus. Objekt bol následne premenovaný na 2I/Borisov (I = interstellar). Perihéliom

prejde 8. 12. a najbližšie k Zemi (1,9269 AU) bude 28. 12. V dosahu ďalekohľadov bude snáď až do októbra (~24 mag), no jeho jasnosť v maxime okolo polovice decembra 2019 dosiahne len 15,3 mag. (Viac informácií nájdete v článku *J. Svoreňa na s. 3.*).

Meteory

V činnosti je viacero slabších rojov, no toto obdobie je medzi meteorármi veľmi obľúbené, nakoľko sú v činnosti dva z najaktívnejších pravidelných meteorických rojov, Geminidy a Kvadrantidy.

Maximum Geminíd nastane 14. 12., no pozorovanie bude rušíť Mesiac len krátko po splne. Aktivita Geminíd je však vysoká, vlane dosiahla prepočítaná zenitová frekvencia (ZHR) 155 meteorov za hodinu. Aj napriek presvetlenej oblohe teda uvidíme dostatok meteorov. Dobré podmienky budú počas maxima vianoč-

Objekty pod lupou

NGC 604 – objekt v objekte

Ked' dalekohľadom pozorujeme hviezdy, hviezdomupy a hmloviny, takmer vždy ide o objekty našej Galaxie. Aj keď iné galaxie tiež obsahujú tieto typy objektov, väčšinou sú pridaleko na to, aby sa dali rozlíšiť amatérskymi prístrojmi. Cudzie galaxie, hoci zložené z množstva hviezd, hmlovín a hviezdomopov, preto pozorovatelia berú ako jeden celok. Výnimky sa však nájdú, a to práve medzi najmasívnejšími objektmi v našich najbližších galaxiach.

Typickým príkladom galaxií, v ktorých možno poľahky vidieť ich vlastné hmloviny a hviezdomupy, sú Magellanove mraky. Objekt v objekte však môžu majitelia minimálne 10-cm prístrojov pozorovať aj zo Slovenska, a to práve v tomto období. Nachádza sa v známej galaxii M 33 (Veľká hmlovina v Trojuholníku), ktorá je, rovnako ako Magellanove mraky, členom Miestnej skupiny galaxií, a teda jednou z našich najbližších. Je dostatočne veľká a jasná na to, aby jej útvary mohli byť skatalogizované. Niektoré majú aj čísla NGC katalógu. Sedem z nich je v dosahu 20-cm dalekohľadu. A najjasnejším je veľká oblasť búrlivého zrodu hviezd NGC 604. Na obrázku ju vidíme na snímke z legendárneho Hubblovho vesmírneho dalekohľadu. Na rozdiel od ostatných hviezdotvorných oblastí v M 33, túto uvidíme aj keď nie je absolútна tma, napríklad pri slabom svite Mesiaca. V menšom amatérskom dalekohľade vyzerá ako slabá hviezdička, no zároveň najnápadnejšia oblasť galaxie hned po jej jadre. Vo väčšom prístroji sa javí ako široký jasný uzol vzdialenosť 12' od jadra na okraji jej spirálového ramena. Má uhlový priemer 50'', podľa iného zdroja v dlhšom rozmere až 114''. V 20-cm dalekohľade už pri pomína hmlistú škvruňku. Väčšie zväčšenia ukážu aj jej žilkovanú štruktúru. 40-cm dalekohľadom vidieť, že od NGC 604 sa tiahne reťaz siedmich zhustení. Pozorovatelia opisujú jej tvar ako štvorcový. Jej jas je sústredený skôr pri okrajoch ako v strede.

Je to najväčšia oblasť ionizovaného vodíka v M 33, jeden z najväčších známych objektov tohto typu vôbec a druhá najväčšia takáto oblasť v Miestnej skupine galaxií. Má priemer približne 1 500 svetelných rokov, čím prevyšuje všetky hviezdotvorné oblasti v Galaxii. Je to niekoľko desiatok krát väčší priemer ako má známa hmlovina M 42 v Orióne. NGC 604 je porovnatelná s najväčšou znáomou hviezdotvornou oblasťou Miestnej skupiny galaxií, s hmlovinou Tarantula vo Veľkom Magel-

lanovom mraku. Kedysi obsahovala dostatok hmoty na utvorenie celej guľovej hviezdomupy. Zaujímavé je, že jej stredom prechádza stena pomerne chladného plynu. Informácie z oblastí zahalených prachom získaval infračervené kozmické dalekohľady Spitzer, Herschel a röntgenové observatórium Chandra.

