



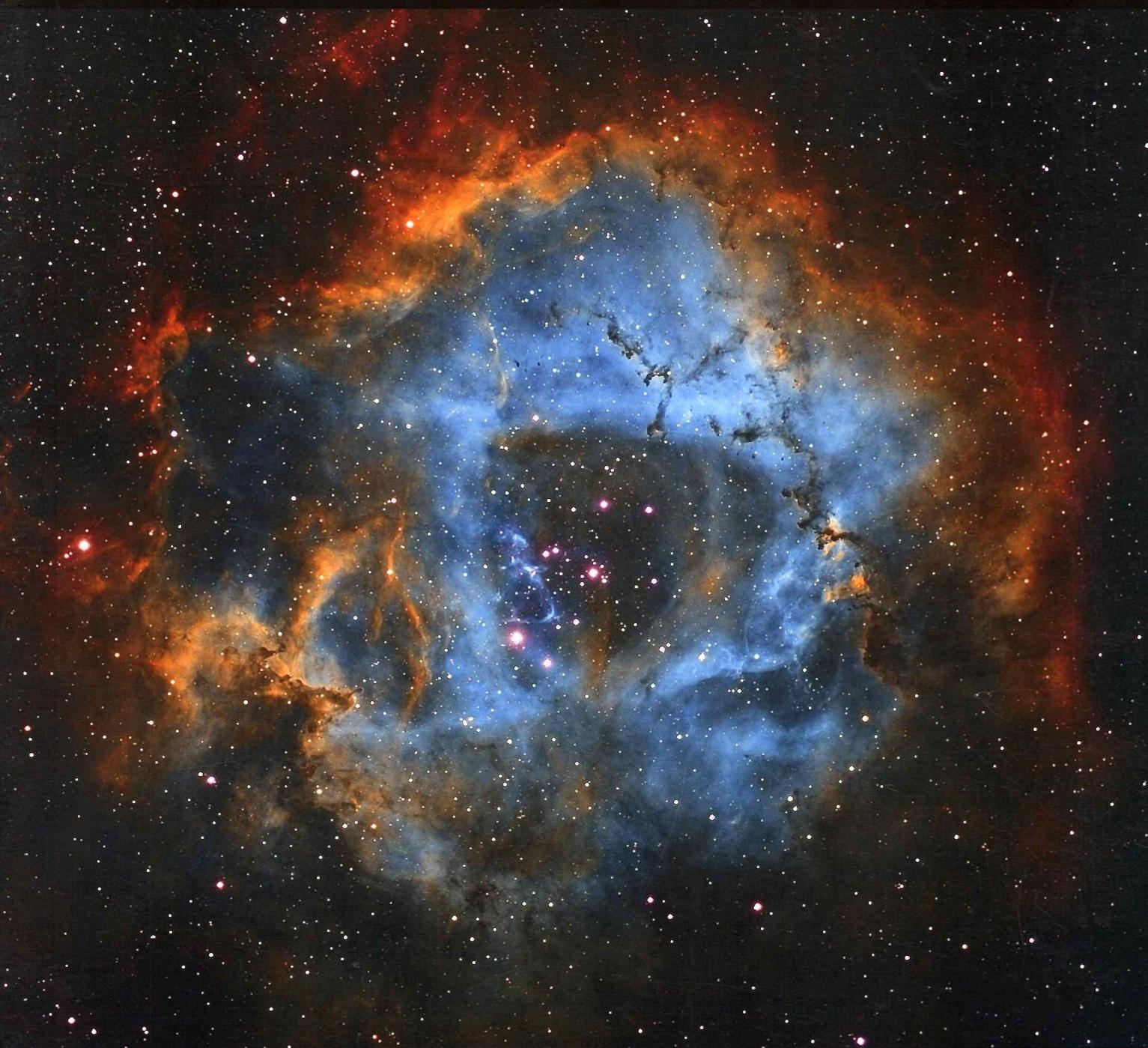
Číslo 3

jún - júl 2018

Ročník 49

Cena 2,40 €

KODAKOS



- Baktérie v asteroidoch?
- Žijeme v holograme?
- Modrá planéta vysychá!



Na obálke vpredu:  
Michal Bouček

### NGC2237 (HST paleta).

Fotografované 3. 12. 2016, 18.1. 2017, 13.2. 2017, 15.2. 2017, v Písku. Prístroje: Borg 101 ED F4, CCD Atik One 6.0, filtre Baader, montáž HEQ5 PRO, pointácia Sky-Watcher 80/400 a QHY5. Expozícia: Ha- 168 min, OIII - 195 min, SII - 360 min. Fotografiu v kategórii Astronomické snímky - Astromaster ocenili 1. miestom.



Na obálke vzadu:

Ako našu Zem objavia, zmapujú a budú vnímať mimozemšťania? Máme sa snažiť, aby k „stretnutiam tretieho druhu“ došlo čo najskôr, aj s našim pričinením, alebo sa pred mimozemšťanmi treba skrývať? Bez ohľadu na to, či budú agresívnymi voträlcami, alebo dobrými ET? V seriáli, ktorý začneme uverejňovať v budúcich číslach Kozmosu, sa nad podobnými otázkami zamyslí doktor Milan Rybanský.

Snímkou Zeme z obežnej dráhy Mesiaca urobila sonda NASA Lunar Reconnaissance Orbiter.

## HLAVNÉ AKTUALITY

Jupiter: výskum najmohutnejších búrok v Slnečnej sústave

Ján Svoreň

s. 3-6

Priniesli život na Zem meteority?

Ján Svoreň

s. 7-9



## SLNEČNÁ SÚSTAVA

Tajomstvo lávového jazera Loki Patera

Bild der Wissenschaft 2017/11 E.G.

s. 22-23

Našli asteroid bohatý na uhlič

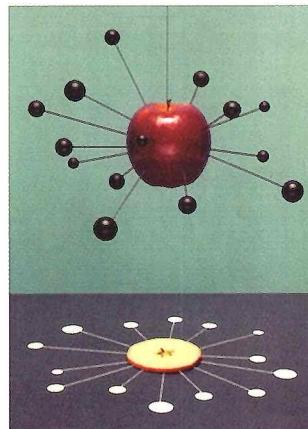
s. 33

## KOZMOLÓGIA

Kvantová gravitácia v Plochozemi

Scientific American E.G.

s. 12-16



## ŽIJEME V HOLOGRAME?

Rudolf Gális

s. 17

Horizont nášho vesmíru

Bild der Wissenschaft E.G.

s. 19-20

## KLIMATOLÓGIA

Ked'sucho zabíja

Alexander Ač

s. 24-27



## TANEC NA TENKOM ĽADE 1.

Anna Pribullová

s. 28-30



## STELÁRNA ASTRONÓMIA

Najvzdialenejšia hviezda

Ladislav Hric, SÚH Hurbanovo

s. 10

Nový prístroj na skúmanie galaxií E.G.

s. 11

Prachový disk pri hviezde Proxima Centauri E.G.

s. 11

Pomôžu staré hviezdy odhadnúť rýchlosť tmavej hmoty?

E.G.

## HISTÓRIA

Astronómia v Thajsku

Ladislav Hric, SÚH Hurbanovo

s. 34-35



## SOLÁRNA ASTRONÓMIA

Slnečné klásy (7)

Milan Rybanský

s. 36-37

## NEKROLÓG

Zomrel Stephen Hawking

Drahomír Chochol

s. 24

## SÚŤAŽ

ASTROFOTO 2017

s. 38-41

## UDALOSTI

Hviezdy ČSAV v pražském planetáriu

Jana Žďárská

s. 31

## SERVIS KOZMOSU

Veľká oponícia Marsu

Peter Zimníkova

s. 32-33

Obloha v kalendári

Pavol Rapavý

s. 42-45

## SLNEČNÁ AKTIVITA

Ivan Dorotovič

s. 37

Úplné zatmenie Mesiaca

Pavol Rapavý

s. 46

Jednoduché astronomické výpočty

Eduard Kočí, SÚH Hurbanovo

s. 47

# KOZMOS

populárno-vedecký astronomický časopis

**Vydáva:** Slovenská ústredná hvezdáreň v Hurbanove. Adresa vydavateľa: Slovenská ústredná hvezdáreň, 947 01 Hurbanovo, tel. 035/760 24 84, fax 035/760 24 87. IČO vydavateľa: 00 164 852. Za vydavateľa zodpovedný: generálny riaditeľ SÚH v Hurbanove Mgr. Marián Vidovenec. • **Redakcia:** Eugen Gindl – šéfredaktor, RNDr. Ladislav Hric, CSc. – vedecký redaktor, Michal Ač – redaktor, Daniel Tóth – redaktor, Lídia Priklerová – sekretár redakcie, RNDr. Michal Mojžiš – grafická úprava. Adresa redakcie: Konventná 19, 811 03 Bratislava, tel./fax 02/544 141 33, e-mail [kozmos@extra.sk](mailto:kozmos@extra.sk). • **Redakčná rada:** RNDr. Ivan Dorotovič, CSc., Mgr. Ladislav Druga, doc. RNDr. Rudolf Gális, PhD., RNDr. Drahomír Chochol, DrSc., doc. RNDr. Leonard Kornoš, PhD., doc. RNDr. Ladislav Kulčárik, CSc., RNDr. Daniel Očenáš, Mgr. Anna Pribullová, PhD., RNDr. Pavol Rapavý, RNDr. Ján Rybák, CSc. Predseda redakčnej rady: doc. RNDr. Ján Svoreň, DrSc. • **Vychádzka:** 6x do roka. Neobjednané rukopisy nevracíame. • **Cena jedného čísla** 2,40 € (65,00 CZK). Pre abonentov ročne 13,20 € (357 CZK) vrátane poštovného. • **Objednávky na predplatné** prijíma každá pošta. Objednávky do zahraničia vybavuje Slovenská pošta, a.s., Stredisko predplatného tlače, Námestie slobody 27, 810 05 Bratislava 15, e-mail: [zahranična.tlac@slposta.sk](mailto:zahranična.tlac@slposta.sk). • **Predplatiteľ:** V Českej republike A. L. L. Productions, P. O. Box 732, 110 00 Praha 1, tel. 840 306 090, na Slovensku L.K. Permanent s.r.o., p.p. 4, 834 14 Bratislava 34, tel. 00421-02 49 111 204. Podávanie novinových zásielok povolené Riaditeľstvom poštovéj prepravy Bratislava, pošta 12, pod číslom 152/93. V Českej republike rozširuje A. L. L. Productions, tel. 00420/234 092 851, e-mail: [predplatne@predplatne.cz](mailto:predplatne@predplatne.cz). P. O. Box 732, 110 00 Praha 1. • **Podávanie novinových zásielok v ČR** bolo povolené Českou poštou, s.p. OZSeč Ústí nad Labem, 19. 1. 1998, pod číslom P-291/98. Indexné číslo: 498 24. • EV 3166/09. • **Tlač:** Bittner print s.r.o. • Zadané do tlače 16. 5. 2018. • ISSN 0323 – 049

Časopis Kozmos si môžete objednať aj na e-mailovej adrese redakcie [kozmos@extra.sk](mailto:kozmos@extra.sk) (uveďte meno, adresu, prípadne telefonický kontakt).

# JUPITER



## výskum najmohutnejších búrok v Slnečnej sústave

Sonda Juno nepočíta vo svojom úsilií pri výskume najväčej planéty Slnečnej sústavy. Od zverejnenia nášho posledného článku (Kozmos 4/2017) sonda päťkrát preletela popri Jupiteri a 1. apríla absolvouje už svoj 12. prelet perijovom. Priebežné výsledky vedci publikujú s frekvenciou 2-3 články za mesiac. Kedže ide napospol o horúce novinky sprevádzané nádhernými obrázkami, prinášame ich prehľad aj v tomto čísle Kozmosu. Zoznámte sa s Veľkou červenou škvrnou, ďalšími gigantickými anticyklónami i predtým nepoznanými radiačnými oblastami. A tiež s novým pohľadom na charakteristické Jupiterove pásy.

Projektový riaditeľ Rick Nybakken z Laboratória prúdového pohunu (Jet Propulsion Laboratory) v Pasadena pri prvom výročí výskumu Jupitera sondou Juno povedal, že každá nová obežná dráha nás približuje k srdcu radiačného pásu Jupitera. Sonda zvládla víchricu elektrónov okolo Jupitera lepšie, než sme si vedeli predstaviť.

Činnosť Juno je pre výskum Jupitera obrovským prínosom. Pred jej príletom k Jupiteru boli naše vedomosti v mnohých ohľadoch nesprávne, najmä pokial ide o vnútornú štruktúru planéty a jej atmosféru, a dokonca aj o magnetosféru. Astronómovia verili, že Jupiter má buď veľmi malé a husté jadro, alebo ho vôbec nemá. Pozorovania Juna však ukázali, že Jupiter má pravdepodobne obrovské, neostro ohraničené jadro, ktoré by mohlo byť čiastočne rozpustené. To je iba jeden z poznatkov, ktorý totálne zmenil naše teórie.

Polarne žiary na Jupiteri vytvára neznámy fyzikálny mechanizmus, ktorý astronómovia nedokázali identifikovať. Podľa výpočtov by tieto polárne žiary mali byť asi 10-30krát viac energetické ako na Zemi, sonda Juno však zaznamenala žiary, ktoré sú stokrát silnejšie bez zjavného dôvodu. Aby bol problém ešte väčší, polarne žiary Jupitera sa správajú v okolí každého pólu odlišne. Dodajme, že na Zemi sú úkazy v okolí jedného pólu zrkadlovým odrazom úkazov pri druhom póle.

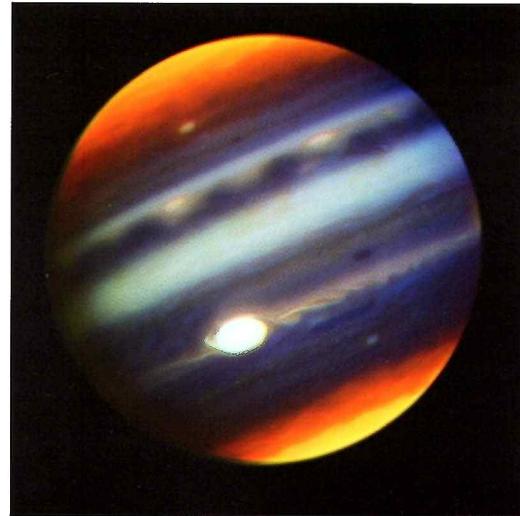
Doterajší výskum Jupitera zo Zeme i zo sond preletavajúcich okolo planéty bol dvojzrnomerným popisom najvyšších vrstiev obla-

kov. Až Juno priniesla tretí rozmer. A pohľad do vnútra atmosféry, či už v obrovských búrkach alebo charakteristických pásoch, znamenal úplnú revolučiu. Pozrime sa teraz chronologicky na získané výsledky.

### 7. prelet – tesne nad Veľkou červenou škvrnou

Ešte než začneme vypočítavať ďalšie úspechy sondy Juno, treba osvetliť jeden problém. Tesný prelet popri Jupiteri 10. júla 2017 nájdete označený bud' ako šiesty (vedecký) alebo - od iného autora - ako siedmy (celkový). Tento dvojitý výklad spôsobil prelet 19. októbra 2016, ktorý sonda absolvovala bez vedeckých meraní, keďže tesne predtým sa prepla do núdzového režimu (pozri Kozmos č. 3/2017). Počet celkových preletov tak máme o jednotku väčší ako počet vedeckých preletov. V našom článku používame výlučne celkový počet preletov, aby sme zachovali kontinuitu s predchádzajúcimi informáciami publikovanými v Kozmose.

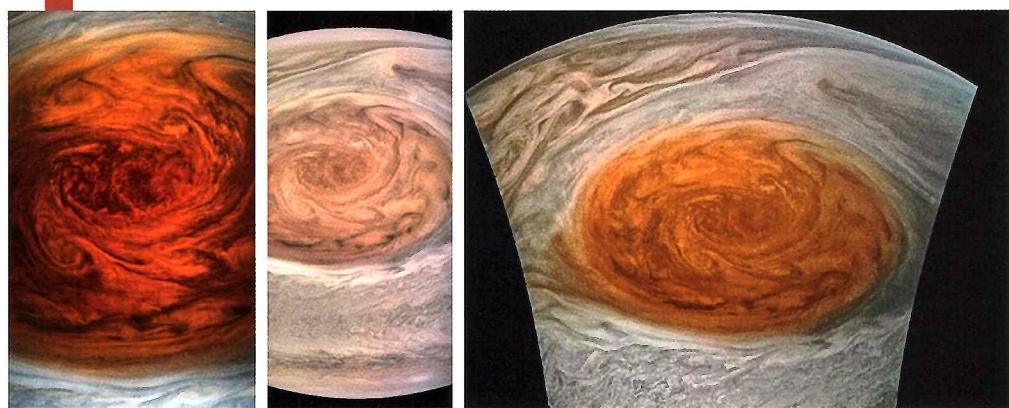
Počas 7. preletu aktuálne natočenie Jupitera umožnilo detailne pozorovať Veľkú červenú škvru. Túto búrku s priemerom 16 350 km vedci sledujú zo Zeme už od roku 1830. V minulosti bola škvra ešte väčšia; búrka sa zmenšuje po celé desaťročia, hoci rýchlosť, s akou k tomu dochádza, sa v poslednej dobe spomalila. Počas 19. storočia, a aj v roku 1979, keď ju pozorovali sondy Voyager 1 a 2, priemer škvry presahoval dva priemery Zeme (vyše 25 000 km). Juno namerala priemer len 16 350 km. Niekedy sa uvádzajú aj pozorovania z rokov 1665 až 1713, nemáme však istotu, že išlo o tú istú búrku. Ponorením sa do vrchnej vrstvy oblakov sonda zisťovala do akéj hĺbky táto búrka siaha, ako funguje a čo ju robí tak zvláštnou. Počas preletu pracovali všetky vedecké prístroje na palube vrátane kamery JunoCam. Havajské ďalekohľady svojím pozorovaním podporili sondu, ktorá 10.



Kompozitný obraz Jupitera vo falošných farbách (Veľká červená škvra je biela) získaný ďalekohľadom Gemini North na Havajských ostrovoch 18. mája 2017.



Infračervený obraz Jupitera z ďalekohľadu Subaru na Havajských ostrovoch získaný rovnako 18. mája. Veľká červená škvra vyzerá ako chladná oblasť s hrubou vrstvou oblakov.



Spracované obrazy Veľkej červenej škvrsny, vytvorené zo snímkov kamery JunoCam z 10. júla 2017.

júla preletela len 9000 km nad Veľkou červenou škvrsnou. Člen vedeckého tímu projektu Juno Glenn Orton ozrejmil význam podpory zo Zeme: „Získavame priestorové súvislosti, keďže vidíme celú planétu, rozširujeme časový kontext, v ktorom vidíme zmenu vlastností atmosféry s časom a dopĺňame pozorovania v spektrálnych oblastiach, ktoré nie sú k dispozícii zo sondy Juno.“

NASA pokračuje v politike uplatňovanej pri tomto projekte a zverejňuje takmer okamžite surové snímky z kamery JunoCAM. Autori z celého sveta ich použitím najrôznejších techník upravujú a poskytujú nám úžasný estetický zážitok. Pri spracovaní vyniknú aj detaily cenné z vedeckého pohľadu.

Kamera JunoCam získala snímky vrcholkov oblakov planéty v najvyššom možnom rozlíšení, odhaliac zložité víry, farby žíl a búrkys, ktoré sa v atmosfére zdvívajú vyššie, než sa predtým predpokladalo. Vedci zatiaľ nevedia, ako Veľká červená škvrna získava svoju karminovú farbu. Vo vysokej atmosfére planéty sa predpokladá prítomnosť amoniaku, hydro-sulfidu amónneho a vody. Nie je však známe, aké chemické reakcie tam prebiehajú a ako vzniká celá obrovská paleta farieb zaznamenaná na snímkach sondy.

### 25-krát hlbšia ako pozemský oceán

Juno sa pomaly prepracováva ku koreňom Jupiterovej slávnej Veľkej červenej škvrsny. Analýza dát získaných počas prvého preletu

nad ikonickou búrkou ukazuje, že tá zasahuje hlboko do atmosféry. Údaje z mikrovlnného rádiometra sondy naznačujú, že najznámejšia búrka Slnčnej sústavy planéty preniká v atmosfére približne do hĺbky 300 kilometrov, čo je vyše 25-násobok najväčšej hlbociiny v pozemských oceánoch (Mariánska priekopa – 10,924 km). To vnáša aj nový pohľad na jej postupné zmenšovanie. My totiž vidíme len zmenšovanie povrchu, teda najvyššej časti oblakov tejto búrky, ale čo sa deje na jej základni alebo vo vnútri 300 km vysokého útvaru, ostáva stále záhadou.

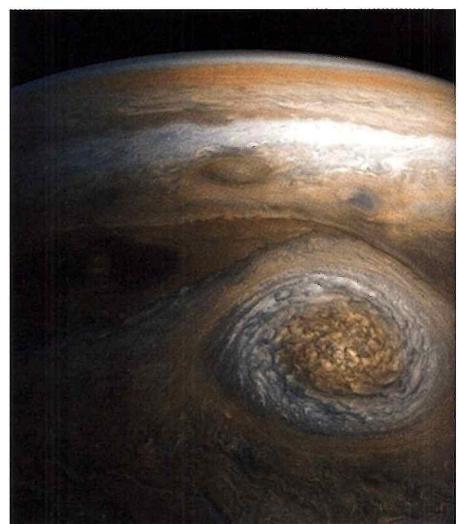
Sonda Juno zistila, že korene Veľkej červenej škvrsny siahajú podstatne hlbšie ako oceány na Zemi a že plyny v škvrsne sú pri jej dne teplejšie ako na jej vrchole. Vetry sú spojené s rozdielmi v teplote a teplo na dne škvrsny je vysvetlením pre divoký vietor, ktorý fúka vo vrcholkoch oblakov.

### Monštrózna búrka blízko severného pólu

Počas 7. preletu získala Juno zábery masívnej búrky známej ako NN-LRS-1 krútiacej sa v blízkosti severného pólu Jupitera. Túto dlhotrvajúcu tlakovú výš nazývanú North Temperate Little Red Spot 1 (NN-LRS-1) pozorujeme minimálne od roku 1993, a môže byť ešte staršia. NN-LRS-1 je tretia najväčšia anticyklóna na Jupiteri široká približne 6 000 km.

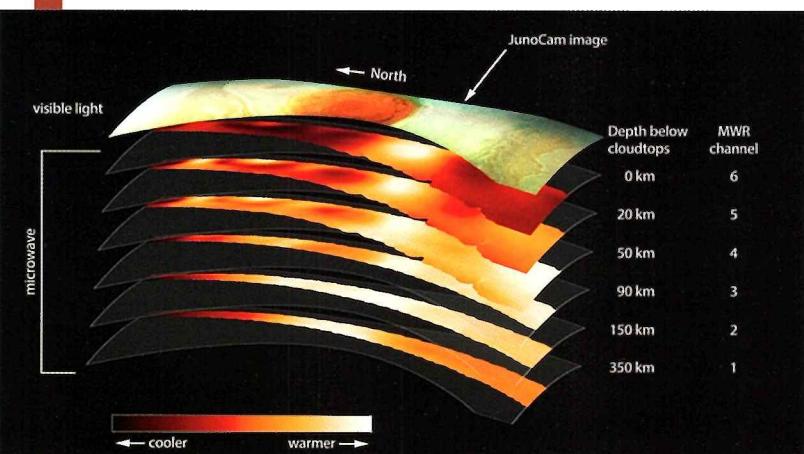
**9. prelet – objav nových radiačných pásov**  
Sonda sa priblížila k Jupiteru 24. októbra 2017, vedci však čakali v napätí 7 dní, kým odoslaли prvé výsledky. Príčinou bolo Slnko, ktoré sa dostalo na oblohe uholovo blízko k Jupiteru a znemožňovalo prenos signálu sondy na Zem. Pozorovania, uložené do pamäti sondy, sa po 31. októbri, keď sa telesa na oblohe od seba dostatočne vzdialili, postupne prenesli do JPL v Pasadene.

Sonda Juno objavila aj dva nové radiačné pásy. Jeden, tesne nad atmosférou plynného giganta v blízkosti rovníka, zahŕňa ióny vodíka, kyslíka a síry pohybujúce sa takmer rýchlosťou svetla. Nepredpokladalo sa, že radiačný pás môže ležať tak blízko pri planéte, takže sonda ním doslova preletela. Prístroje poruchu nesignalizovali, takže zrejme toto nečakané stretnutie prežili bez újmy. Nabité časticie,

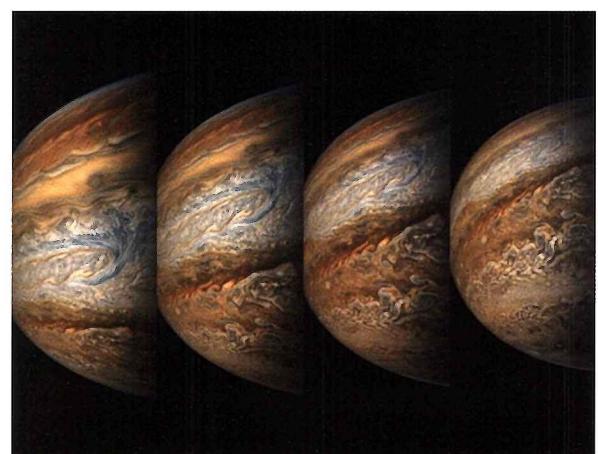


Obraz masívnej búrky NN-LRS-1 vytvorený zo snímkov kamery JunoCam z 10. júla 2017. Juno bola v tom čase 11 450 km nad oblakmi.

identifikované prístrojom Jupiter Energetic Particle Detector, zrejme pochádzajú z rýchlo sa pohybujúcich neutrálnych atómov vytvorených v pláne okolo mesiacov Europa a Io. Po interakcii s atmosférou Jupitera a strate elektrónov sú elektricky nabité.



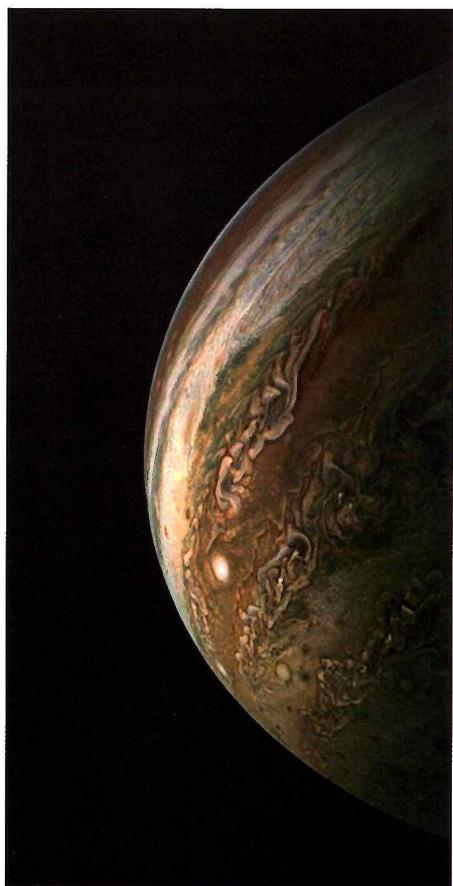
Mikrovlnný rádiometer Juno sa „pozrel“ dovnútra Jupiterovej Veľkej červenej škvrsny. Každý zo šiestich kanálov detegoval mikrovlny z odlišnej hĺbky v rámci atmosféry planéty.



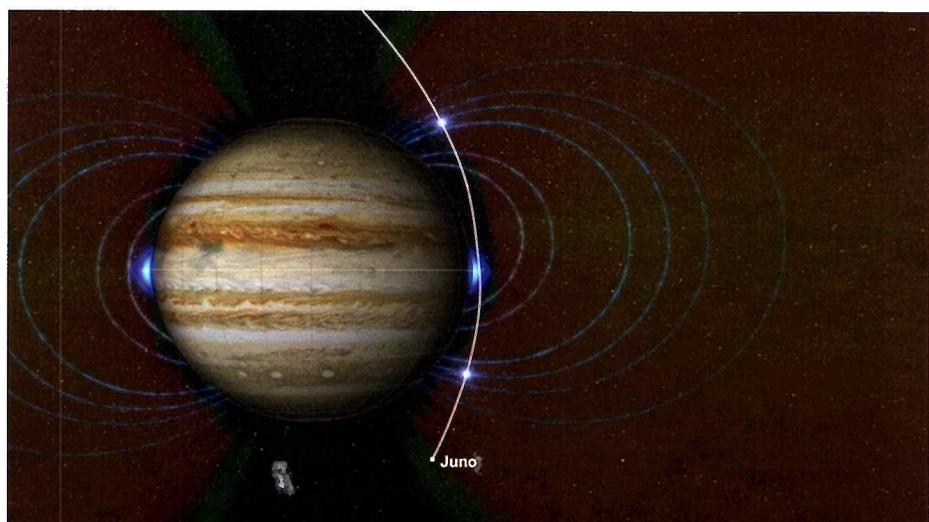
Pôsobivý pohľad na Jupiter zložený zo snímkov získaných počas ôsmeho priblíženia 1. septembra 2017. Snímky boli nasnímané v priebehu 8 minút, počas ktorých sa Juno vzdialilo od planéty z 12 143 km na 22 908 km.



Obrovská búrka na Jupiteri zaznamenaná 24. októbra 2017 z výšky 10 108 km v rozlíšení 6,7 km/pixel. Snímka jasne zachytáva rotáciu oblakov, pričom predpokladáme, že tmavšie oblaky sú umiestnené hlbšie v atmosfére. Oblaky tvoria kryštály zmrznutého amoniaku, prípadne zmiešané s vodným ľadom.



Juno získala túto snímku južnej pologule počas 10. priblíženia 16. decembra 2017. Výška nad oblakmi je 30 970 km.



Sonda Juno detegovala novú oblasť radiácie tesne nad atmosférou v blízkosti rovníka Jupitera. Obrazok tiež vykresľuje oblasti vysokoenergetických, tažkých iónov vo vysokých jovigrafických šírkach.

Sonda tiež našla druhú radiačnú oblasť vo vysokých jovigrafických šírkach v oblastiach, ktoré nikdy nijaká sonda neskúmala. Pôvod týchto častic, detegovaných kamerou Juno

Stellar Reference Unit, zostáva záhadou.

**10. prelet – neskutočné detaily v pásoch Jupitera**

Zaujímavé je, že pásy plynu (detaily v oblastoch) zostávajú napriek ich búrlivému charakteru navzájom oddelené.

#### **11. prelet – Farebné pásy Jupitera siahajú do väčšej hĺbky**

Sonda Juno uskutočnila 11. priblíženie k Jupiteru 7. februára 2018, keď preletela 3500 km nad vrchnou vrstvou oblakov.

Všetky naše predchádzajúce snímky pochádzali buď z Hubblovho vesmírneho dalekohládu alebo priamo zo Zeme. Umožnilo to dobre zaznamenávať len rovníkové oblasti



Detail južnej pologule Jupitera získala Juno 16. decembra 2017 počas 10. priblíženia k Jupiteru. Obraz nasnímaný kamerou JunoCam zo vzdialnosti 13 604 km.

Jupitera, horšie jeho mierne šírky a vôbec nie jeho polárne oblasti. Jupiterove oblačné pásy poznáme už stáročia. Dnes vieme, že súvisia so silnými vetrami, dosahujúcimi až 360 km/hod. Prenášajú také veľké množstvo hmoty, že deformujú gravitačné pole planéty.

Mapovanie Jupiterovho gravitačného pola preto môže objasniť, ako hlboko siahajú tie-to pásy pod povrch. Vedci zistili, že pásy sú hlboké 3 000 kilometrov, čo je cca jedna dvadsatina vzdialenosť od stredu planéty – ovela hlbšie, než sa predpokladalo. Obsahujú pri-

bližne 1 percentu hmoty Jupitera, čo sa rovná približne troma hmotnostiam Zeme. Pre porovnanie: hmotnosť atmosféry Zeme je nižšia ako miliónina hmotnosti Zeme.

Atmosféra Jupitera sa otáča diferenciálne, pričom zóny a pásy sa otáčajú rýchlosťami, ktoré sa líšia až o stovky metrov za sekundu. Zaujímavé je zistenie, že pod úrovňou týchto vetrov sa vnútro planéty napriek svojej tekutosti pohybuje takmer ako pevné teleso. Rozdielna rotácia sa znižuje aspoň o rád v porovnaní s atmosférou. Hĺbka, v ktorej sa rýchlosť vyrovňávajú zodpovedá bodu, v ktorom sa elek-

trická vodivosť stane dostatočne veľkou na to, aby magnetický odpor potlačil diferenciálnu rotáciu. Ide o pomerne zložitú interakciu, ktorej popis nájde záujemca v časopise Icarus vol. 296, rok 2017, na str. 59 až 72.

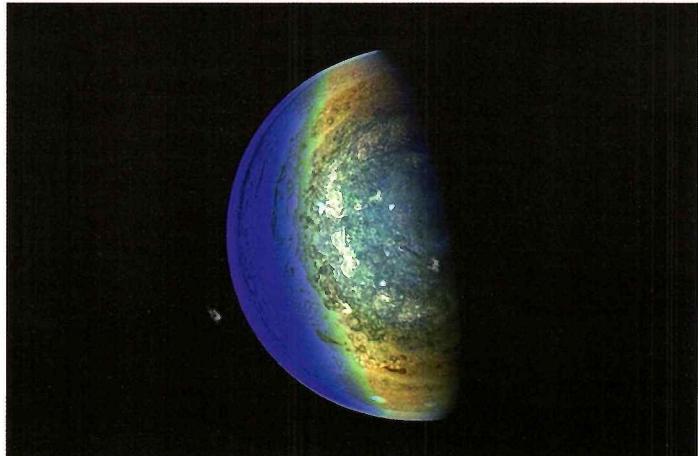
*Obrázky použité v článku sú prevzaté z materiálov NASA/JPL-Caltech/SwRI/MSSS, Gemini Observatory/AURA a NAOJ/NASA/JPL-Caltech. Pôvodné obrázky z kamery JunoCam spracovali G. Eichstädt, S. Doran, J. Major, K.M. Gill, M. Brealey a B.C. Gustavo.*



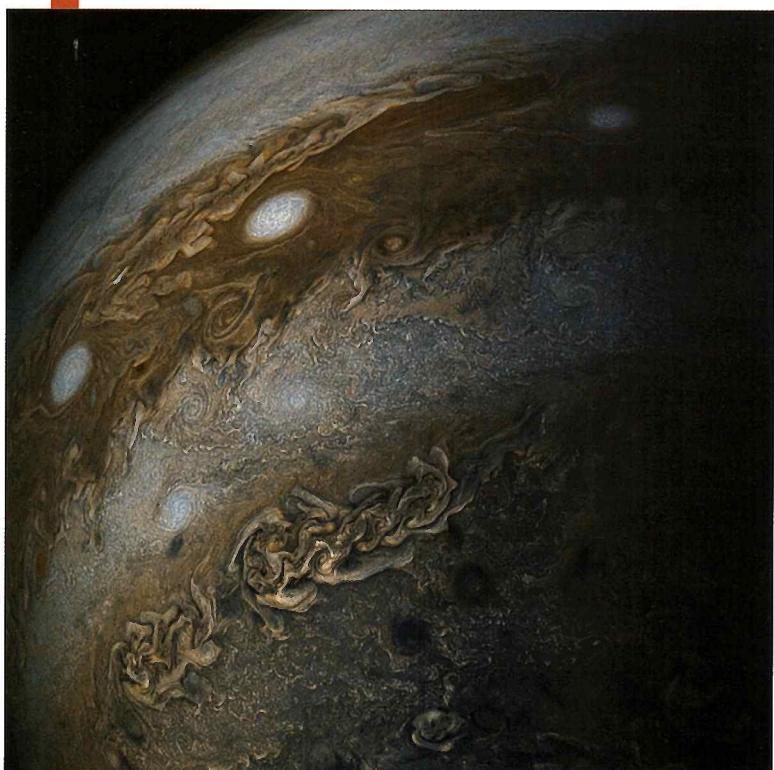
Komplexný veľmi turbulentný systém búrky na severnej pohuli Jupitera.



Južná pohuľa Jupitera s niekoľkými bielymi oválnymi búrkami.



Oblaky víriace okolo južného pólu na snímke Juno zo vzdialenosťi 121 000 km (11. priblíženie k Jupiteru 7. februára 2018). Obraz je zložený zo snímok s rôznou expozičnou dobovou na vyrovnanie intenzívne a slabovo osvetlených oblastí, teda denných a tých z blízkosti terminátora.



Jupiterove oblačné pásy



Búrkový vír na Jupiteri zaznamenaný počas 11. priblíženia 7. februára 2018 kamerou JunoCam zo vzdialenosťi 12 195 km.

# Priniesli na Zem život meteorytie?

Uhlíkaté asteroidy a komety mohli dodať veľké množstvo organických látok Zemi v čase po vychladnutí jej povrchu a vytvorení pevnnej kôry. Také úvahy existovali už pomerne dávno. Odtiaľ bol už len krôčik k predpokladu, že dopady týchto telies priniesli na Zem aj život.

Uhlíkaté chondrity sú fragmenty starých asteroidov, ktoré sa od vzniku Slnečnej sústavy príliš nezmenili. Obsahujú množstvo mimozemských organických molekúl, ktoré odzrkadlujú chemický vývoj v ranej Slnečnej sústave a následné vodné a tepelné procesy na asteroidoch. Nedávne teórie naznačujú, že podobné organické zmesi, pochádzajúce z kozmu, mohli byť východiskovým materiálom pre vznik pozemského života.

Približne 85 % meteoritov pozorovaných na Zemi sú chondrity, skaly s celkovým obsahom prvkov podobným Slnku, ak sa ignoruje strata najprachavejších prvkov. Chondrity uchovávajú chémiu najranejšej Slnečnej sústavy a do určitej miery aj molekulárneho oblaku, z ktorého vznikla.

V uhlíatých chondritoch je prítomný uhlík v niekoľkých formách so špecifickými zdrojovými oblastami. Materiály ako karbid kremíka a grafit kondenzovali v atmosférách hviezd oveľa starších ako naše Slnko. Diamanty v nanometrických veľkostiach vznikajú ako kondenzačné produkty vo hviezdnych vetroch alebo pri výbuchoch supernov. V ranej Slnečnej sústave sa vytvorili karbonátové minerály (s vysokým obsahom uhličitanu vápenatého), najmä vápence a dolomity, pretože na asteroidoch prebiehali vodné zmeny.

## Organické látky v meteorickej hmotě

Prenos organických látok meteoritmi na Zem však nie je jednoduchou úlohou. Organické látky totiž nemôžu prežiť pri extrémne vysokých teplotách (viac ako cca 10 000 K), ktoré vzniknú pri dopade veľkého telesa a rozbiňajú všetky chemické väzby. Len menšie úlomky, dostatočne zabrzdene atmosférou, môžu dopraviť organické látky neporušené až na Zem. Dôležité je tak množstvo uhlíka, ktoré takéto dopady menších meteoritov na Zem dodali, ako aj možnosť, že priniesli aj také organické látky, ktoré na Zemi nevznikli abiotickou syntézou. Množstvo látky, ktorá dopadla na Zem v dávnej minulosti, vieme rádovo odhadnúť vďaka frekvencii dnešných pádov a predpokladom o zmenach v hustote medziplanetárnej látky v Slnečnej sústave od času formovania veľkých telies po dnešok. Hoci meteorické údaje pokrývajú len niečo vyššie storočia, ich súlad s výskytom ušľachtilých kovov v morských sedimentoch a vzorkach mesačnej pôdy

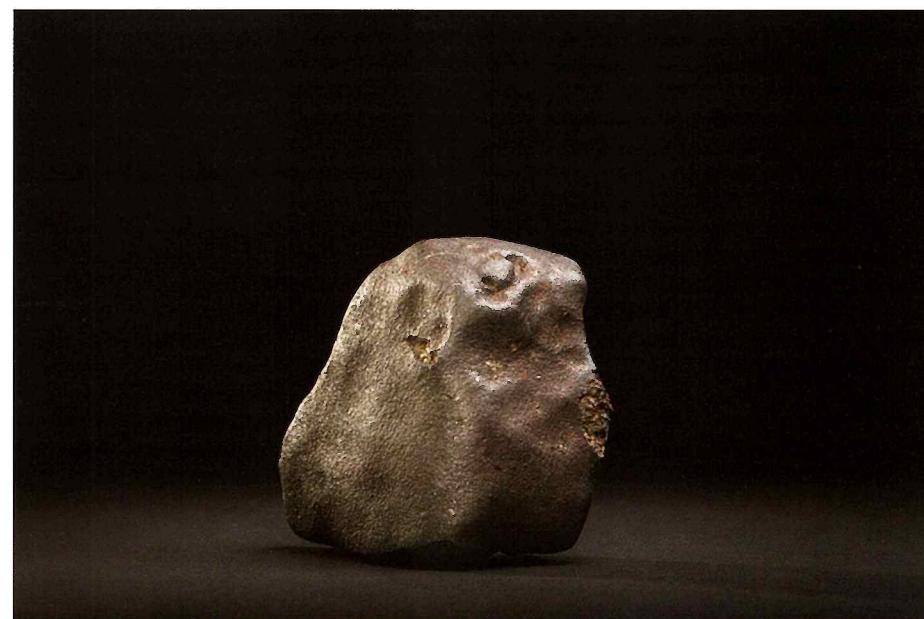
umožňuje odhadnúť prítok meteorickej hmoty na Zem až v intervale do mínus 3,6 miliard rokov.