Hmlovina NGC 604 obsahuje priestranné bubliny a dutiny. Ani tie však nie sú prázdné – vyplňa ich riedky, ale horúci plyn emitujúci röntgenové žiarenie. Dutiny na východnej strane hmloviny sa zdajú byť staršie, vytvorené pomocou supernov. Niektoré novovzniknuté hviezdy boli totiž také hmotné, že už v kolíske prešli celým vývojom a skončili ako supernovy ešte pred ukončením hviezdotvorby a rozptýlením svojej zárodočnej hmloviny. Zostávajúci plyn tejto emisnej hmloviny svieti po excitácii molekúl vplyvom UV žiarenia z centrálnej hviezdomupy, ktorú skúmala družica Herschel. Hviezdomupa obsahuje najmenej 200 hviezd a začala vznikať približne pred 3 – 4 miliónmi rokov. Jej najhmotnejšie objekty presahujú 100-násobok hmotnosti Slnka. Asi 8% z celkovej hmoty hviezdomupy predstavujú objekty, ktoré sa práve na hviezdy menia. Zdá sa, že proces ich tvorby nie je plynulý, ale odohráva sa skôro v časovo oddelených epizódach. Hviezdy tejto hviezdomopy sú natoľko masívne a svietivé, že väčšinou žiaria v ultrafialovej oblasti spektra. Vo viditeľnom spektre sú preto menej výrazné.

(Úryvok z prípravovaného encyklopédického sprievodcu nočnou oblohou Súhvezdia od Andromedy po Žirafu. Vydáva SÚH v roku 2020)

Jana Plauchová, Krajská hviezdarň a planetárium Maximiliána Hella v Žiari nad Hronom
FOTO – NASA and The Hubble Heritage Team (AURA/STScI)



Po takmer dvoch rokoch a 11 dieloch seriálu JAV pre základné školy sme sa rozhodli ho ukončiť. Predložený materiál pokladáme za dostatočný na demonštráciu toho, že aj matematický aparát a vedomosti druhého stupňa ZŠ postačujú na objasnenie mnohých základných a zaujímavých astronomických výpočtov a úloh, z ktorých boli uvedené len niektoré.

Matematika na strednej a vysokej škole značne rozširuje diapazón riešiteľných astronomických úloh. Keďže na ďalší postup vo výklade by sme potrebovali používať goniometrické, exponenciálne funkcie a logaritmy, ktoré sú momentálne učivom strednej školy, nemôžeme pri danom rozsahu strán pokračovať v ďalšom výklade. Popri tom by bolo potrebné pridať aj poznatky z fyziky, astrofyziky, astronómie, chémie a mnohých ďalších vedných odvetví. Na tento účel by bolo potrebné vytvoriť základnú učebnicu astronómie, ktorá v dnešnej dobe, žiaľ, nie je na našom trhu dostupná. Na pokračovanie v štúdiu astronómie môžeme odporučiť niektoré knihy z českého vydavateľstva MATFYZPRESS. Sú však určené najmä poslucháčom vysokých škôl a nenahradzajú učebnicu astronómie, vytvorenú na základoch učiva pre základné a stredné školy.

V tomto diele už nebudem pokračovať v ďalšom výklade, pridáme len niekoľko príkladov v rámci opakovania.

Príklady Venuša:

Siderická obežná doba Venuše je $P_v = 224,7$ dňa. Kedý sa opäť dostane do najväčšej východnej elongácie, ak v nej bola naposledy 17. augusta 2018 o 17:59 LSEČ (podľa Astronomickej ročenky 2018)?