Ohraničenie na prenos organickej látky zdola je dané tým, že v menej hmotných čiastočkách je organická hmota vystavená priamemu pôsobeniu ultrafialového žiarenia, ktoré ju rýchlo zničí. Pri väčších hmotách atmosférické trenie zohreje teliesko tak, že zložitejšie molekuly rozloží, silne to však závisí od hus-

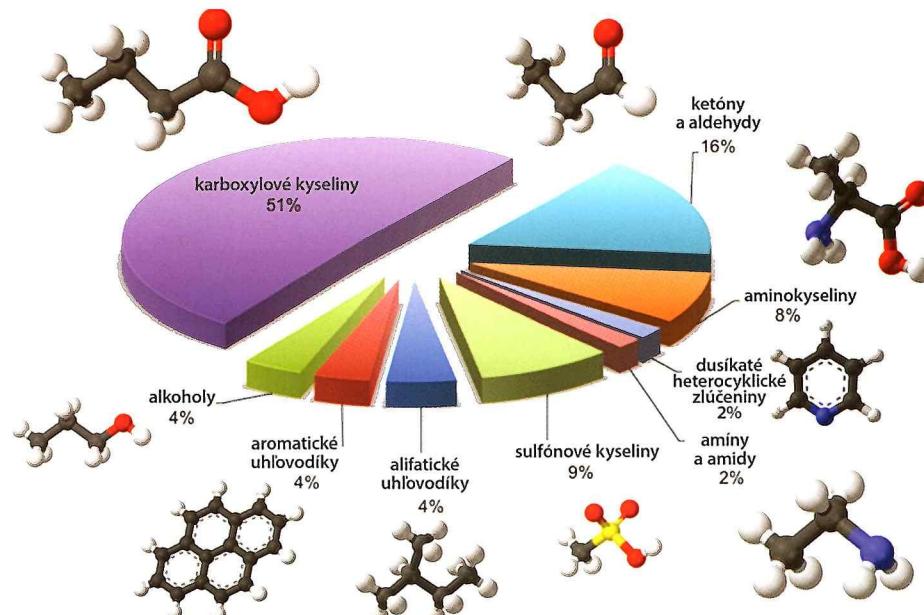
toty, rýchlosťi, vstupného uhlia a fragmentácie meteoroidu. Prihliadnuc k týmto obmedzujúcim podmienkam vedci odhadujú, že Zem sa obohatí za rok približne o 4000 ton uhlíka, dopadajúceho z vesmíru. Ak sa iba 1 percento tohto uhlíka využije na vznik organických látok, vzhľadom na dlhé časové intervaly, ktoré máme pri vývoji Zeme k dispozícii, ide o naozaj obrovské množstvo. Je to, samozrejme, teória, tá sa však zakladá na pozorovacích faktoch a extrapoláciach. Vedci sa snažili a snažia získať priame dôkazy. Najlepším by bolo objaviť organickú látku priamo v niektorom meteorite. Príbeh však nie je priamočiary.

## Čo priniesol meteorit Murchison?

Veľká časť našich vedomostí o meteoritickej organickej hmote pochádza z analýzy uhlíatého chondritu Murchison. Tento veľký meteorit, ktorý dopadol na Zem v Austrálii v roku 1969, je jedným z najlepšie preštudovaných



Najväčší úlomok meteoritu Murchison



Zastúpenie rozpustných organických látok v meteorite Murchison

meteoritov. Prispela k tomu jeho hmotnosť (> 100 kg), jeho pozorovaný pád a ďalej to, že patrí do skupiny meteoritov bohatých na organické zlúčeniny. Našlo sa množstvo úlomkov, najväčší mal takmer 7 kg.

Uhlíkaté chondrity tvoria jedinečnú podmnožinu meteoritov. Obzvlášť zaujímavé sú dve triedy uhlíkatých chondritov, CI1 a CM2. Čiastočne preto, že majú relatívne vysoký obsah uhlíka a väčšina tohto uhlíka je vo forme organickej hmoty. Tento materiál obsahuje komplexnú zmes organických zlúčenín, ako sú karboxylové kyseliny, dikarboxylové kyseliny, aminokyseliny, hydroxykyseliny, sulfónové kyseliny, fosfónové kyseliny, amíny, amidy, dusíkaté heterocykly vrátane purínov a pyrimidínu, a alifatické, aromatické a polárne uhlívodíky.

Tieto triedy chondritov tiež obsahujú ſlovité minerály, o ktorých sa predpokladá, že naznačujú prítomnosť vodnej aktivity v materskom telesu meteoritu. Nedávne merania stabilných izotopov ukázali, že táto organická hmota je v porovnaní s pozemskými látkami obohatená o deutérium a izotopy  $^{15}\text{N}$  a  $^{13}\text{C}$ . Tieto zistenia naznačujú, že organická hmota obsahuje alebo je úzko spojená s medzihviezdnymi organickými zlúčeninami. Organická chémia týchto meteoritov je v súlade so schémou, podľa ktorej (1) materské teleso vzniklo z ľadových planetezinám obohatených o prchavé látky a obsahujúcich medzihviezdnú organickú hmotu, (2) zahrievanie materského telesa viedlo k rozsiahlej vodnej fáze, v ktorej medzihviezdná organická látka prešla rôznymi reakciami a (3) zvyškové prchavé látky sa prevažne stratili, pričom zostal súbor neprchavých zlúčenín, ktoré teraz tieto meteority charakterizujú.

#### Meteorit ALH84001

Veľký rozruch vyvolal meteorit Allan Hills 84001 (známy ako ALH84001), nájdený v Antarktíde v roku 1984. Patrí do skupiny SNC meteoritov (shergottit, nakhlit, chassignit), ktoré sú obecne akceptované ako meteority z Marsu. Zaujímavým sa stal v roku 1996, keď skupina vedcov tvrdila, že v ňom našla dôkazy o mikroskopických fosiliách martanských baktérií. „Objav“ oznámi sám americký prezident Bill Clinton. Širšia vedecká komunita túto hypotézu odmietla, keďže všetky nezvy-

čajné črty meteoritu bolo možné vysvetliť bez prítomnosti života.

#### Nález zo Srí Lanky

Podobný prípad úpornej snahy niečo dokázať je starý 5 rokov. Dňa 29. decembra 2012 údajne padol meteorit v blízkosti mesta Polonnaruwa na Srí Lanke, ktorý rýchlo našiel tím Chandru Wickramasingha. Časopis *Journal of Cosmology* vzápäti publikoval článok, že vnútri meteoritu objavil jeho tím pomocou elektrónového mikroskopu skamenelý mikroskopický fytoplanktón. Vedecká komunita ani toto tvrdenie nepovažuje dôveryhodné.



Nález z Polonnaruwa (Sri Lanka).

Samotný vedúci tímu nemá vo vedeckých kruhoch dobrú povesť. Schopný teoretik najprv presadzoval teóriu panspermie (prenos života na Zem kométami), ktorú neskôr rozšíril o príčinnú súvislost medzi mimozemskými patogénmi a pozemskými chorobami. Nie je prístupný vedeckej kritike a jeho teórie sú dnes považované za vedecký folklór. Navyše skala, s ktorou robil pokusy, nemá oficiálne štatút meteoritu, keďže nie je súčasťou databázy medzinárodnej Meteoritical Society, ktorá po splnení náročných overovacích kritérií vytvára celosvetový zoznam nájdených meteoritov. Wickramasinghe sa narodil v Colombe, a tak celý Polonnaruwanský prípad je považovaný za snahu zviditeľniť seba a rodny ostrov.

#### Zag a Monahans

Po takýchto skúsenostach je ľahké prísť so sebou rôznym objavom organickej látky v meteorite alebo asteroide a neriskovať vedeckú blamáz. Napriek tomu Q. H. S. Chan z NASA Johnson Space Center s 5 spolupracovníkmi referovali na 18. medzinárodnej konferencii o pôvode života konanej v júli 2017 v kalifornskom San Diegu, že našli kvapalnú vodu a zmes orga-

nických zlúčenín v 4,5 miliardy rokov starých solných kryštáloch. Zachovali sa v dvoch unikátnych meteoritoch, Zag a Monahans, ktoré na Zem dopadli samostatne v roku 1998.

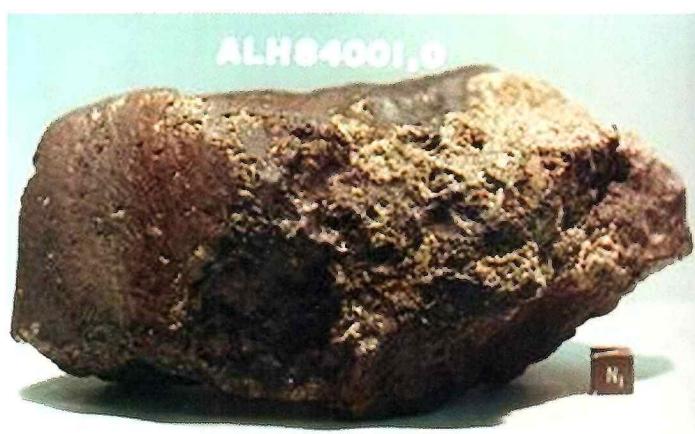
Monahans (1998) je obyčajný chondrit (H5), ktorý dopadol v meste Monahans (Texas) 22. marca 1998. Bolid sprevádzaný hlasnými výbuchmi pozorovali do 100 km od miesta pádu. Na Zem dopadli 2 kamene s hmotnosťou 1344 g a 1243 g; jeden vyhľbil dieru do asfaltu, druhý našli zaborený v piesku.

Zag je chondrit H3-6, ktorý spadol 4. augusta 1998 na Západnej Sahare v blízkosti mierneho mesta Zag. Do púste dopadlo veľké množstvo úlomkov, z ktorých sa podarilo vyzbierať približne 175 kg. Prijíma sa opatrný predpoklad, že obidva meteority (Zag aj Monahans) môžu pochádzať z toho istého materského telesa. Asteroid (6) Hebe je považovaný za pravdepodobné materské teleso H-typu obyčajných chondritov. Asteroid má rozmer 205×185×170 km a jeho poloha v blízkosti rezonancie 3:1 stredného pohybu s Jupiterom vytvára priaznivé podmienky pre transport uvoľnených úlomkov smerom k dráhe Zeme.



Jeden z dvoch kusov meteoritu Monahans (kocka má hranu 1 cm).

Zaujímavé je, že na obsah vody pochádzajúcej z čias vzniku Slnečnej sústavy v slaných kryštáloch meteoritu Monahans upozornil už v roku 2000 tím Keitha Cowinga z University of Manchester a Natural History Museum in London v článku v časopise *Science*. Rádioizotopové datovanie ukazovalo, že kryštály vznikli súbežne s formovaním Slnka alebo



Meteorit Allan Hills 84001. Vľavo celkový pohľad (pre porovnanie kocka s hranou 1 cm), vpravo údajná „fosília“.



49-gramový úlomok meteoritu Zag.

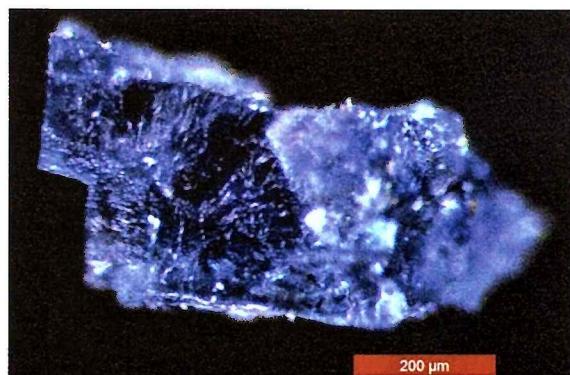
tesne po jeho zdrode. Dôsledky tohto objavu sú značné. Po prvej by to znamenalo, že prach a plyn, z ktorých naša Slnečná sústava vznikla, sa začal zhlušovať oveľa skôr, než sa predtým predpokladalo. Po druhé sa zdá, že podmienky (alebo prinajmenšom základné zložky), potrebné pre vznik života, mohli existovať už vo veľmi skorom období vývoja Slnečnej sústavy. Veľmi dôležité bolo zistenie, že voda naozaj pochádza z kozmu. Mimozemský pôvod vody potvrdilo meranie izotopov xenónu, jodu a argónu v halitových kryštáloch. Zistený vek kryštálov soli - 4,57 miliárd rokov - potvrdil predpoklad, že halit skutočne vznikol vo vesmíre veľmi dávno.

Chanov tím mal však k dispozícii celkom inú laboratórnu techniku, a tak okrem vody nášiel aj veľké množstvo organických inklúzií a podrobne ich analyzoval. Ak v ranej Slnečnej sústave existoval život nejaký čas, meteority obsahujúce soľné kryštály zvyšujú možnosť jeho uchovania v kryštálikoch soli. „Naozaj prvý raz sme našli bohatú organickú hmotu, spojenú s tekutou vodou, ktorá je rozhodujúca pre vznik života a komplexných organických

zlúčenín vo vesmíre“, povedal Chan. „Pozeráme sa na organické zložky, ktoré môžu viesť k vzniku života, vrátane aminokyselín potrebných na tvorbu bielkovín.“ Obrovským objavom je, že kryštály soli v týchto meteoritoch obsahujú množstvo pevných organických inklúzií vedľa inklúzií vody. „V rámci týchto meteoritov existuje veľa organických zlúčenín vrátane veľmi primitívneho typu organických látok, ktoré pravdepodobne predstavujú organickú kompozíciu ranej Slnečnej sústavy.“ Zloženie organických pevných látok a obsah aminokyselín v halitových kryštáloch bolo

podrobne analyzované okrem iného aj laserovou ionizačnou hmotnosťou spektrometriou, sekundárnu iónovou hmotnosťou spektrometriou a veľmi výkonnou kvapalinovou chromatografiou. Výsledky ukazujú na prítomnosť nízkohmotnostných poliaromatických uhľovodíkov. Ramanova spektroskopia pevných inklúzií halitov veľkosti mikrometrov naznačuje prítomnosť zmesi alifatických zlúčenín s krátkym reťazcom a makromolekulárnych karbónov. Taktiež sa našli oblasti bohaté na uhlík a dusík.

Záver: Vieme, že Zem prešla počas svojho vývoja horúcou fázou, keď vyparením stratila všetku pôvodnú vodu. Kedže dnes žijeme na „vodnej planete“, Zem musela vodu získať neskôr; za jej možný zdroj považujeme kométy a asteroidy. Nie je zatial dokázané, či k rozšíreniu života na Zemi prispeli aj meteority jej obohatením o organické látky, niektoré najnovšie výskumy uvedené aj v našom článku tomu však nasvedčujú.



Mikrofotografia zobrazujúca kryštály soli z meteoritu Zag.

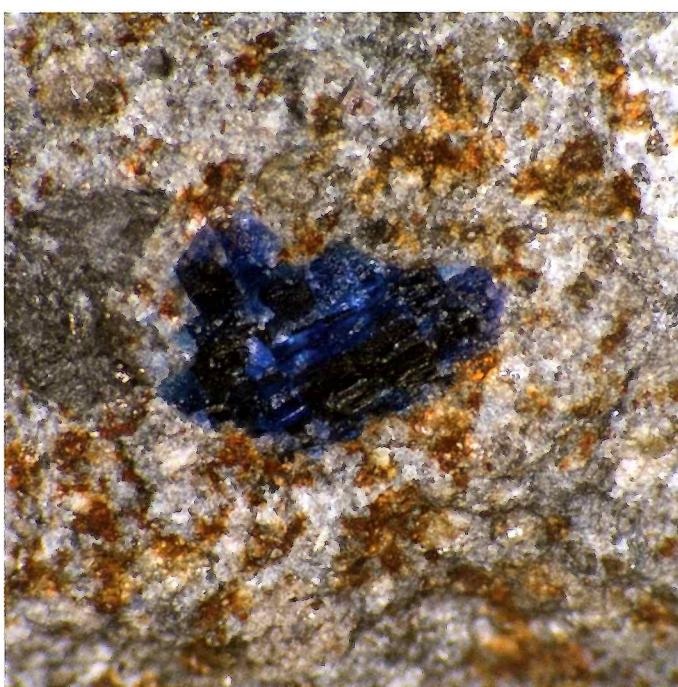
#### Poznámky:

1) V chémii nazývame ušľachtilými kovmi tie, ktoré sú odolné proti korózii a oxidácii vo vlnkom vzduchu (na rozdiel od väčšiny ostatných kovov), čím sa zachovajú bez väčších úbytkov hmotnosti dostatočne dlhý čas. Medzi ušľachtité kovy patria ruténium (Ru), ródium (Rh), paládium (Pd), striebro (Ag), osmium (Os), (iridium (Ir), platina (Pt) a zlato (Au). Niekedy sa k nim počíta aj ortút (Hg), réniu (Re) a med' (Cu).

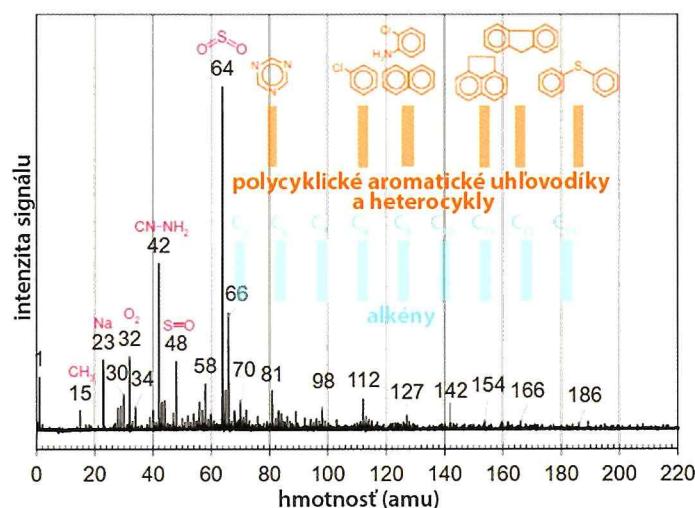
2) K spektru meteoritu Zag:

Alkény sú uhľovodíky, ktoré majú v molekule jednu dvojité väzbu medzi dvoma uhlíkmi C=C. Heterocyklické zlúčeniny (tiež heterocykly) majú molekulu tvorenú aspoň jedným uhlíkovým cyklom, v ktorom sa však priamo v cykle okrem uhlíka nachádza aj iný prvk, najčastejšie kyslík, síra alebo dusík. PAHs - Polycylické aromatické uhľovodíky - uhľovodíky s najmenej dvoma benzénovými jadrami, ktoré vznikajú prevažne pri nedokonalom spalovaní.

*Spracované podla článkov v časopisoch Nature, Science Advances a Astronomy and Geophysics.*



Pohľad mikroskopom na približne 3 mm veľký modrý krištál soli v meteorite Monahans. Tieto halitové kryštály obsahujú tekuté inklúzie - asteroidálnu vodu!



Spektrum meteoritu Zag. Chemické štruktúry potenciálnych organických zlúčenín sú znázornené oranžovou (polycylické aromatické uhľovodíky), modrou (alkény) a červenou (iné molekuly s nižšou hmotnosťou). Organické látky s nízkou hmotnosťou sú zložené z derivátov a prchavých druhov, ako je  $\text{SO}_2$  (64 a 66 amu) a jeho fragment  $\text{SO}$  s nižším výskytom (48 amu). V spektri vidieť uhľovodíky, alkény a polycylické aromatické uhľovodíky, napr. triazin (81 amu), chlóranilín (112 amu), chlóranilín (127 amu), a acenaféten (154 amu). Jednotka atómovej hmotnosti (amu) je 1/12 hmotnosti atómu uhlíka 12.

# HST našiel najvzdialenejšiu hviezdu

Hubblov vesmírny ďalekohľad (HST) už ne-spočetnekrát priniesol v dejinách výskumu vesmíru prevratné objavy a pomohol astronómom pochopiť mnohé záhadu astrofyziky. Od roku 2014 HST realizuje program Frontier Fields, ktorý má za úlohu detevoať najvzdialenejšie objekty vo vesmíre.

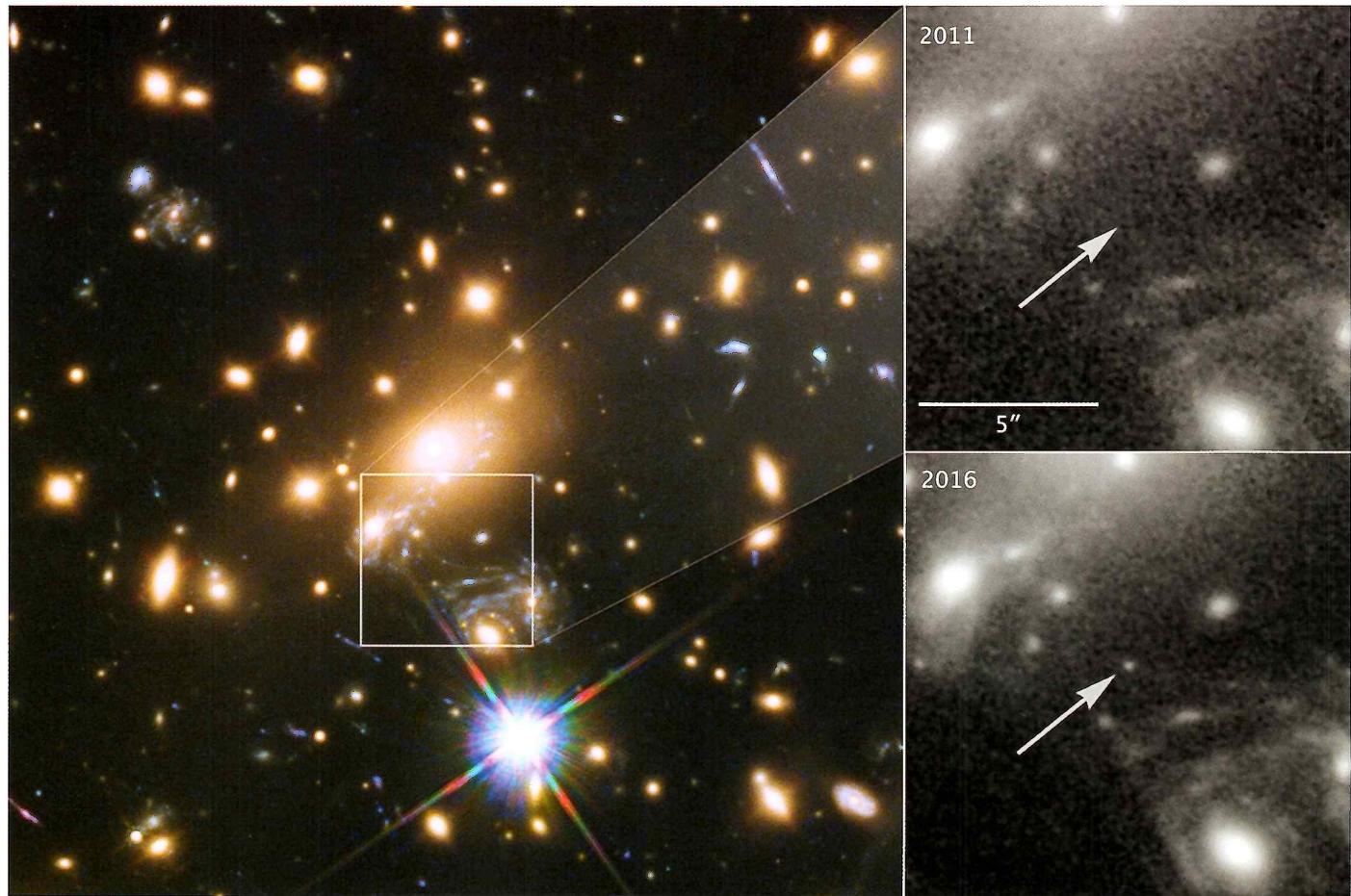
Doposiaľ to boli najmä kopy galaxií, prípadne jednotlivé galaxie, nikdy však jednotlivé hviezdy. Aj v tomto prípade pomohla k objavu náhoda v podobe gravitačnej šošovky, ktorá zvýšila jasnosť veľmi vzdialenej hviezdy až 2000 násobne. Podrobnosti o objave uviedol začiatkom apríla 2018 vedúci výskumu Patrick Kelly, ktorý v súčasnosti pôsobí na Univerzite v Minnesote (USA). Podrobnosti objavu publikoval najprestížnejší vedecký časopis *Nature Astronomy* 2, 334 – 342 (2018) iba nedávno.

HST pôvodne skúmal hlboké pole, v ktorom sa nachádzala kopa galaxií MACS J1149+2223 vo vzdialosti 5 miliárd svetelných rokov. V máji 2016 došlo k náhľemu zjasneniu časti špirálovej galaxie v pozadí, konkrétnie jedinej hviezdy, nachádzajúcej sa v blízkosti študovanej supernovy, ktorá bola hlavným cieľom pozorovacieho programu. Hviezde dali názov Icarus podľa jednej z postáv gréckej mytológie. Astronómovia sa zamerali na zosilnenú

hviezdu a analýza jej spektra ukázala, že ide o modrú nadobriu hviezdu s povrchovou teplotou 11 000 až 14 000 °C, ktorá je možno až 100 000-krát jasnejšia ako Slnko a nachádza sa vo vzdialosti 9,3 miliardy svetelných rokov od Zeme. V tak obrovskej vzdialenosťi by hviezdu nemohli pozorovať ani astronómovia vyzbrojení výkonnou optikou HST, keby im k tomu nedopomohla náhoda. Medzi Icara a HST sa vplyvom vzájomných pohybov dostala spomínaná kopa galaxií MACS J1149+2223, ktorá zafungovala ako gravitačná šošovka a navyše sa v kope galaxií prejavila hviezda trikrát hmotnejšia ako Slnko, ktorá vyvolala efekt gravitačnej mikrošošovky. Vďaka tomu sa hviezda Icarus stala dostupná pre prístroje HST, aj keď nie nadľho. Získané výsledky potvrdili, že vedci pozorovali rekordne vzdialenú normálnu hviezdu. Iné doposiaľ pozorované jednotlivé hviezdy sú približne až stოkrát bližšie, preto je tento počin výrazným rekordom v oblasti vyhľadávania veľmi vzdialených vesmírnych objektov. V čase, keď svetlo opustilo Icara a vydalo sa na cestu k nám, vesmír bol o dve tretiny mladší. Takéto pozorovania majú obrovský význam pre poznanie vývoja vesmíru v dávnej minulosti. Astronómovia odhadujú, že niečo podobné v budúcnosti umožní ešte výkonnejší

Vesmírny ďalekohľad Jamesa Webba (JWST). Žiaľ, jeho štart sa neustále odkladá. Pôvodne sme si mysleli, že jeho oko sa zahľadí do hlbokého vesmíru práve v tomto roku, no momentálne je jeho štart naplánovaný až na rok 2020. V tejto situácii sa ukazuje, aký nenahraditeľný význam pre výskum kozmu malo predĺženie „pracovnej zmluvy“ HST, ktorý mal už dávno zhoreť v atmosfére Zeme. Pripomeňme, že HST na obežnú dráhu vyniesol raketoplán Discovery v roku 1990; NASA pôvodne plánovala, že bude funkčný 15 až 20 rokov. Kritickým sa stal rok 2003, keď došlo k havárii raketoplánu Columbia a všetky ďalšie misie raketoplánov boli pozastavené. Údržba ďalekohľadu naplánovaná na rok 2005 neprichádzala do úvahy a NASA uvažovala, že ho ponechá svojmu osudu, čo by znamenalo, že po niekoľkých málo rokoch by vnikol do hustejších vrstiev atmosféry a definitívne by ukončil svoju objaviteľskú púť. Proti tomu sa však zdvihla vlna nesúhlásu v radoch vedeckej komunity rovnako ako aj v radoch verejnosti, a pod tlakom týchto názorov NASA prehodnotila svoje zámery. V roku 2009 vykonala poslednú opravnú misiu ďalekohľadu, ktorý tak môže ešte stále pokračovať vo svojej objaviteľskej práci.

L. H.

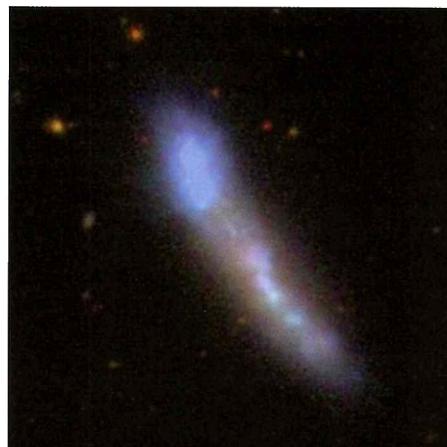


Na ľavej strane je časť hlbokého pola kopy galaxií MACS J1149+2223. Vložený štvorec vymedzuje oblasť, v ktorej hviezdu Icarus deteovali v roku 2016 vďaka zosilneniu jej žiarenia efektom gravitačného šošovkovania. Vpravo hore je tá istá oblasť oblohy nasnímaná už v roku 2011, pričom je zjavné, že hviezdu Icarus ešte nebolo vidieť.

# Nový prístroj na skúmanie galaxií

Jedným z hlavných cieľov stelárnej astronómie je objavovať a preskúmať najstaršie populácie hviezd v galaxiach, prekrytých jasnými masívnymi hviezdami. Na dobrej pomoci im bude prístroj Remove Young (Odstráň mladé), ktorý na snímkach galaxií dokáže „vygumovať“ svetlo mladých hviezd.

Morfológia, optický vzhľad galaxií vyplýva z ich evolučnej história. Hvezdári však zatiaľ netušia, ako sa tento vývoj zapísal do ich dnešnej morfológie. Je to jedna z najväčších záhad extragalaktického výskumu. Morfológiu každej galaxie, v ktorej sa ešte rodia hviezdy, najviac ovplyvňujú masívne, mladé hviezdy. V ich svetle/žiareni zanika-



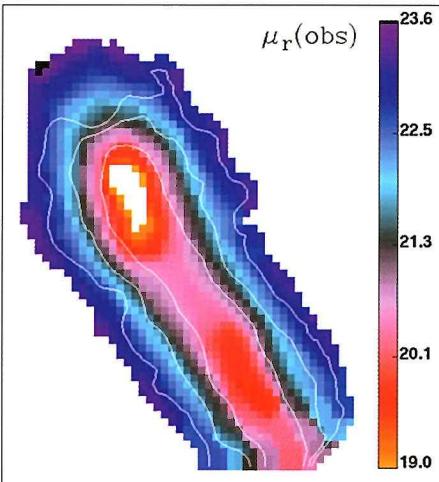
Galaxia NGC3991 (v skutočných farbách) zo Sloanovej digitálnej prehliadky oblohy.

jú štruktúry starších slabších hviezd v pozadí, čo skúmanie galaxie výrazne sťažuje. Pomocou prístroja Remove Young dokážu vedci numericky premiestniť hviezdné populácie, mladšie ako definovaný vek. Iba tak môžu preskúmať spektrálnu energiu, jasnosť povrchu či hustotu povrchu starších hviezdných populácií. Dômyselný prístroj využíva kombinovanú schopnosť spektrálnej syntézy i spektroskopie integrálneho pola.

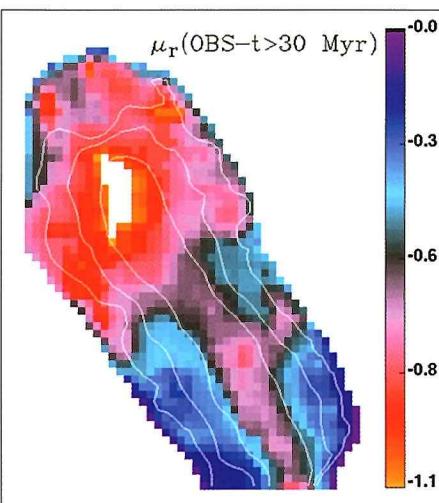
Táto technika ponúka pri skúmaní galaxií, kde sa rodia hviezdy, množstvo aplikácií. Dokáže rozlíšiť slápové chvosty, svedčiace o minulých interakciách, či gravitačných splynutiach pozorovanej galaxie; zvýšenú hviezdotvorbu v menších, vzdialených i blízkych galaxiach; pozostatky po slabých, trpasličích galaxiach, polapených gravitáciou veľkých špirálových galaxií.

Poznámka: trpasličie galaxie sú významným zdrojom hmoty, prispievajúcim k zväčšovaniu diskov či dokonca galaktických priečok, ktoré sa skladajú zo starých, slabých hviezd, skrytých za ovela jasnejšími oblasťami s búrlivou hviezdotvorbou uprostred hviezdných ostrovov.

Prístroj Remove Young vyuvinuli v portugalskom Instituto de Astrofísica e Ciências do Espaço (IA) Jean Michel Gomes a Polychronos Papaderos. Obaja pracujú na programe Rekonštrukcia histórie hviezdných formácií. Portugalci na tomto programe spolupracujú s vedcami Astronomického inštitútu pri Viedenskej univerzite. Rakúšania k výskumu „skrytých hviezd“ prispeli prehliadkou CALIFA, zameranej na zmapovanie teplého medzhviezdneho média v mladých galaxiach.



Mapa jasnosti povrchu galaxie NGC3991, ktorú vytvorili z údajov prehliadky CALIFA.



Použitie prístroja Remove Young: odstránenie emisií spojených s minulým a súčasným formovaním hviezd počas ostatných 30 miliónov rokov.

Astronomy and Astrophysics  
E. G.

## Prachový disk pri hviezde Proxima Centauri

Okolo najbližej hviezdy Proxima Centauri obieha okrem exoplanéty Proxima Cen b aj disk chladného prachu. Medzinárodný tím vedcov skúmal okolo hviezdy pomocou sústavy antén ALMA celých 20 hodín.

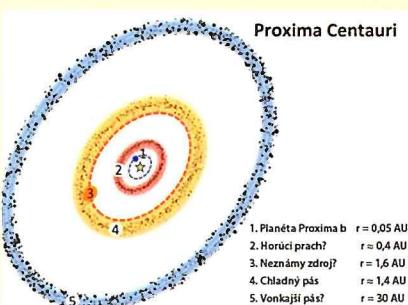
Exoplanéta obieha okolo hviezdy vo vzdialosti 7,5 milióna kilometrov, čo je 0,05 AU. Prašný disk je od hviezdy vzdialený 1 až 4 AU. Rovnako ako zodiákálny oblak v Slnečnej sústave, aj pás pri Proxime Centauri pravdepodobne tvoria jemné zrnká prachu s teplotou okolo -235 °C. Vedci predpokladajú, že okolo tejto malej slabej hviezdy azda obiehajú aj ďalšie planéty.

Pozorovania naznačujú, že štruktúra pásom okolo hviezdy je komplikovannejšia. Najväčšiu pozornosť vzbudil objav asymetrie v prachu; nemohla by to byť ďalšia planéta obalená prachom?

Vo vzdialosti 30 AU vedecký tím objavil aj príznaky existencie ďalšieho, chladnejšieho disku, ktorý priponíma Kuiperov pás v Slnečnej sústave. A vo vzdialosti 0,4 AU zoskupenia viacerých oblakov teplejšieho prachu. Nie je vylúčené, že aj v tomto prípade ide o prstenec prachu.

Všetky tri prstence krúzia okolo Proxymy Centauri až za obežnou dráhou jej, zatiaľ jedinej planéty. Medzinárodný tím vedie španielsky vedec Guillem Anglada a členom tímu je aj jeho menovec, objaviteľ exoplanéty Proxima Cen b.

*Astrophysical Journal Letters*  
E. G.



Autori článku v *Astrophysical Journal Letters* ilustrovali svoj výskum aj týmto obrázkom. Sú na ňom predpokladané zložky planétárneho systému Proxima Centauri, pričom otázníkmi označili zatiaľ neovereňné štruktúry.

KREDIT – G. Anglada et al.

# Kvantová gravitácia v Plochozemi

Predstavme si, že svet nie je troj-, ale iba dvojrozmerný. Ako by v takom vesmíre pôsobila gravitácia? Plejáda prekvapujúcich odpovedí viedie fyzikov k zjednotenej teórii prírody. K takzvanej teórii všetkého.

Jednotný popis prírody hľadajú fyzici už od nepamäti. Isaac Newton dokázal, že rovnaká sila riadi pád jablka aj pohyb planét okolo Slnka. James Clerk Maxwell spojil elektrinu, magnetizmus a svetlo do jedinej teórie elektromagnetizmu. O sto rokov neskôr si pridali fyzici slabú jadrovú silu a sformovali tak zjednotenú „elektroslabú“ teóriu. Albert Einstein spojil priestor a čas do jednotného časopriestorového kontinua.

V snahe nájsť univerzálny popis prírody je dnes pre fyzikov najväčšou výzvou zjednotiť gravitáciu a kvantovú mechaniku. Einsteinova teória gravitácie, jeho všeobecná teória relativity, opisuje zrod vesmíru, dráhy planét i Newtonovo jablko. Kvantová mechanika opisuje atómy, molekuly, elektróny a kvarky, základné subatomové sily a ešte všeličo iné.

Ale tam, kde by obe teórie mali platiť súčasne, kde sú gravitačné aj kvantové efekty výrazné, ako napríklad v čiernych dierach – tieto teórie nie sú kompatibilné. Nechcú sa „zjednotiť.“

Všetky doterajšie pokusy o zjednotenie oboch teórií sa skončili nezdaram. Napriek tomu, že sa o to počas ostatných 80 rokov pokúšali stovky fyzikov. Medzi nimi aj asi desiatka laureátov Nobelovej ceny.

V zložitých prípadoch ako je tento, fyzika naprievuje tak, že vytvára jednoduché modely, ktoré popisujú menšie kúsky komplexnej reality. Kvantová gravitácia podnietila vznik množstva takýchto modelov. Vrátane aproximácií, používaných vtedy, keď je gravitácia slabá, alebo v špeciálnych prípadoch ako sú čierne diery.

Asi najnezvyčajnejším pokusom je zanedbanie celej priestorovej dimenzie vesmíru a preskúmanie toho, čo by sa stalo, keby gravitácia pôsobila v dvojrozmernom vesmíre. (Korektné vzaté, fyzici takúto situáciu opisujú pomocou 2+1 rozmerov, teda s dvomi priestorovými a jednou časovou dimensiou). Princípy, ktoré riadia gravitáciu v takomto zjednodušenom vesmíre, môžu platiť aj v tom našom, trojrozmernom. Takýto proces zjednodušenia nám zároveň dáva nádej, že v nôm objavíme klúče k veľkému zjednoteniu.

Myšlienka odstrániť jednu z troch priestorových dimenzií sa po prvýkrát objavila v románe Edwina Abbotta „Flatland: A Romance of Many Dimensions“ v roku 1884. Opisuje

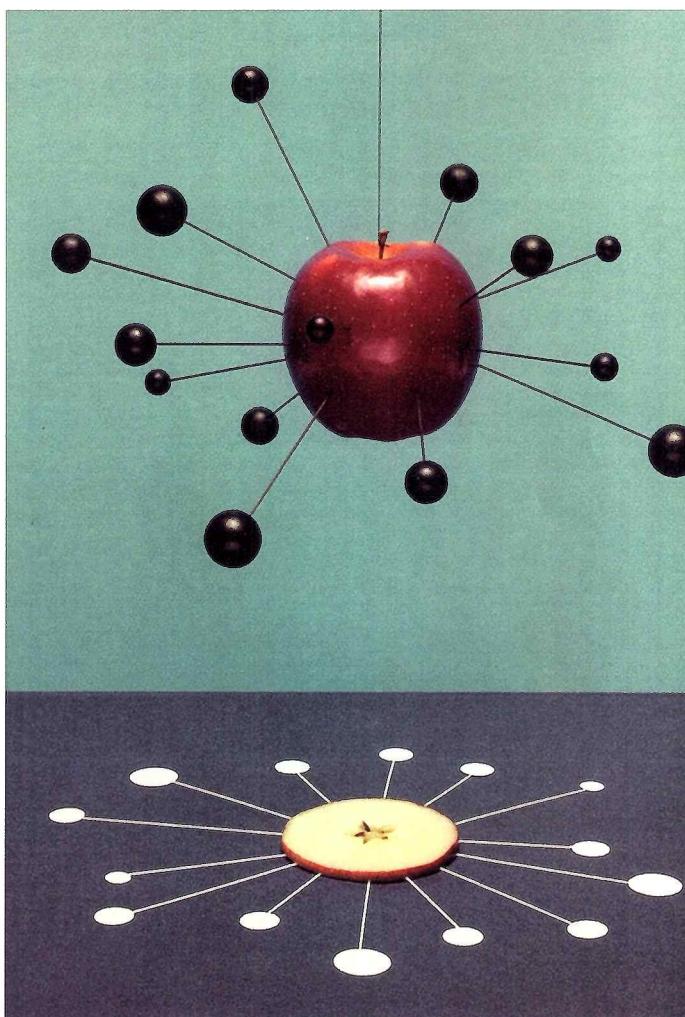
dobrodružstvá jedného „Štvorca“, obyvateľa dvojrozmerného, plochého sveta trojuholníkov, štvorcov a iných geometrických obrazcov. Bola to vlastne satira s cieľom kritiky viktoriánskej spoločnosti. Plochozem (Flatland) spravovala rigidná, triedna hierarchia, so ženou - priamkou na dne a triedou kňazov - kružnic na vrchole. Dielo vzbudilo pozornosť vedcov, ktorí sa zaoberali geometriou v priestoroch s rôznym počtom rozmerov. V kruhu matematikov a fyzikov je populárna dodnes. V snahe pochopiť našu viacrozmerskú skutočnosť sa vedci pokúšali predstaviť si, ako by nás trojrozmerný svet vnímal onen Abbotov zvedavý Štvorec. Plochozem tiež inšpirovala fyzikov študujúcich materiály ako grafén, ktorý sa skutočne správa akoby bol dvojrozmerný. Prvé štúdie venované dvojrozmernej gravitácii publikované koncom 60. rokov uplynulo leho storočia skončili v slepej uličke. V dvojrozmernom priestore bolo „príliš tesno“, takže zmeny v gravitačnom poli sa v nôm nemali kde šíriť. Až koncom 80. rokov 20. storočia vedci zistili, že gravitácia sa môže prejavovať najrozličnejšími, neraz nečakanými spôsobmi. Nielenže dokáže tvárovať priestor, môže vytvárať aj čierne diery. Gravitácia Flatlandu otvorila možnosť podrobniť niektoré z našich špekulačívnych ideí (napríklad holografický princíp, či vznik času) prísnym matematickým testom.