K tomu, aby sme odhadli, kedy sa Venuša opäť dostane do najväčšej východnej elongácie, musíme vypočítať jej synodickú obežnú dobu, ktorú k predošlému dátumu pripočítame. Pre zjednodušenie pritom predpokladajme, že Venuša sa pohybuje po kružnici.

Na to použijeme vzťah $\frac{360^\circ}{P_v} = \frac{360^\circ}{S_v} + \frac{360^\circ}{P_z}$ (JAV 6). Po ekvivalentných úpravách dostaneme vzťah $S_v = \frac{P_v P_z}{P_v - P_z}$, z ktorého po dosadení dostávame $S_v = \frac{365,25 \cdot 224,7}{365,25 - 224,7} = 583,9322$ dňa. Ak sme správne pripočítali (a premieňali) nezabúdajúc na to, že rok 2020 je rokom priestupným, výšlo nám, že Venuša bude opäť v najväčšej východnej elongácii 23. marca 2020 o 18:21 h. Napriek zjednodušaniu a zaokruhľovaniu sme sa oproti údaju v Astronomickej ročenke 2020 (24. marec 2020 o 00:25 SEČ) odchýlili len o 6 hodín a 4 minúty.

Vypočítajte, aká bude vzdialenosť Venuše a Zeme v tento deň. Zem, Slnko a Venuša budú vytvárať pravouhlý trojuholník s pravým uhlom vo Venuši. Pre zjednodušenie pritom predpokladajme, že Zem aj Venuša sa okolo Slnka pohybujú po kružničiach.

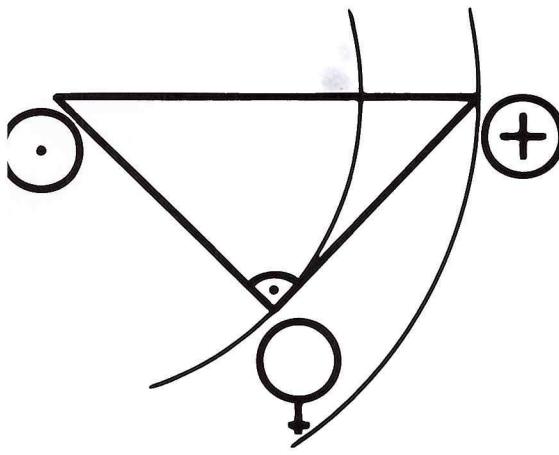
Aby sme mohli vzdialenosť vypočítať musíme zistíť vzdialenosť Venuše od Slnka pomocou 3. Keplerovho zákona (JAV 2): $\frac{P_z^2}{P_v^2} = \frac{a_z}{a_v^2}$

Po dosadení siderickej obežnej doby Venuše (P_v) a údajov Zeme ($P_z = 365,25$ dňa a vzdialenosť $A_z = 1$ AU) dostávame $\frac{224,7^2}{365,25^2} = \frac{a_v}{a_z^2}$. Po odmocnení dostaneme $a_v = 0,723\,339$ AU. Oproti tabuľkovo udávanej hodnote (0,723 332 AU) sme sa odchýlili len veľmi málo.

Teraz už môžeme pre výpočet vzdialenos-

Jednoduché astronomické výpočty

12. diel



ti Venuše od Zeme použiť Pytagorovu vetu (JAV 3) $a^2 + b^2 = c^2$. Po dosadení ($c = 1 \text{ AU}$, $a = 0,723 \text{ AU}$) a ekvivalentných úpravách dostávame, že $b = 0,691 \text{ AU}$.

Vypočítajme, aká bude obežná rýchlosť Venuše (v_v) okolo Slnka (predpokladajme, že sa pohybuje po kružnici $r_v = a_v$). Postupujeme pritom obdobne ako v JAV 5. Obvod obežnej dráhy Venuše o_v vypočítame podľa vzorca $o_v = 2\pi r_v = 2\pi \cdot 0,723 \cdot 150\ 000\ 000 = 681\ 066\ 000 \text{ km}$.

Dosadíme do vzťahu pre výpočet rýchlosťi $v_v = \frac{o_v}{P_v}$ (siderickú obežnú dobu Venuše samozrejme premeníme na sekundy) a ak sme správne počítali dostávame hodnotu $v_v = 35,08 \frac{\text{km}}{\text{s}}$. Od tabuľkovej hodnoty ($35,02 \frac{\text{km}}{\text{s}}$) sme sa napriek zaokrúhlovaniu a zjednodušeniu odchýlili len minimálne.

Vypočítajme, kolko bude na Venuše trvať stredný slnečný deň (D_s), keď hviezdny deň (D_h) na Venuše trvá 243,025 dňa, pritom vieme, že Venuše má retrográdnu rotáciu (teda proti smeru svojej rotácie okolo Slnka). Použijeme pritom vzorec $\frac{D_s}{D_h} = \frac{1}{D_h} + \frac{1}{D_s}$. Avšak nakoľko ide o retrográdnu rotáciu, dosadíme za D_h hodnotu -243,025 dňa. Po úpravách dostávame, že stredný slnečný deň na Venuše trvá 116,752 dňa.

Príklady Merkúr:

Skúste to porovnať s dĺžkou stredného slnečného dňa na Merkúre, ak vieme, že jeho obeh okolo Slnka trvá približne 88 dní, pričom vieme, že jeho rotácia je voči dobe jeho obehu v rezonancii 3:2 (okolo svojej osi sa otočí 3-krát, kým okolo Slnka obehne 2-krát).

Môžeme postupovať logickou úvahou, že planéta musí urobiť za svoj obeh okolo Slnka o jednu otočku viac oproti počtu svojich otočiek vzhľadom na Slnko (podobne ako to bolo v JAV 10 pri Zemi). Dostaneme, že sa Merkúr počas jedného obehu okolo Slnka vzhľadom na Slnko otočí len $\frac{3}{2} - 1 = 1,5 - 1 = 0,5$ -krát. Znamená to, že stredný slnečný deň na Merkúre bude trvať dva merkúrske roky, teda 176 dní.

Prípadne môžeme vypočítať dĺžku hviezdnego dňa na Merkúre z rezonancie, teda $88 \cdot \frac{2}{3} = 58\frac{2}{3}$ dňa. Po dosadení do predošlého vzorca a ekvivalentných úpravách dostávame,

že stredný slnečný deň na Merkúre trvá 176 dní. Napriek zaokrúhlovaniu sme sa od tabuľkovej hodnoty (175,97 dňa) opäť odchýlili len veľmi málo. Stredný slnečný deň na Venuše je teda kratší ako na Merkúre.

Merkúr bude v periheliu 5. januára 2020. Vypočítajme veľkú polos (a) a excentricitu (e) dráhy Merkúra, ak približne vieme, že jeho periheliová vzdialenosť $q = 0,3075 \text{ AU}$ a afeliová vzdialenosť $Q = 0,4667 \text{ AU}$. Postupujeme pritom podľa vzorcov z JAV 4. Vieme teda, že $q + Q = 2a$. Po sčítaní a predelení dostaneme, že $a = 0,3871 \text{ AU}$.

Excentricitu (e) môžeme odvodiť a vypočítať napr. zo vzťahu $q = a - a \cdot e$.

Po ekvivalentných úpravách dostaneme $e = \frac{a-q}{a}$. Po dosadení vypočítame, že $e = 0,2056$.

Opäť vidíme, že oproti tabuľkovým hodnotám ($a=0,387\ 098 \text{ AU}$ a $e=0,205\ 631$) sme sa odchýlili minimálne.

Príklad planétka:

Predstavme si planétku (asteroid) s veľkou polosou dráhy $a = 5 \text{ AU}$ a excentricitou $e = 0,2$. Vypočítajte rozdiel jasnosti planétky, ak je práve v opozícii, príčom v jednom prípade je súčasne v afeliu svojej dráhy, a v druhom prípade v periheliu svojej dráhy.

Periheliová vzdialenosť $q = a(1 - e)$ a afeliová vzdialenosť $Q = a(1 + e)$ (JAV 4).