## Manažment času

Keď sa fyzici pokúšajú vypracovať kvantovú teóriu jednej z prírodných sôl, zvyčajne vychádzajú z príslušnej klasickej teórie. V prípade gravitácie popísanej všeobecnej teóriou relativity je to však komplikované hned od začiatku. Všeobecná teória relativity vyžaduje riešenie komplexného systému desiatich rovníc, každej

s bezmála tisíckou členov. Nakoľko tieto rovnice nedokážeme v ich úplnej všeobecnosti vyriešiť, sformulovať ich kvantovú verziu sa stáva sklučujúcou úlohou. Avšak záhada, prečo je kvantová gravitácia taká nedostihnutelná, sa skrýva ešte hlbšie.

Podľa všeobecnej teórie gravitácie je jav, ktorý nazývame „gravitáciu“, prejavom deformácie časopriestoru. Zem nekrúži okolo Slnka preto, že na ňu pôsobí akási „sila“, ale preto, že sa sice pohybuje po najroviejšej možnej dráhe, no v časopriestore, ktorý zdeformovala, zakrivila hmota Slnka. **Zjednoteňanie kvantovej mechaniky s gravitáciou** teda znamená nejakým spôsobom kvantovať štruktúru priestoru i samotného času. Je to skutočná výzva, ak si uvedomíme, že základným kameňom kvantovej mechaniky je Heisenbergov princíp neurčitosti, podľa



ktorého sú fyzikálne veličiny prirodzene neurčité, náhodne fluktuujú a nenadobudnú definitívne hodnoty, pokým nie sú zmerané. V kvantovej teórii gravitácie rovnako fluktuujú aj priestor a čas, otriasajúc tak základmi, na ktorých stojí ostatná fyzika. Bez zafixovanejho časopriestoru nedokážeme opísť polohy, rýchlosť, ani iné základné fyzikálne veličiny. Skrátka a jasne: **netušíme, čím kvantovaný časopriestor v skutočnosti je.**

Prekážky v snahe vytvoriť konceptiu kvanto-

vaného časopriestoru sa prejavujú viacerými spôsobmi. Jedným z nich je „**problém času**“. Čas je pre našu pozorovanú realitu rozhodujúci. **Bezmála každá fyzikálna teória je konec-koncov opisom toho, ako sa nejaká časť vesmíru mení s časom.** Fyzici by preto asi mali lepšie vedieť čo je „čas“. Trápnou pravdu však je, že to nevedia ani oni.

Podľa Newtona je čas absolútny, existujúci mimo prírody, pôsobiaci na hmotu, ale hmotou neovplyvnený. Bežná formulácia

kvantovej mechaniky myšlienku absolútneho času pripúšťa. Relativita však zosadila čas zo svojho absolutistického trónu. Pozorovatelia, ktorí sa vzhľadom na seba pohybujú, sa nezhodnú na tom, ako rýchlo plynne čas a dokonca ani na tom, či dve udalosti boli simultánne alebo nie.

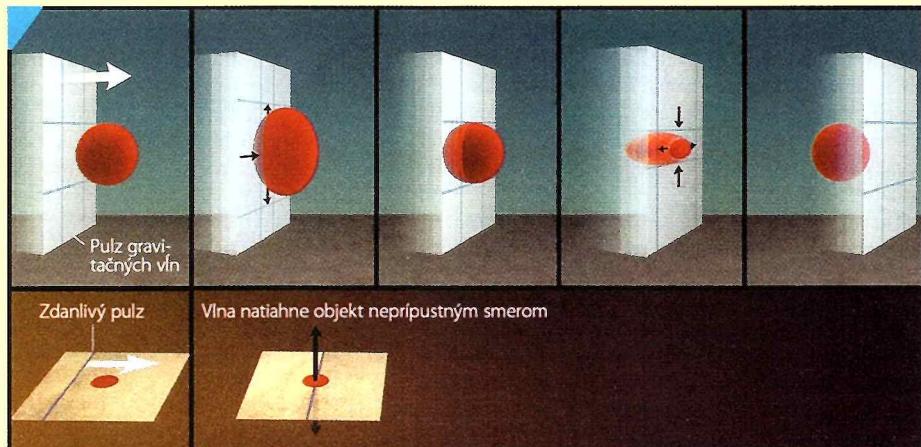
**Hodinky, ako aj čokoľvek, čo sa mení s časom, v silnom gravitačnom poli idú pomalšie.** Čas už nie je iba externým parametrom, stal sa aktívnym účastníkom čohokoľvek vo

## Ako funguje gravitácia v 2-D?

Ak zoberiete trojrozmerný priestor a sploštíte ho do dvojrozmerného, hmota nebude len omnoho tenšia. Gravitácia sa bude správať celkom odlišne. Štúdium gravitácie v dvojrozmernom priestore je pre fyzikov nácvikom pre omnoho zložitejšiu úlohu: ako spojiť Einsteinovu teóriu gravitácie (všeobecnú teóriu relativity) s kvantovou mechanikou a vytvoriť kvantovú teóriu gravitácie.

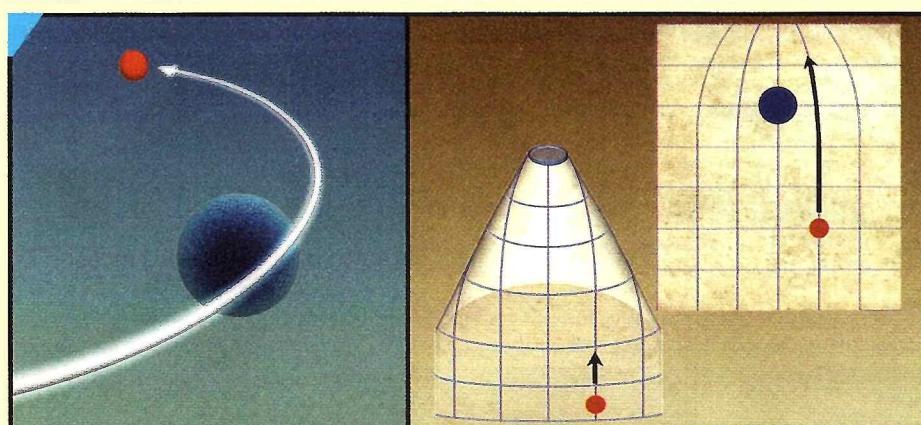
### Vlny sa práve rodia

Podľa všeobecnej teórie relativity sa zmeny v gravitačnom poli šíria priestorom v podobe gravitačných vĺn, ktoré sú nevyhnutne trojrozmerné: v jednom smere sa šíria a rytmicky deformujú (naťahujú i skracujú) objekty v dvoch kolmých smeroch (*hore*). Tieto vlny sa nedokážu šíriť v dvojrozmernom priestore (*dole*). A bez gravitačných vĺn fyzici nevedia gravitáciu kvantovať.



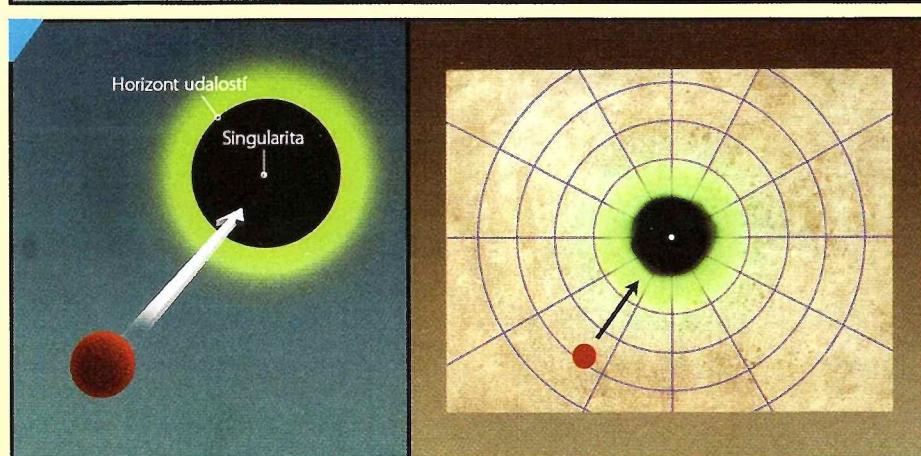
### Príťažlivosť pôsobí odlišne

Hmotný objekt deformuje časopriestor. V trojrozmernom priestore táto deformácia spôsobuje, že dva hmotné objekty na seba pôsobia podľa Newtonovho všeobecného zákona gravitácie. V dvojrozmernom prípade hmotný objekt deformuje priestor do tvaru kužeľa. Newtonov zákon je pozmenený: dráhy objektov, ktoré miňajú iné telesá, sú vychýlené, no objekty, ktoré sú v pokoji, aj v pokoji zostanú.



### Formovanie čiernej diery

Gravitácia sa v extrémnych podmienkach správa blázniivo. Vytvára fenomény, ktoré Newtonove zákony nepredpovedali: napríklad čierne diery, teda oblasti časopriestoru, do ktorých sa sice iné objekty (vrátane svetla) môžu dostať, no uniknú z nich už nemôžu. Jedným z najväčších prekápení dvojrozmernej gravitačnej teórie je, že čierne diery môžu existovať aj v dvoch dimenziah. Avšak iba za predpokladu, že priestor obsahuje tmavú energiu. Kvantové efekty spôsobujú, že horizonty čiernych dier v troj- i dvojrozmernom priestore žiazia ako horúce objekty.



**vesmíre.** Ak však neexistujú ideálne hodiny, nachádzajúce sa niekde „mimo“ vesmíru a určujúce rýchlosť každej zmeny, plynutie času musí mať svoj pôvod vo vnútorej štruktúre samotného vesmíru.

Problém času má svojho menej slávneho bratra. Tým je „**problém pozorovateľnosti**“. Fyzika je empirickou vedou, ktorej teórie musia dávať predpoveďe overiteľné na základe hodnôt pozorovateľných (experimentálne merateľných) veličín. V bežnej fyzike sú pozorovateľné veličiny naviazané na konkrétnu polohu v priestore: intenzita elektrického pola „tu“, či pravdepodobnosť nájsť elektrón „tam“. „Tu“ a „tam“ sú popísané súradnicami, napr.  $x$ ,  $y$  a  $z$ , pričom naše teórie predpovedajú, ako pozorovateľné veličiny závisia na týchto súradničiach.

Podľa Einsteina si však priestorové súradnice môžeme zvolať ľubovoľne. Sú to len pozorovateľmi vytvorené značky a vesmíru je úplne jedno, ako si ich zvolíme. Ak však nedokážeme identifikovať bod v časopriestore objektívne, potom ani nemôžeme tvrdiť, že vieme, čo sa tam deje.

Charles Torre z Utah State University ukázal, že kvantová teória gravitácie nemôže mať čisto lokálne pozorovateľné veličiny, teda také, ktorých hodnoty závisia iba na jednom bode časopriestoru. Vedci sa preto sústredili na **nelokálne** pozorovateľné veličiny, hodnoty ktorých závisia na mnohých bodoch súčasne! Jednou vetou: nielenže nevieme, ako takéto veličiny definovať, no ani len netušíme ako pomocou nich popísať vesmír, ktorý pozorujeme.

**Ďalším problémom je zrod vesmíru.** Naozaj vznikol z ničoho? Alebo sa vykľul zo staršieho, rodičovského vesmíru? Alebo je ešte čímsi iným? Každá zo spomenutých možností predstavuje pre kvantovú teóriu gravitácie istý problém. Jedným z nich je problém, kto-

rý si oblúbili spisovatelia sci-fi: sú to **červie diery**, aké sú skratky medzi rôznymi miestami v priestore, ba aj v čase. Ale aj fyzici sa o červie diery seriózne zaujímajú. Počas ostatných dvadsiatich rokov uverejnili o nich vedecké časopisy vyše tisíc článkov. Dodnes však netušíme, či sú takéto štruktúry vôbec možné.

A napokon, celá plejáda otázok sa týka aj najzáhadnejších objektov vesmíru: čiernych dier. Je možné, že práve ony nám ponúkajú to najlepšie „okno“ k samotnej podstate priestoru a času. Začiatkom 70. rokov uplynulého storočia poukázal Stephen Hawking na to, že čierne diery môžu žiariť ako horúca pahreba uhlia, pričom ich žiarenie zodpovedá absolútne čierнемu telesu s istou teplotou. (pozn. Hawkingovo žiarenie vzniká tesne nad horizontom udalostí v dôsledku kvantovo-mechanických vlastností fyzikálneho vákuu. Nedochádza tak k porušeniu obmedzenia všeobecnej teórie relativity, že nič, ani žiarenie nemôže uniknúť spod horizontu udalostí.) V každom inom fyzikálnom systéme odzráza teplota správanie sa jeho mikroskopických zložiek. Ak povieme, že v izbe je horúco, máme na mysli, že sa molekuly vo vnútri izby pohybujú energeticky. V prípade čiernej die-ry musia byť jej „molekuly“ kvantovo-gravitačné. V skutočnosti to nie sú molekuly, ale neznáme mikroskopické subštruktúry, ktoré fyzici nazývajú „stupňami voľnosti“, a ktoré by sa mali, alebo sa dokonca musia meniť. Nikto však netuší, čím sú naozaj.

#### Nevel'imi atraktívny model

Na prvý pohľad nie je Abbotova Plochozem tým najslubnejším miestom na zodpovedanie podobných otázok. Plochozem má veľa zákonov, ale ten gravitačný medzi nimi nie je. V roku 1963 poľský fyzik Andrzej Staruszkie-wicz navrhol, čím by tento zákon mohol byť,

keby sme použili teóriu relativity. Zistil, že hmotný objekt by v Plochozemi zdeformoval okolitý priestor do podoby kužela. Rovnako, ako keby ste poskrúcali do podoby kužela kus papiera. Malý objekt prechádzajúci ponad vrchol tohto kužela by zistil, že jeho dráha je zakrivená rovnako, ako gravitácia Slnka mení dráhu komety v našom vesmíre.

V roku 1984 traja fyzici (Stanley Deser z Brandeis University, Roman Jackiw z Massachusetts Institute of Technology a Gerard 't Hooft z Utrecht University) ukázali, ako sa kvantové časticie pohybujú takýmto priestorom.

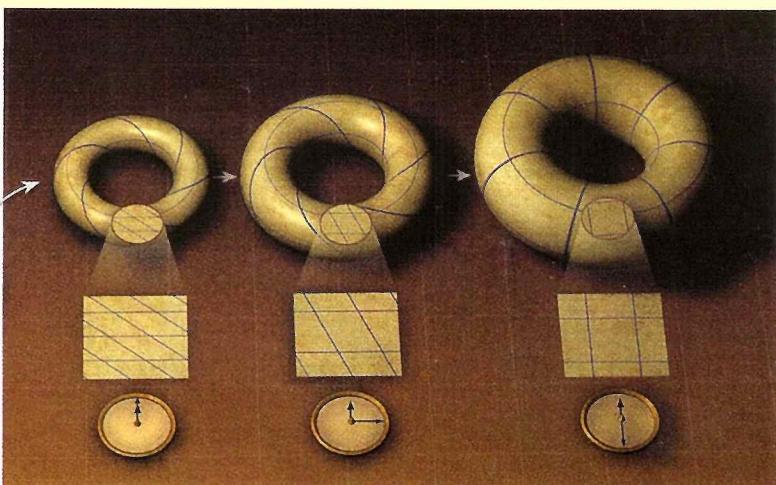
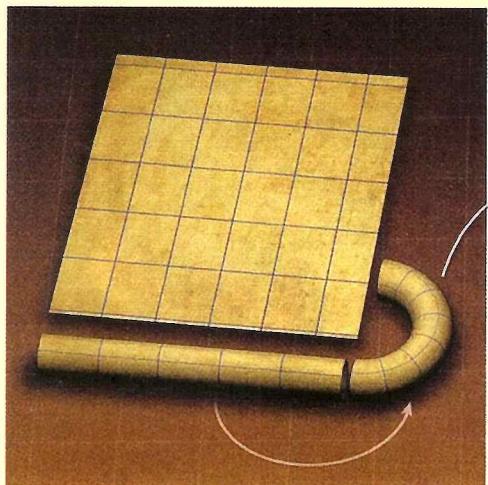
Táto geometria by bola oveľa jednoduchšia ako zložité krivky, ktoré gravitácia vytvára v našom štvorozmernom časopriestore. V Plochozemi by nepôsobila obdoba Newtonovho zákona príťažlivosti. V tomto svete by veľkosť sily závisela od rýchlosťi objektu a dve telesá, ktoré sú v pokoji, by k sebe nič nepríťahovalo. Táto jednoduchosť je pozoruhodná. Naznačuje, že kvantovanie v Staruszkiewiczevej teórii by bolo oveľa jednoduchšie ako kvantovanie úplnej všeobecnej teórie relativity v trojrozmernom priestore. Nanešťastie, táto teória je až príliš jednoduchá: nezostalo v nej nič, čo by sa dalo kvantovať. **V dvojrozmernom priestore nezostalo miesto pre dôležitejší prvok Einsteinovej teórie: gravitačné vlny.**

Uvažujme jednoduchší prípad elektromagnetizmu. Elektrické a magnetické polia sú generované elektrickými nábojmi a prúdmi. Maxwell ukázal, že tieto polia sa môžu odpútať od svojich zdrojov a voľne sa pohybovať v podobe elektromagnetických vln (svetla). V kvantovej verzii Maxwellovej teórie vlnám zodpovedajú fotóny, teda kvantá svetla. Aj gravitačné polia popísané všeobecnou teóriou relativity sa môžu odpútať od svojich zdrojov a voľne sa pohybovať v podobe gravitačných vln. Vedci predpokladajú, že kvantová teória gravitácie by mala obsahovať

## Ako kvantovať gravitáciu v dvoch rozmeroch?

Dvojrozmerná gravitácia ponúkla fyzikom nový pohľad na to, čím gravitácia vlastne je. Nie je totiž iba silou, ktorá sa šíri priestorom, pretože v dvojrozmernom priestore sa šíriť nemôže. Namiesto toho gravitácia spôsobuje zmeny celkového tvaru priestoru. Vedci preskúmali štvorcový (resp. rovnobežníkový)

vesmír, ktorý zrolovali do torusu. Torusy s najrozličnejšími veľkosťami a tvarmi zodpovedajú dvojrozmernému vesmíru v rozličných časových okamihoch. To, čo sa odohráva v ktorejkoľvek malej oblasti priestoru, odzrkadluje globálne vlastnosti priestoru; mikrokozmos a makrokozmos sú nerozlučne prepojené.



vať častice, nazývané gravitóny, ktoré zodpovedajú gravitačným vlnám.

Elektromagnetická vlna má polarizáciu: elektrické pole osciluje kolmo na smer šírenia sa vlny. Aj gravitačné vlny má polarizáciu, ale jej polarizačný vzorec je zložitejší: pole neoskujuje v jednom, ale súčasne v dvoch smeroch, ktoré sú kolmé na smer šírenia sa gravitačnej vlny. Plochozem však nemá dosť dimenzií pre takéto správanie. Ak je smer šírenia sa vlny daný, zostane už iba jeden ďalší kolmý smer. Gravitačné vlny a ich kvantové náprotivky, gravitóny, nemôžu byť natlačené do dvojrozmerného priestoru.

Staruszkiwiczova teória upadla časom do zábudnutia. V roku 1989 sa na scéne objavil Edward Witten z Institute for Advanced Study v Princeton, považovaný za jedného z najlepších matematických fyzikov. Zameriaval sa na špeciálne druhy polí, v ktorých sa vlny nešíria voľne. Keď zistil, že to platí aj pre dvojrozmernú gravitáciu, pridal dôležitú chýbajúcu príasadu: topológiu.

#### Svet v tvaru torusu

Witten zdôraznil, že aj keby sa gravitácia nedokázala šíriť v podobe vln, ešte vždy by dramaticky ovplyvňovala celkový tvar priestoru. Tento efekt sa však neprejaví, keď je Plochozem iba plochou doskou; vyžaduje si komplexnejšiu topológiu. Keď sa rozťažia ľadová socha, detaily zanikajú, ale isté útvary, napríklad dutiny, ostávajú. Topológia tieto útvary opisuje.

Dva povrhy majú rovnakú topológiu vtedy, ak jeden môžeme hladko zmeniť na druhý, bez strihania, trhania či zliepania. Napríklad: pologuľa a disk majú rovnakú topológiu: ak pologuľu budete na okrajoch rozťahovať, dostanete disk. Guľa však má inú topológiu: ak by ste ju chceli zmeniť na pologuľu, alebo disk, museli by ste z nej kúsok vystrihnuť.

Aj torus, ktorý pripomína známe americké šísky, má inú topológiu. Na prekvapenie však rovnakú ako povrch šálky na kávu: uško je priamo časť torusu a zvyšok šálky môžeme hladko, bez trhania či strihania „natiahnuť“ zo zvyšku. Ide o starý matematický žartík, že topológ nedokáže rozlísiť šísku od kávovej šálky.