Súčasne ak je planéta v opozícii, vzdialenosť od Zeme je $L_q = q - 1$ v prípade, ak je planéta v periheliu, a $L_Q = Q - 1$ v prípade, že je v afeliu. Dráhu Zeme považujeme za kruhovú. Osvetlenie asteroidu Slnkom v prvom prípade je $E_q = \frac{E_0}{q^2}$ a osvetlenie plochy kolmej na svetelné lúče z asteroidu na Zemi je potom $E_q = \frac{E_0}{L_q^2}$; obdobne pre prípad afeliovej opozície je $E_Q = \frac{E_0}{Q^2}$ a $E_{ZQ} = \frac{E_0}{L_Q^2}$. Po dosadení dostávame osvetlenie tejto plochy na Zemi

$$E_{Zq} = \frac{\frac{E_0}{q^2}}{\frac{L_q^2}{q^2}} = \frac{E_0}{(q \cdot L_q)^2} = \frac{E_0}{[a(1-e) \cdot (a(1-e)-1)]^2},$$

podobne pre opozíciu v afeliu dostaneme

$$E_{ZQ} = \frac{\frac{E_0}{Q^2}}{\frac{L_Q^2}{Q^2}} = \frac{E_0}{(Q \cdot L_Q)^2} = \frac{E_0}{[a(1+e) \cdot (a(1+e)-1)]^2}.$$

Ak dáme do pomery E_{Zq} a E_{ZQ} , dostaneme

$$\frac{E_{Zq}}{E_{ZQ}} = \left(\frac{a(1-e)}{a(1+e)} \right)^2 = \left(\frac{30}{12} \right)^2 = 2,5^2 = 6,25,$$

po dosadení

$$\frac{E_{Zq}}{E_{ZQ}} = \left(\frac{5,1,2, (5,1,2-1)}{5,0,8, (5,0,8-1)} \right)^2 = \left(\frac{30}{12} \right)^2 = 2,5^2 = 6,25,$$

čomu zodpovedá rozdiel asi 2 magnitúdy (lebo $2,512^2 = 6,31$). Hodnotu môžete odčítať aj na grafe v 7 diele JAV. Presná hodnota je 1,99 mag. Planétka v opozícii, ak je v periheliu, je asi o 2 magnitúdy jasnejšia ako tá istá planétka v opozícii, ak je v afeliu svojej dráhy.

Príklad Mesiac:

Dráha Mesiaca je sklonená k ekliptike (obežnej dráhe Zeme okolo Slnka) asi o 5 stupňov. Zemský rovník je sklonený o 23,5 stupňa voči ekliptike. Vakej najväčšej a najmenšej výške nad obzorom môže kulminovať Mesiac v mieste so zemepisnou šírkou φ ? V 10. diele JAV sme sa zaoberali súradnicami a výškou kulminácie telies.

Zvážme, aká je najmenšia a najväčšia možná deklinácia Mesiaca. Kedže ekliptika je sklonená voči rovníku Zeme o $23,5^\circ$, jej najmenšia deklinácia je $-23,5^\circ$ a najväčšia $+23,5^\circ$. Kedže Mesiac sa pohybuje okolo Zeme po dráhe sklonenej k ekliptike o 5° , potom najmenšia možná deklinácia Mesiaca bude $\delta_{\min} = -23,5 - 5 = -28,5$ stupňa a najväčšia $\delta_{\max} = 23,5 + 5 = 28,5$ stupňa. Výška kulminujúceho telesa nad južným obzorom (pre pozorovateľa na severnej pologuli) je $h = 90 - \varphi + \delta$. Pre Mesiac nad Bratislavou ($\varphi = 48,1^\circ$) teda bude platiť $h_{\min} = 90 - \varphi + \delta_{\min}$ a $h_{\max} = 90 - \varphi + \delta_{\max}$. Po dosadení je to $h_{\min} = 13,4^\circ$ a $h_{\max} = 70,4^\circ$.

Na záver vám obaja autori, ktorí spoločne pripravovali tento seriál o jednoduchých astronomických výpočtoch, želajú veľa radosťi z teoretického aj praktického poznávania vesmíru.

Peter Dolinský, Eduard Kočí