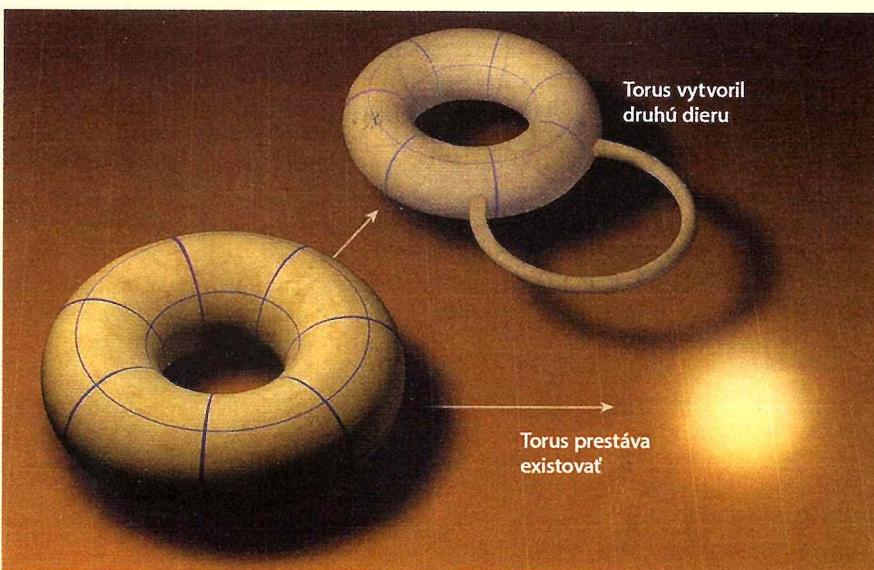
Torus sa zdá byť zakrivený, ak sa naň pozeraeme zvonku. No ak uvážime jeho vnútornú geometriu, je v skutočnosti plochý. To, čo robí torus torusom je fakt, že môžeme okolo neho obehnúť v dvoch nezávislých smeroch: cez dieru, alebo okolo jeho okraja. Je to niečo podobné ako vo videohrách 80. rokov uplynulého storočia, v ktorých hráčov bojovník unikal z obrazovky vpravo, aby sa na ňu vrátil zľava. Obrazovka je plochá, riadi sa pravidlami geometrie ako tým, podľa ktorého sa dve rovno-bežky nikde nemôžu stretnúť. **Náša topológia je však toroidná.**

V skutočnosti existuje nekonečne početná rodina torusov: všetky sú ploché, ale zakaždým iné, lišiace sa parametrom, ktorý nazývame modul. Gravitácia sa v toroidnom priestore prejavuje tým, že sa tento modul vyvíja v čase. Torus v momente big bangu startuje ako číra, ale otvára sa a postupne nadobúda čoraz väčšiu štvorcovú geometriu, pretože vesmír sa rozpína.

## Červie diery

V kvantovej teórii gravitácie, na rozdiel od Einsteinovej teórie, sa topológia vesmíru môže meniť. Táto vlastnosť môže vyriešiť niektoré dlhodobo nezodpovedané otázky o vesmíre. Napríklad: torus s jednou dierou sa môže zmeniť na torus s dvoma dierami,

čo by predstavovalo vytvorenie červej diery, skratky z jedného miesta na druhé. Červie diery by mohli byť využívané aj ako stroje času. A tiež, vesmír môže zaniknúť alebo sa zrodiť z úplnej ničoty.



Pomocou Wittenových výsledkov sa autor tohto článku pokúsil ukázať, že tento proces možno kvantovať a tak zmeniť klasickú teóriu gravitácie na kvantovú. Kvantová gravitácia v Plochozemi nie je teóriou gravitónov, ale torusov s meniacimi sa tvarami. **To je pomerné nezvyčajný pohľad na kvantovú teóriu, zvyčajne ponímanú ako teória veľmi malých objektov.** Kvantová gravitácia v dvoch rozmeroch je teóriou celého vesmíru ako jediného objektu. Tento pohľad nám ponúka vhodný model na výskum spomínaných základných problémov kvantovej gravitácie.

#### Zrodenie sa času

Gravitácia Plochozeme napríklad demonštruje, ako sa čas môže vynoriť z principiálne bezčasovej reality. V jednej z formulácií tejto teórie je celý vesmír opísaný pomocou jedinej kvantovej vlnovej funkcie, podobnej matematickým „nástrojom“, pomocou ktorých fyzici opisujú atómy a subatómové časticu. Táto vlnová funkcia nie je závislá na čase, pretože už obsahuje celý čas (minulosť, prítomnosť i budúcnosť) zabalenyj v jednom baliku.

A tato „bezčasová“ vlnová funkcia akosi spôsobuje zmeny, ktoré vo svete pozorujeme. Spomeňme si na Einsteinov aforizmus, že čas je to, čo ukazujú hodinky. Čas nemôže existovať mimo vesmír; je určený subsystémom, ktorý je zladený, korelovaný so zvyškom vesmíru. Rovnako ako sú náramkové hodinky zladené s rotáciou Zeme.

**Teória ponúka množstvo odlišných „hodiniek“ a iba náša voľba definuje, čo znamená „čas“.** Vo svete v tvaru torusu môže Štvorec definovať čas pomocou atómových hodín

a šíriť ho družicami, ako to robia naše GPS satelity. Plynutie času Štvorec dokáže odvodiť z veľkosti rozpínajúceho sa vesmíru alebo z hodnoty červeného posunu vyvolaného jeho rozpínaním. Možností je mnoho, no akonáhle uskutoční takúto volbu, všetky ostatné pozorovateľné fyzikálne veličiny sa menia s časom týchto „hodiniek“. Napríklad, modul torusového vesmíru je korelovaný s jeho veľkosťou a Štvorec to vníma ako vesmír vyvájajúci sa v čase. Samotná teória takto „vytiahla“ čas z bezčasového vesmíru.

Tieto myšlienky nie sú nové. Kvantová gravitácia vo svete v tvaru torusu nám však prinajmenšom ponúka prostredie, v ktorom dokážeme počítať a overovať tak, či naše teórie nie sú iba krásne, ale skutočne fungujú. Podaktore definície času majú však čudesné dôsledky, napríklad, že aj čas môže byť deformovaný, pokrčený.

Čo sa týka problému pozorovateľnosti, svet v tvaru torusu nám ponúka mnoho objektívne merateľných veličín, napr. moduly. Trik je však v tom, že tieto veličiny nie sú lokálne. Inými slovami: **neprináležia konkrétnemu miestu, ale popisujú štruktúru celého priestoru.** Čokolvek, čo meria Štvorec, je napokon len priblížením týchto nelokálnych veličín. V roku 2008 ukázala Catherine Meusburger (University of Erlangen-Nürnberg), aký vzťah majú tieto moduly k reálnym kozmologickým meraniám, ako sú oneskorovanie času a červené posuny pre svetelné lúče. Autor tohto článku študoval ich vzťah k pohybu objektov. Gravitácia Plochozeme poteší aj prívržencov červíckich dier. Prinajmenšom jedna z formulácií tejto teórie pripúšťa zmenu topológie priestoru. Štvorec sa môže uložiť k spánku v Guľa-

tej krajine (Sphereland) a zajtra sa prebudiť vo svete v tvare torusu, čo je ekvivalentom k vytvoreniu skratky medzi dvoma odľahlými oblastami vesmíru. V niektorých verziách tejto teórie môžeme opísť vznik vesmíru z ničoho pomocou prvotnej zmeny topológie.

### Okraj priestoru

Nakoľko je gravitácia v Plochozemi obmedzená, väčšina fyzikov (vrátane autora) sa nazdávala, že dvojrozmerné čierne diery nemôžu existovať. V roku 1992 však traja fyzici z Čile šokovali svet teoretických fyzikov. Máximo Bañados (Pontifical Catholic University of Chile, Santiago), Claudio Bunster/Teitelboim a Jorge Zanelli (oba z Center for Scientific Studies, Valdivia) dokázali, že teória pripúšťa existenciu čiernych dier za podmienky, že vesmír obsahuje istý typ tmavej energie!

Čierne diery, označované podľa týchto fyzikov ako BTZ, náramne pripomínajú čierne diery v našom vesmíre. Sformovali sa z hmoty, ktorá skolabovala v dôsledku svojej veľkej hmotnosti. Obklopuje ich horizont udalostí, spod ktorého už nič nemôže uniknúť. Vonkajšiu pozorovateľovi pripadá horizont udalostí ako okraj vesmíru: všetko, čo prepadne za horizont, ocitne sa navždy mimo nás. Podľa Hawkingovej teórie by Štvorec pozoroval ich žiarenie so zodpovedajúcou teplotou, závislou od hmotnosti a rotácie čiernej diery.

Ibaže: gravitáciu Plochozeme, bez gravitačných vln a gravitónov, by chýbali aj „gravitačné“ stupne voľnosti, ktoré by mohli vysvetliť teplotu čiernej diery. Tie sa tam však predsa len istým spôsobom vkradnú: samotný horizont udalosti je totiž akousi dodatočnou štruktúrou, ktorá sa v prázdnom dvojrozmernom priestore nevyskytuje. Horizont sa vyskytuje na niektorých lokalitách, ktoré, čisto

matematicky, rozšíria základnú teóriu dodatočnými veličinami. Stupeň voľnosti spôsobia vibrácie, ktoré otriasajú horizontom udalostí, čo pozoruhodne presne reprodukuje výsledky Hawkingovych výpočtov.

Nakoľko sú tieto stupne voľnosti vlastnosťami horizontu, nachádzajú sa v istom zmysle na okraji Plochozeme. Stali sa teda konkrétnou realizáciou fascinujúcej predstavy o podstate kvantovej gravitácie - holografického princípu. Podľa tohto princípu by dimenzie mali byť nahraditeľné!!! Podobne, ako sa v holograme premietne trojrozmerný obraz do dvojrozmerného polička filmu, veda fyzikov spekuluje o tom, že fyzika sveta s d-rozmernimi môže byť úplne zaznamenaná jednoduchšou teóriou v d-1 dimensiach. V teórii strún, ktorá je momentálne najslubnejším prístupom k zjednoteniu všeobecnej teórie relativity s kvantovou mechanikou, viedla táto myšlienka koncom 90. rokov uplynulého storočia k novátorškému prístupu, ako vytvoriť kvantovú teóriu gravitácie.

Gravitácia Plochozeme predstavuje zjednodušený scenár na overenie tohto pokusu. V roku 2007 Witten a Alexander Maloney (McGill University) opäť prekvapili svet fyziky tvrdením, že holografické predpovede, ako sa zdá, zlyhali pre najjednoduchšiu formu dvojrozmernej gravitácie. Teória, ktorú odvodili, predpovedala absurdné teplotné vlastnosti čiernych dier. Tento nečakaný výsledok naznačuje, že gravitácia je oveľa subtilnejší fenomén, ako sme sa nazdávali, čím vyvolal novú vlnu záujmu o výskum Plochozeme.

Nie je vylúčené, že gravitácia nemá sama osebe zmysel, že pôsobí iba v partnerstve s inými silami a časticami. Možno aj Einsteinova teória by mala byť poopravená. Možno budeme musieť nájsť spôsob, ako prinavrátiť niektoré

lokálne stupne voľnosti. Možno, že aj holografický princíp neplatí vždy. Ba čo viac: ani priestor (rovako ako čas) nemusí byť základnou zložkou vesmíru. Tak, alebo onak: gravitácia Plochozeme nás naviedla smerom, kam by sme inak nás výskum pravdepodobne nevedeli.

Reálnu, dvojrozmernú čiernu dieru vyrobí nedokážeme. Dokážeme však experimentálne overiť niektoré predpovede Plochozme. Na dvojrozmerných analógiach čiernych dier pracuje niekoľko laboratórií. Napríklad: kvapalina tečúca rýchlejšie ako rýchlosť zvuku vytvára akustický horizont udalostí, z ktorého zvukové vlny nemôžu uniknúť. Vedci tiež vytvorili dvojrozmerné čierne diery použitím elektromagnetických vln, ktoré sú uväznené na povrchu. (Pozri posledný obrázok). Takéto analógie by sa mali prejavovať kvantovou žiarou takmer rovnakým spôsobom ako čierne diery.

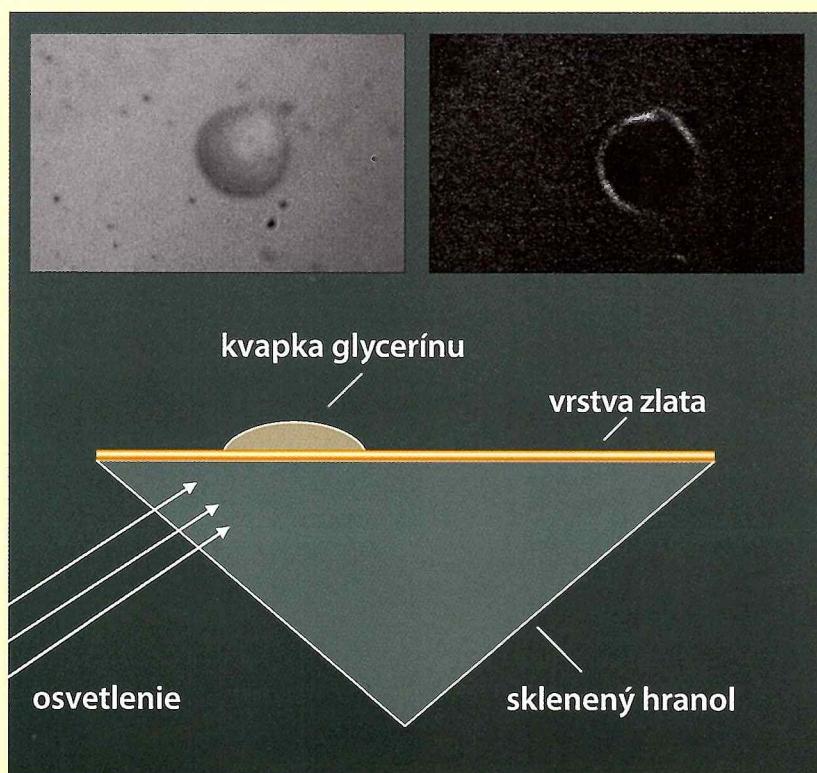
Kvantová gravitácia v Plochozemi sa objavila ako ihrisko fyzikov. Ako jednoduché prostredie, kde skúmajú myšlienky o kvantovej gravitácii reálneho sveta. Medzičasom nám však poskytla pozoruhodné myšlienky o čase, o tom, čo je pozorovateľné, ako aj o topológii, ktorá je možné preniesť do reálnej trojrozmernej gravitácie. Tento model ohromil vedcov bohatou ponukou: nečakane významnou úlohou topológie, pozoruhodnými čiernymi dierami, čudesnými holografickými vlastnosťami. Možno už onedlho pochopíme, čo to znamená byť Štvorcem žijúcim v plochom svete.

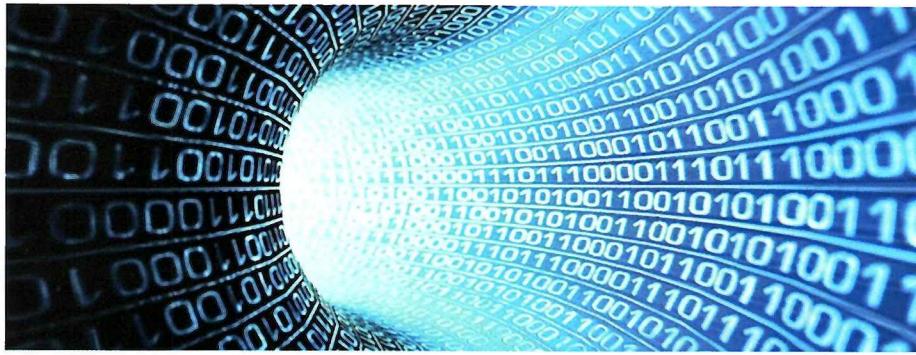
Steven Carlip

Autor bol študentom Bryce deWitta, jedného z priekopníkov kvantovej gravitácie. Dnes je profesorom na University of California v Davis.

## Skutočná Plochozem

Laboratórny systém Igora I. Smoljaninova a jeho spolupracovníkov z University of Maryland, ktorý napodobňuje Plochozem, je v podstate kovová (zlatá) plátna, pozdĺž ktorej sa šíria elektromagnetické vlny. Tieto dvojrozmerné analógie svetla/žiarenia sú známe ako povrchové plazmóny (surface plasmons) – kvázičastice, predstavujúce oscilácie elektrónového plynu v kryštalickej mriežke kovu. Kvapka tekutiny ich polapí podobne ako trojrozmerná čierna diera pohlcuje fotóny; analógiu horizontu udalostí sa prejaví ako biely okraj (obraz vpravo). Zatiaľ čo fyzici považujú gravitáciu Flatlandu za užitočné cvičenie na ceste k zjednotenej fyzike, podľa experimentátorov budú mať dvojrozmerné systémy praktické uplatnenie v optike.





# Žijeme v holograme?

Koncom 90. rokov 20. storočia teoretickí fyzici odhalili pozoruhodnú spojitosť medzi dvoma zdanlivo nesúvisiacimi koncepciami teoretickej fyziky. Táto spojitosť je takmer čisto technická, ale môže mať dalekosiahle dôsledky pre naše pochopenie gravitácie a dokonca aj vesmíru.

Aby sme túto spojitosť ilustrovali, začnime na nezvyčajnom mieste: na horizonte udalostí čiernej diery. Je všeobecne známe, že čierna diera sa zväčší, keď do nej spadne nejaká hmota alebo energia. Výskumníci zistili, že keď do čiernej diery spadne jeden bit informácie, plocha jej horizontu udalostí sa zväčší o veľmi presne danú veľkosť: o štvornásobok plochy štvorca so stranou rovnou Planckovej dĺžke ( $l_p \approx 1,6 \times 10^{-35}$  m).

Prekvapením však je, že je to **plocha, a nie objem**, ktorá rastie priamoúmerne množstvu pohltenej informácie, čo je úplne odlišné od správania sa ostatných objektov vo vesmíre. Pre väčšinu známych objektov totiž platí, že ak „**pohľad**“ jeden bit informácie, ich objem narastie o jednotku objemu, zatiaľ čo ich plocha iba o zlomok jednotky plochy. V prípade čiernych dier je to opačne. Ako keby sa informácia nenachádzala vo vnútri čiernej diery, ale namiesto toho sa prilepila na jej povrch. Možno teda konštatovať, že čierna diera, čiže trojrozmerný objekt v našom trojrozmernom

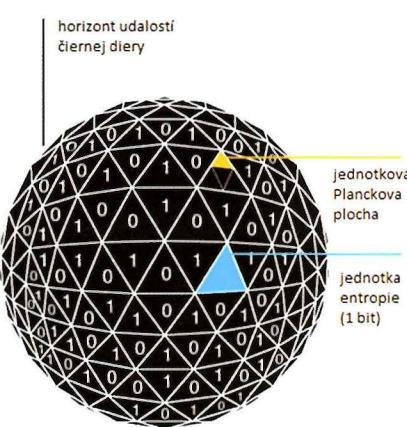
vesmíre, môže byť úplne reprezentovaná iba jej dvojrozmerným povrhom. A presne takto fungujú hologramy.

## Čierny hologram

Hologram je reprezentácia systému, ktorá má menej rozmerov ako daný systém, no napriek tomu stále oňom obsahuje všetky informácie. Vieme napríklad, že žijeme v trojrozmernom priestore. Keď si spravíme autoportrét, čip fotoaparátu zaznamená iba dvojrozmerné zobrazenie našej tváre. Keby sme neskôr chceli na fotografiu vidieť svoju tvár z profilu alebo ako máme učesané vlasy vzadu na hľave, nech by sme otáčali fotografiu akokoľvek, už to nie je možné. Tieto informácie sú stratené. Na rozdiel od fotografie však hologram zachová všetky informácie. Aj keď je to iba dvojdimenzionálna reprezentácia, stále ju môžeme skúmať zo všetkých smerov trojrozmerného priestoru.

Opis čiernej diery ako hologramu nám môže poskytnúť riešenie takzvaného informačného paradoxu čiernych dier, teda problému, čo sa stane so všetkými informáciami o hmote, pohltenej čierňou dierou. Bližšie vysvetlenie si zaslúží celý článok, teraz sa však zamerajme na niečo ovplyvnené „väčšie“. Konceptia čiernej diery ako hologramu je totiž dobrým štartovacím bodom pri úvahách o vesmíre ako celku!

**Entropia čiernej diery** je priamoúmerná ploche jej horizontu udalostí, hranice, spoza ktorej nemôže uniknúť nič, ani svetlo. Konkrétnie, ak má čierna diera horizont udalostí, ktorého plocha je  $A$  jednotiek Planckovej plochy (druhá mocnina Planckovej dĺžky,  $l_p^2 \approx 2,6 \times 10^{-70} \text{ m}^2$ ), potom jej entropia (v jednotkách Boltzmanovej konštanty) je rovná  $A/4$ . Ak uvážime entropiu ako mieru množstva informácií, tak jeden bit (0 alebo 1) zodpovedá štyrom jednotkám Planckových plôch. Dodajme, že Planckova dĺžka predstavuje **kvantovú jednotku vzdialenosť**, ktorá je definovaná pomocou základných fyzikálnych konštant: rýchlosť svetla vo vákuu, gravitačnej konštanty a Planckovej konštanty, efektívne tak v sebe spájajúc všeobecnú teóriu relativity (ako teóriu gravitácie) a kvantovú mechaniku.



## Na hranici

Spojitosť medzi dvoma zdanlivo nesúvisiacimi odvetviami teoretickej fyziky, ktorú sme spomínali na začiatku článku, je ďalšou aplikáciou holografickej techniky; skrýva sa za na prvý pohľad nič nehovoriacou skratkou AdS-CFT. AdS známená „anti-de Sitterov“, čo je jedno špecifické riešenie Einsteinových gravitačných rovnic, ktoré popisuje úplne prázdny vesmír s hyperbolickou geometriou, teda so zápornou priestorovou krivosťou (pozri obrázok). To je celkom nudný vesmír: neobsahuje žiadnu hmotu ani energiu a rovnobežky sa v ňom kvôli hyperbolickej geometrii vždy rozbiehajú. Hoci takýto model nepopisuje vesmír, v ktorom žijeme, model vesmíru to je. A navyše má všetky potrebné matematické vlastnosti na to, aby teoretici mohli previesť spojenie, ktoré hľadajú.

Na druhej strane tohto spojenia je koncepcia známa ako konformná teória pola (CFT). Teoretická fyzika je plná teórií pola. Pre vedcov sú to základné nástroje, keď chcú popísť tri zo štyroch základných prírodných sil v rámci kvantovej mechaniky. Elektromagnetizmus, slabá i silná jadrová sila, všetky tri majú svoj popis v rámci teórie pola a za posledné polstoročie fyzici získali veľa skúseností s ich používaním.

Teraz, keď poznáme definície pojmov, podme sa pozrieť na to, prečo je toto spojenie také dôležité.

Povedzme, že sa pokúšame vyriešiť skutočne náročný problém, ako je napr. kvantovať gravitáciu pomocou teórie strún. Táto teória je dnes asi najslávnejším prístupom ako vysvetliť všetky základné sily a čästice vo vesmíre pomocou malých, vibrujúcich strún. Je to však taký zložitý problém, že v skutočnosti ešte nikto nenašiel jeho riešenie, a to aj napriek tomu, že sa o to pokúša množstvo teoretických fyzikov už po celé desaťročia. Spojenie AdS-CFT nám však umožní použiť holografickú techniku, aby sme sa tomuto problému možno konečne dostali na kobylku.

Namiesto toho, aby sme sa snažili prísť na to, ako kvantovať gravitáciu v našom trojrozmernom vesmíre, AdS-CFT nám umožňuje prejsť na úplne ekvivalentný problém na hranici vesmíru. Hranica vesmíru má totiž dve výhodné

vlastnosti: po prvej, má iba dva rozmery a po druhé, neobsahuje gravitáciu! Áno, je to skutočne tak. Na hranici nie je žiadna gravitácia. Takmer nezdolateľné matematické výpočty teórie strún nahradzajú sústava sice ešte stále šialene ľažkých, no nie neriešiteľných rovníc teórie pola. Ak nájdeme riešenie týchto rovníc na hranici, kde nám situáciu nekomplikuje otravná gravitácia, keďže ide o ekvivalentné úlohy, nebude problém preniesť toto riešenie späť do nášho priestorovo trojrozmerného vesmíru a predpovedať na jeho základe vlastnosti overiteľne pomocou pozorovania.

**Nie tak zhurta**

Podvádzajú prírodu obchádzaním jej gravitačných machinácií znie ako vynikajúci nápad. A tiež to môže byť skvelý spôsob vyriešenia problému s kvantovaním gravitácie. Je tu však zopár háčikov. Po prvej, nežijeme v anti-de Sitterovom vesmíre. Nás vesmír je plný hmoty, žiarenia a temnej energie a má takmer presne plochú geometriu. Existuje podobné spojenie aj pre takýto vesmír? Možno, teoretickí fyzici na jeho odhalení usilovne pracujú. Po druhé, „hranica“, použitá pre spojenie AdS-CFT, vlastne predstavuje kozmologický horizont – hranicu pozorovateľného vesmíru. To by bolo v poriadku, no my žijeme v dynamickom časopriestore, vo vesmíre, ktorý sa rozpína (a to stále rýchlejšie), takže táto hranica sa tiež stále mení. Táto jej vlastnosť je niečo, s čím teoretickí fyzici zatiaľ nevedia veľmi narábať. A nakoniec, aj keď prejdeme z úplne opisateľného anti-de Sitterovho vesmíru do jednoduchšieho hraničného modelu, v ktorom platí konformná teória poľa, nové súbory rovníc sú riešiteľné iba v princípe. Môžu byť a často aj sú stále neuveriteľne ľahko riešiteľné. Takže len to, že sme obišli gravitáciu, ešte neznamená, že sme už vyziazi k kaše.

Skutočne teda žijeme v holograme? Odpovezť znie Nie. Spojenie AdS-CFT sa sice ukázalo ako veľmi užitočné pri hľadaní teórie kvantovej gravitácie, no aj keby sme našli spôsob, ako prekonať všetky problémy spojené s uplatnením tejto teórie na nás trojrozmerný vesmír, ešte stále to neznamená, že skutočne žijeme v holograme. To, že spojenie AdS-CFT je veľmi šikovným nástrojom riešenia zložitých problémov gravitácie ešte neznamená, že nás priestorovo trojrozmerný vesmír s gravitáciou je iba ilúzia a my v skutočnosti žijeme na dvojrozmernej hranici bez gravitácie. Tejto logickej chyby sa často dopúštajú novinári túžiaci po senzačných titulkoch.

Matematická konštrukcia, akokoľvek užitočná, je stále len opisom povahy reality, nie realita samotná. Ani model vesmíru nie je samotný vesmír. Preto, aj keď sú holografické princípy užitočné pri riešení problémov, nemusí to nevyhnutne znamenať, že žijeme v holograme. Napokon aj keby sme v holograme žili, ešte stále nie je isté, či by sme boli schopní rozpoznať rozdiel...

*Paul Sutter pracuje ako astrofyzik na Ohio State University a je vedúcim vedeckým pracovníkom Centra pre vedy a priemysel COSI.*

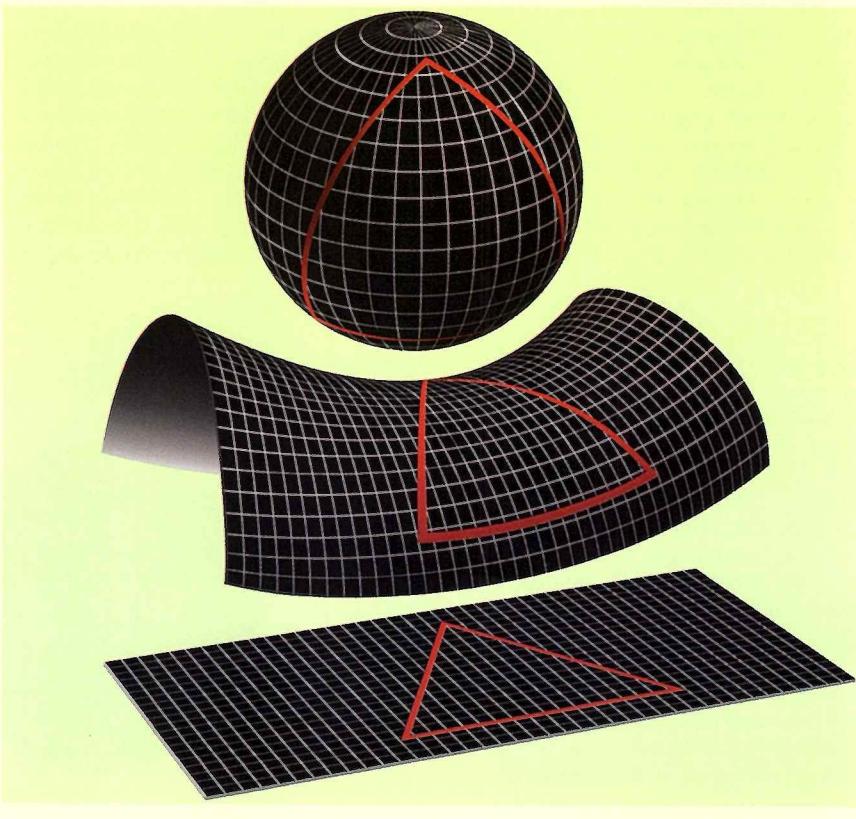
*Spracoval Rudolf Gális*

# Anti-de Sitterov vesmír

Riešením Einsteinových gravitačných rovníc je časopriestor, ktorý svojimi geometrickými vlastnosťami (napr. krivostou) zodpovedá rozloženiu a pohybu hmoty/energie nachádzajúcej sa v tomto časopriestore. Riešenie týchto rovníc tiež závisí od hodnoty kozmologickej konštanty. Aj pre úplne prázdný vesmír, teda taký, v ktorom sa žiadna hmota/energia nenachádza, by sme dostali tri riešenia – časopriestory líšiace sa svojou priestorovou krivostou. Ak je kozmologická konšanta kladná, riešením je časopriestor s konštantou kladnou krivostou, ktorý označujeme ako de Sitterov. Príkladom dvojrozmerného priestoru s kladnou krivostou je povrch sféry. V prípade zápornej hodnoty kozmologickej konšstanty je riešením Einsteinových rovníc pre úplne prázdný vesmír tzv. anti-de Sitterov časopriestor, ktorý má zápornú priestorovú krivosť. Sedlová plocha je príklad dvojrozmerného priestoru so zápornou krivostou. Ak je kozmologická konšanta nulová, riešením je Minkowského (plochý) časopriestor, ktorý má nulovú priestorovú krivosť a popisuje ho Euklidova geometria. Dodajme, že na základe súčasných pozorovaní má kozmologická konšanta kladnú hodnotu, čo zodpovedá fyzikálnemu vákuu s kladnou hodnotou hustoty energie a záporným tlakom.

Anti-de Sitterov a de Sitterov časopriestor sú pomenované podľa Willema de Sittera (1872 – 1934), profesora astronómie na Leiden University a riaditeľa Leiden Observatory, s ktorým Albert Einstein spolupracoval v 20. rokoch 20. storočia na otázkach týkajúcich sa vlastností časopriestoru vesmíru.

**Dvojrozmerné priestory s rôznou krivostou.** Povrch sféry je príkladom priestoru s konštantou kladnou krivostou (hore), sedlová plocha má zápornú krivosť (uprostred), zatiaľ čo rovina je dvojrozmerný priestor s nulovou krivostou (dole). Geometria priestoru sa prejaví jej rôznymi geometrickými vlastnosťami. Napríklad, súčet uhlov v trojuholníku je v plochej (Euklidovej) geometrii rovný 180 stupňov. Vo sférickej geometrii je to viac a v hyperbolickej (Lobačevského) zase menej ako 180 stupňov. Vo sférickej ani hyperbolickej geometrii neplatí známa axiomá o rovnobežkách: v rovine, k danej priamke daným bodom možno viesť práve jednu priamku, ktorá sa s danou priamkou nepretíná. Vo sférickej geometrii neexistuje ani jedna taká priamka, zatiaľ čo v hyperbolickej geometrii je ich nekonečne mnogo.



# Horizont nášho vesmíru

**Horizont ľudstva nie je dramaticky menší ako jeho vesmír, v ktorom žijeme. Do akej vzdialenosť však náš vesmír siaha? To sa zrejme nikdy nedozvieme. Pozorujeme z neho iba malý kúsok a na tom sa nezmení nič. Dôvodom sú dva základné poznatky z Einsteinovej teórie relativity.**

Po prvej: rýchlosť svetla vo vákuu je univerzálnou prírodnou konštantou s konečnou hodnotou (bezmála 300 000 km/s). Po druhé: priestor, presnejšie časopriestor, nie je strnulý, rigidný, ale premenlivý. To napokon neplatí iba pre okolie telies s vysokou hmotnosťou (čo dokazujú zmeny dráhy svetla v gravitačnom poli hmotných telies) a pre gravitačné vlny, ale aj pre vesmír ako celok.

Vďaka energii big bangu spred 13,8 miliárd rokov sa vesmír neprestajne rozpína. Vzdialenosť medzi galaxiami sa zväčšuje, čo významne obmedzuje našu túžbu po poznaní. Touto hranicou (bez preháňania môžeme hovoriť o okraji pozorovateľného vesmíru, ako v predchádzajúcim čísle Kozmosu) je náš horizont.

## Rozpínanie vesmíru nadsvetelnou rýchlosťou

Keby náš vesmír vyskočil z ničoty do exis-

tencie jednoducho, akoby z kúzelníkovho klobúka a odvtedy ostal statickým, platilo by: vzdialenosť nášho horizontu možno vypočítať z veku sveta pomocou rýchlosťi svetla. Inými slovami: **polomer pozorovateľného vesmíru je 13,8 miliárd svetelných rokov.**

Lenže vesmír nie je statický, rozpína sa. To znamená, že svetlo vzdialenosť galaxií sa musí naťahovať, predĺžovať. Do vzdialenosť vyše 13,8 miliárd svetelných rokov dohliadneme iba preto, že rozpínajúci priestor strháva so sebou aj svetlo. Teda nie preto, že by sa svetlo pohybovalo nadsvetelnou rýchlosťou. Ibaže: vzdialenosť galaxie sa od nás naozaj vzdialuje nadsvetelnou rýchlosťou! Ako je to možné, keď sa podľa špeciálnej teórie relativity svetlo a hmota môžu pohybovať nanajvýš rýchlosťou svetla? Podľa všeobecnej teórie relativity (ktorá je teóriou dynamického časopriestoru) však rýchlosťový limit pre rozpínanie vesmíru neplatí. Existuje iba pohyb priestoru.

Vzdialosť galaxií nadsvetelnou rýchlosťou sa globálne prejavuje až z istého odstupu, keď sa už expansia medzi nami a galaxiami dostatočne prejaví. **V lokálnom vesmíre sa hmota pohybuje vždy pomalšie ako svetlo.** Galaxie sú malé, v danej vzťažnej sústave sa nám môžu javiť ako nehybné. Iba v prípade,

keď sa silnejšie prejavia ich vzájomné gravitačné interakcie, môžeme zaznamenať nepatrný pohyb.

## Sila big bangu

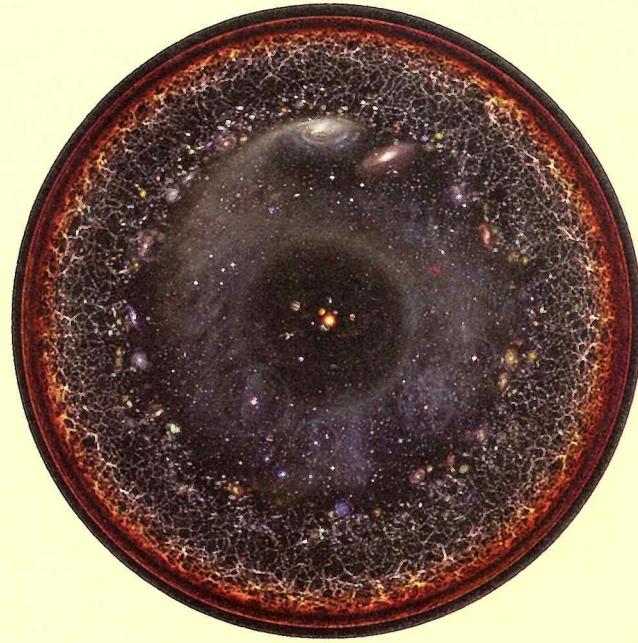
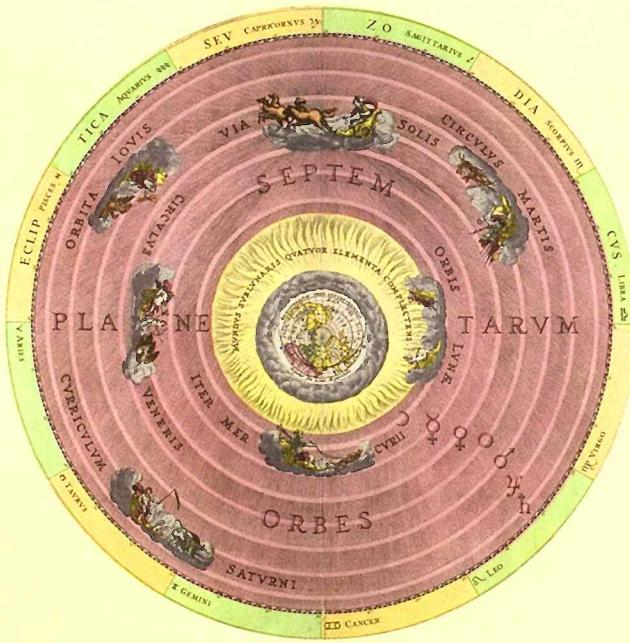
Náš kozmický horizont je teda väčší ako v zidealizovanom prípade statického priestoru. Ten sa však v prírode nemôže uskutočniť, pretože by bol nestabilný. Ako ďaleko však môžeme dohliadnuť? To závisí od rýchlosťi rozpínania vesmíru. Nielen v prítomnosti, ale aj vzhľadom k ľubovoľnému bodu časopriestoru v minulosti. Aktuálnu hodnotu rozpínania vesmíru vyjadruje Hubbleva konštantu  $H_0$ . Pomenovali ju podľa Edwina P. Hubbla, ktorý ju vypočítal pomocou údajov o červenom posune vzdialenosť galaxií.

Táto konštantu však nie je konštantná. Hned po big bangu mala vyššiu hodnotu. V dôsledku zoskupovania hmoty, a z neho vplyvajúceho brzdiaceho vplyvu gravitácie, sa rozpínanie vesmíru začalo spomaľovať. Spomaľovanie rozpínania (znižovanie hodnoty  $H_0$ ) mohlo pokračovať, ba obrátiť sa aj do fázy kontrakcie, ktorá by v ďalekej budúcnosti vyrcholila kolapsom vesmíru (big crunch). Astronomické údaje z ostatných desaťročí a ich analýza však odhalili čosi, čo vedcov zasko-

## Okraje vesmíru kedysi a dnes

Podľa geocentrického svetonázoru (od antiky až po stredovek) bola Zem stredom vesmíru. Zem obalovali vrstvy kozmických sfér so Slnkom, Mesiacom, planétami a stálicami. Za poslednou sférou boli už iba svätí, anjeli a Boh. *Lavý obrázok* pochádza z knihy „Harmonia Macrocosmica“ (1660). Autorom je Andreas Cellarius. V modernej kozmológii stred sveta nejestvuje, ale každý pozorovateľ je do istej miery stredobodom vlastného spôsobu nazerania, pričom

ich okraj v podstate určuje efektívny horizont častic. Na pravom obrázku vidíme logaritmické znázornenie univerza so Slnčenou sústavou uprostred. Smerom od stredu, v čoraz väčšom zmenšení, až po najvzdialenejšie kopy galaxií a plazmový stav vesmíru po big bangu. Pohľad do priestoru je zároveň (kvôli rýchlosťi svetla) aj pohľadom do minulosti (studne času). Preto nevyhnutne narazíme na nepreniknuteľnú hranicu, aj keby bol vesmír za ňou nekonečný.



čilo: zhruba pred 5 miliardami rokov sa vesmír opäť začal rozpínať.

Prečo? To je jedna z najväčších nevyriešených záhad kozmológie. Naznačuje to, že Einsteinova kozmologická konštantá má nenulovú hodnotu. Ak je kladná, pôsobí antigravitačne, to znamená odpudivo. (Pozri rámcik „*Modely vesmíru*“).

### Kozmické čísla

Ako ďaleko sa nachádza okraj pozorovateľného vesmíru? To závisí od niekoľkých čísel. Nemasia to byť iba astronomicky namerané, ale aj do teoretického modelu vesmíru začlenené údaje (jedno z riešení Einsteinových rovníc). Je to model, pomocou ktorého možno vypočítať „**hodnotu okraja**“.

Hodnoty relevantných kozmických parametrov zatiaľ nie sú definitívne. Definitívne úsudky a predstavy teda nezávisia iba od modelu, ale aj od presnosti nameraných údajov. Nevyhneme sa ani odpovediam na otázky, či už poznáme všetky faktory vplyvu.

Napriek tomu: medzičasom sa údaje natol'ko spresnili a modely sa zdokonalili do takej miery, že na väčšinu otázok poznáme pomerne spoľahlivé, hoci len približné odpovede.

Platí to v prvom rade pre údaje zo sondy WMAP (Wilkinson Microwave Anisotropy Probe) vypustenej v roku 2003. Údaje zo sondy Planck tieto poznatky významne podopreli, ale zásadne nezmenili.

John Richard Gott III z americkej Princeton University zhrnul stav poznania v tejto oblasti

takto:

**1)** „**Okraj**“ pozorovateľného univerza, mikrovlnné žiarenie kozmického pozadia (CMB), vidíme vo vzdialosti 45,6 miliárd svetelných rokov. Pochádza z obdobia, keď veľkosť dnes pozorovateľného vesmíru bola zhruba 42 miliónov svetelných rokov.

**2)** Za „**tapetu**“ žiarenia pozadia (CMB) nedokážeme nazriet. Predtým, ako sa CMB vytvorilo, teda 380 000 rokov po big bangu, bol totiž vesmír horúci a nepriehľadný. Informácie spoza tejto tapety nám (iba do istej miery) môžu poskytnúť iba neutrína a gravitačné vlny. Neprekonateľnou prekážkou našej vedeckej zvedavosti je to, čo fyzici nazývajú **efektívny horizontom častic**. Nijaká informácia spoza tohto horizontu k nám nemohla zatiaľ (kvôli konečnej rýchlosťi svetla) dospiť. Tento okraj od nás delí, dookola, všetkými smermi, 46,6 miliárd svetelných rokov. **Nakoľko sa vesmír ďalej rozpína, v budúnosti dohliadneme aj do väčšej vzdialenosťi.** Najväčší fyzikálne prípustný horizont častic má polomer zhruba 62 miliárd rokov. Svetlo zo vzdialenejších galaxií k nám nikdy nedospeje, ak len vesmír v budúnosti nezačne kolabovať. Kozmológovia hovoria, že tie galaxie od nás oddeluje „**horizont udalostí**“.

**V dnes pozorovateľnom vesmíre** (asoň podľa Gotta a jeho kolegov) sa **vyvíja 170 miliárd veľkých, jasných galaxií. Plus: 100-krát toľko trpasličích galaxií. Vo všetkých galaxiách sa nachádza najmenej  $10^{23}$  hviezd.** Keby sme sa ich pokúsili pomocou rádiových vln (šíria-

ich sa rýchlosťou svetla) preskúmať, „ohmatali“ by sme nanajvýš 10 % z nich. Všetky ostatné sa totiž (kvôli rozpínaniu vesmíru) budú vziať do vzdialosti nadsvetelnými rýchlosťami. Platí to pre všetky galaxie so spektrálnymi červenými posunmi od  $z = 1,5$  až po  $z = 1,7$ . Presná hodnota závisí od kozmologického modelu. Ten zodpovedá obdobiu zhruba 4 miliardy rokov po big bangu a vzdialenosť 14 až 16 miliárd svetelných rokov od nás. Inými slovami: **astrónomovia (ale iba pomocou najvýkonnejších prístrojov) pozorujú dnes galaxie, ktoré už onedlho náš horizont opustia.**

### Prach v nekonečne

Čo sa deje za horizontom pozorovateľného vesmíru? Najjednoduchšia odpoveď na túto otázku závisí od celkového zakrivenia, počasného od geometrie vesmíru. Tej merateľnej geometrii. Podľa najnovších údajov je vesmír „bezmála plochý“. Nachádza sa teda v euklidovskom rozhraní, medzi uzavretým, konečným, do seba zakriveným a otvoreným, nekonečným vesmírom. Ak je tomu naozaj tak, empirická odpoveď na otázku nejestvuje. V porovnaní s priemerom pozorovateľného vesmíru predstavuje priemer Zeme (12 742 km) 0,0000000000000002 percenta. Na retiazku, ktorou by sme chceli prizdobiť nás vesmír, by sme potrebovali navliecť 40 triliónov ( $40 \times 10^{18}$ ) zemegulí.

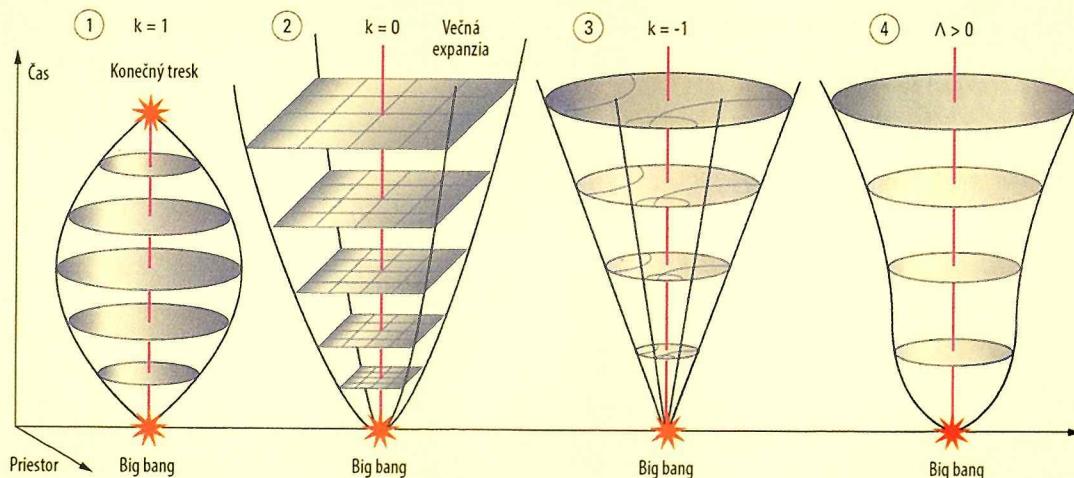
Takí sme: zrniečko prachu vo vesmíre, ale chceme sa o ňom dozvedieť všetko.

Bild der Wissenschaft 11/2017 E. G.

## Modely vesmíru

V najjednoduchších modeloch vesmíru, v rámci teórie relativity, sa kozmos zrodil big bangom a odvtedy sa rozpína. Budú sa bude rozpínať donekonečna, alebo obsahuje viac energie a hmoty ako priprúšta presne definovaná hraničná hodnota – **kritická hustota**. V takom prípade, pod vplyvom vlastnej gravitácie, skolabuje. Vo všetkých prípadoch určuje osud vesmíru i jeho geometrie množstvo hmoty a energie: geometricky uzavretý, teda sférický, či do seba zakrivený vesmír s kladnou metrikou ( $k = 1$ ) má konečný objem a rovnako ako povrch gule nekonečný plošný obsah. Skolabuje, až kým, opäť v singularite, nezanikne (obr. 1). Ak je metrika a tým aj globálne zakrivenie hyperbolické, teda záporné ( $k = -1$ ), ako v prípade jazdeckého sedla (obr. 3), alebo v euklidovsky hraničnom prípade ploché ( $k = 0$ ), také ako povrch stola (obr. 2), potom je kozmický priestor nekonečne

veľký a bude sa neprestajne rozpínať. (V skutočnosti sa rozpína čoraz pomalšie, lebo ho brzdí gravitácia jeho „vnútorností“). Iná situácia nastane v prípade, keď nemôžeme zanedbať kozmickú konštantu lambda ( $\Lambda$ ), pretože jej hodnota sa nerovná nule. Vo väčšine prípadov platí: ak je záporná ( $\Lambda < 0$ ), vesmír skolabuje bez ohľadu na svoju metriku (hodnotu  $k$ ). Ak je kladná ( $\Lambda > 0$ ), vesmír sa bude pre plochú a hyperbolickú metriku od istého okamihu rozpínať čoraz rýchlejšie (obr. 4). V skutočnosti sa vesmír začal čoraz rýchlejšie rozpínať „iba“ pred 5 miliardami rokov. **Prečo je hustota hmoty a energie takmer presne na euklidovskom rozhraní?** Podľa platného kozmologického štandardného modelu, ktorý vytvorili na základe najpresnejších astronomických údajov, **žijeme v takmer plochom univerze s kritickou hustotou a kladnou kozmologickou konštantou ( $k = 0; \Lambda = 0$ )**.



# Pomôžu staré hviezdy odhadnúť rýchlosť tmavej hmoty?

Rýchlosť častic tmavej hmoty je vlastnosťou, ktorá ba mohla túto záhadnú substanciu lepšie charakterizovať. Vedci sa o to pokúsajú celé roky, zatiaľ však bez hodnotného výsledku. Pokúsili sa preto odvodiť rýchlosť tmavých častic pomocou simulácií na počítačoch, prepojených s údajmi o starých hviezdoch.

„Staré hviezdy sú viditeľnými rýchlomermi neviditeľnej tmavej hmoty“, tvrdí Mariangela Lisanti z Princeton University.

## Prečo práve staré hviezdy?

Hypotéza tím: „Podľa platnej teórie tvoria tmavé halo Mliečnej cesty menšie ‘subhalá’, ktoré obsahujú tak hviezdy ako aj tmavú hmotu. A práve v týchto ‘subhalách’ by sa mali nachádzať hviezdy, ktoré z istých dôvodov dokážu prezraziť aj rýchlosť tmavej hmoty.“

Ako nájsť hviezdy, ktoré sa správajú podobne ako tmavá hmota? Vedcom pomohla počítačová simulácia nazvaná Eris. Tím využil súbory údajov z Erisu na to, aby porovnal charakteristiky tmavej hmoty s charakteristikami rozličných súborov hviezd, vrátane hviezd s nízkou metalicitou. (Metalicita je pomer ľahkých prvkov a ťažkých kovov.)

Nakoľko kovy vznikajú v supernove i po gravitačnom splynutí dvoch neutrónových hviezd, vedci dokážu odhadnúť vek hviezd vyhodnotením ich metalicity. Hodnota metalicity do značnej miery závisí na množstve ťažkých prvkov v hmotě, z ktorej sa hvieza sformovala. Galaxie menšie ako Mliečna cesta majú nižší podiel ťažkých kovov.

Na obrazovkách jednoznačne odhalili krvky znázorňujúce rýchlosť tmavej hmoty hviezdy s nižšou metalicitou. Napospol to boli staré hviezdy v dávno sformovaných galaxiach. Vedcov to zaskočilo, ale neškôr si uvedomili, že vzťah medzi starými hviezdami a tmavou hmotou vôbec nie je náhodný.

Lisanti: „Tmavá hmota

a tieto staré hviezdy sa zrodili z rovnakých podmienok a na rovnakom mieste. Preto majú tie isté vlastnosti.“

## Nová metóda detektie

Počas ostatného desaťročia využívali vedci detektory tmavej hmoty vytvorené z hustých látok (napríklad xenónu), ktoré umiestňovali hlboko pod povrch Zeme. Podstatou týchto detektorov je schopnosť zaznamenať zrážku častice tmavej hmoty „s hustým balíkom atómov“. Úspech experimentu závisí tak od hustoty, ako aj od rýchlosťi tmavej hmoty. Preto sa astronómovia snažia získať čo najpresnejšie údaje o rýchlosťi tmavej hmoty.

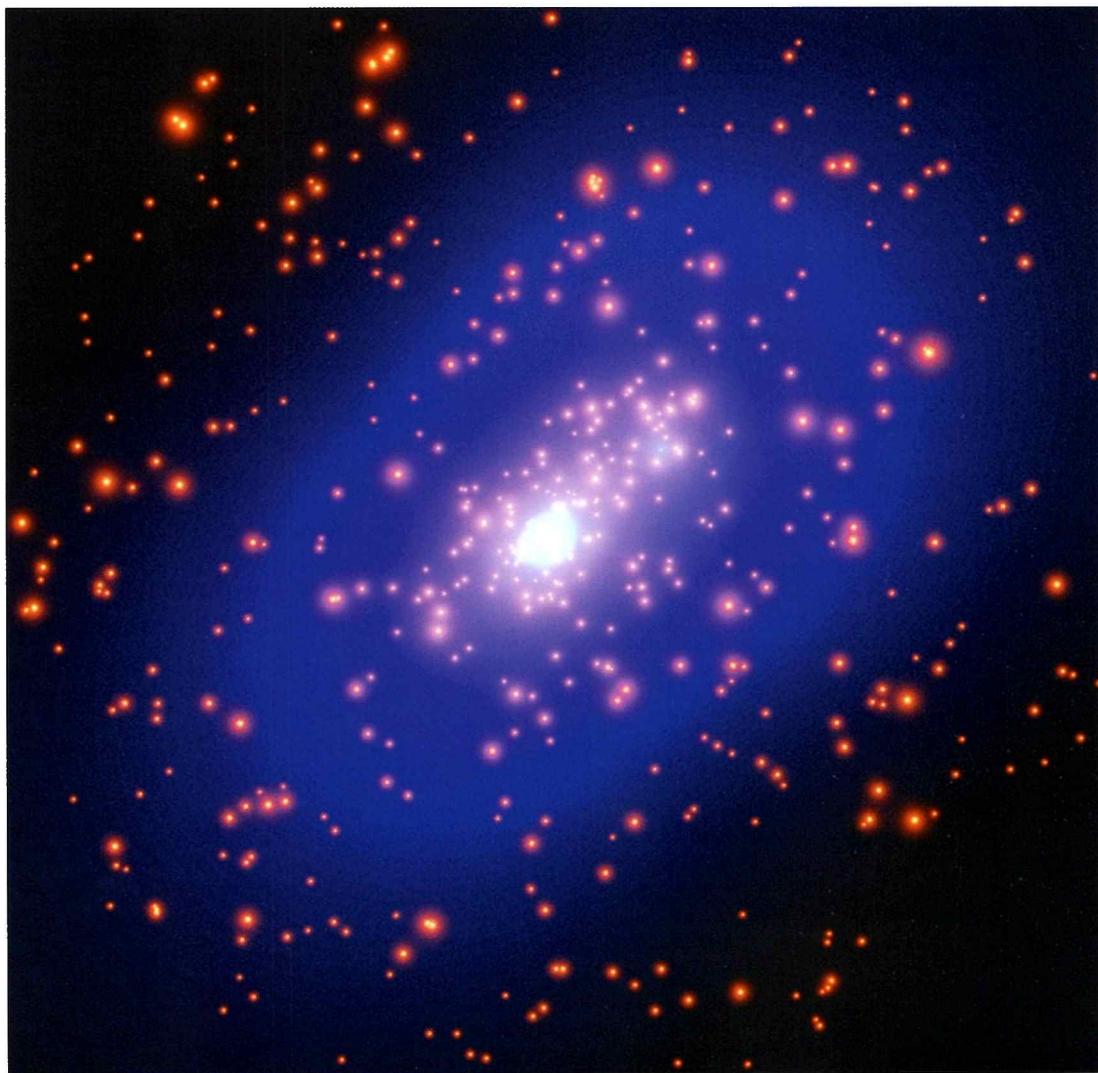
Ak je tmavá hmota pomalá a má nízku hustotu, nemôže mať dostatok kinetickej energie na to, aby viditeľne interagovala s hustou

(normálnou) hmotou. Preto boli zatiaľ všetky podobné detektory tmavej hmoty neúspešné. Lisanti: „Neuspeli sme preto, že rozloženie rýchlosťi je iné, ako sme očakávali?“

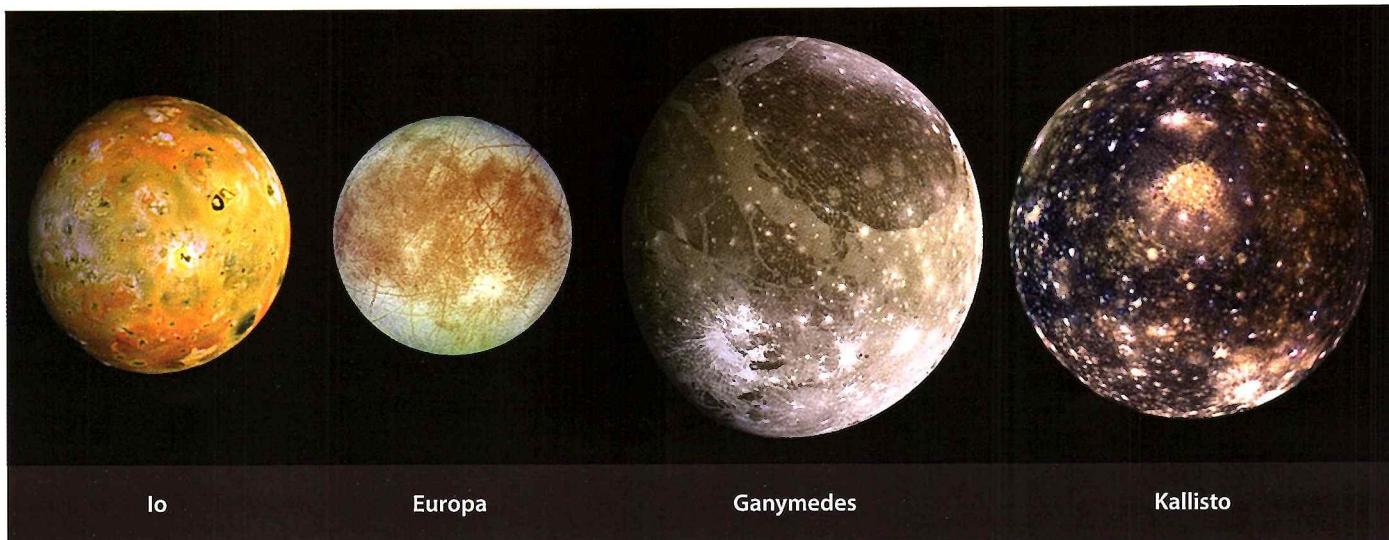
Odpoveď na túto otázku mali dať simulácie na počítači. Simulácie sú však teoretické a vedci z Princeton University ich zatiaľ neprezentujú ako vedecky dokázané. Konečnú odpoveď prinesú až ďalšie údaje o rýchlosťi starých hviezd.

Do spolupráce sa zapojili aj Európania. Satelit Gaia/ESA poskytuje vedomu údaje o bezmála miliarde hviezd. Vďaka týmto údajom sa môže táto „polohypotéza“ už v deň vydania tohto čísla stať vedecky podloženým faktom.

*Princeton University Press Release; Physical Review Letters*  
E. G.



Hubbluv vesmírny ďalekohľad zviditeľnil pomocou gravitačného šošovkovania rozloženie tmavej (modrej) hmoty okolo galaxií vo veľkej kope CL0025+1654.



# Tajomstvo lávového jazera Loki Patera

Vulkán na povrchu Jupiterovho mesiaca Io sa podchvíľou mení. Aktívnu sopku totiž priebežne formujú dva protismerné prúdy lávy.

„Loki má peknú, driečnu postavu, ale zlú, vrtošivú povahu.“ Takto opisuje jedna zo škandinávskych ság boha ohňa, nazývaného Loki.

Názov najaktívnejšej sopky v celej Slnečnej sústave - Loki Patera - je teda veľmi priliehavý. V roku 1979 počas obeležu Jupitera túto sopku nasnímala sonda Voyager 1. Vedci na snímkach Io objavili aktívny vulkanizmus, ktorý planetológov náramne vzrušil. Loki Patera je vlastne ozrutný kráter s priemerom 200 kilometrov. Teplota v tomto kráteri sa výraz-

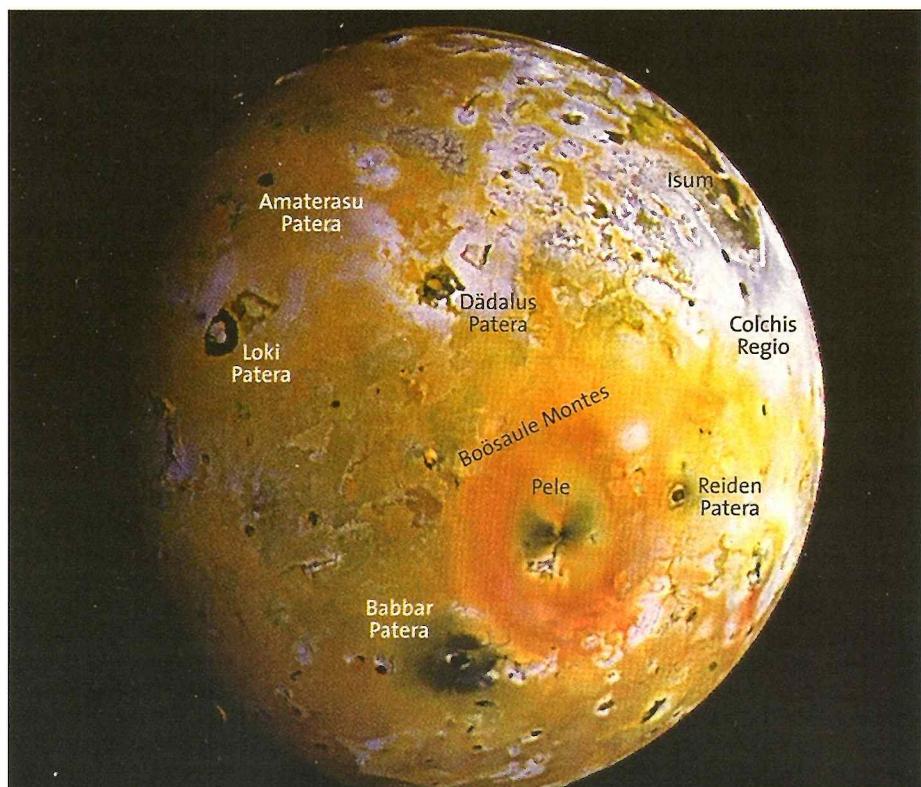
ne odlišuje od teploty jeho okolia. Nečudo: uprostred krátera je jazero lávy a v jeho strede svetlý, pevný ostrovček. Na prvý pohľad pri- pomína kráter podkovu.

Pozorovania a merania vyžiarenej teploty nad kráterom potvrdili, že Loki Patera, rovnako ako jeho mystický otec, neobyčajne často mení svoju podobu. V rytme dvoch až troch rokov vylievajú sa z krátera koberce lávy, čím obnovujú povrch v ňom aj v jeho okolí. Aký proces v Loki Patera prebieha a aké mechanizmy ho udržiavajú v chode? Vedci z University of California (tím Katherine de Kleer) pomocou ďalekohľadu LBT (Large Binocular Telescope) zistili, že okolo centrálneho ostrova sa rozlievajú dva prúdy lávy. Jupiter je ďaleko, a tak pozemské ďalekohľady na jeho štyroch veľkých mesiacoch nedokážu rozlíšiť štruktúry, ktoré by vedcov zaujímali najviac. Na infračervených snímkach sa Loki Patera vyníma na červenkastom kotúčiku lo ako jasná škvRNA. Podrobnosti sa rozlíšiť nedajú. Ako sa to Američanom podarilo?

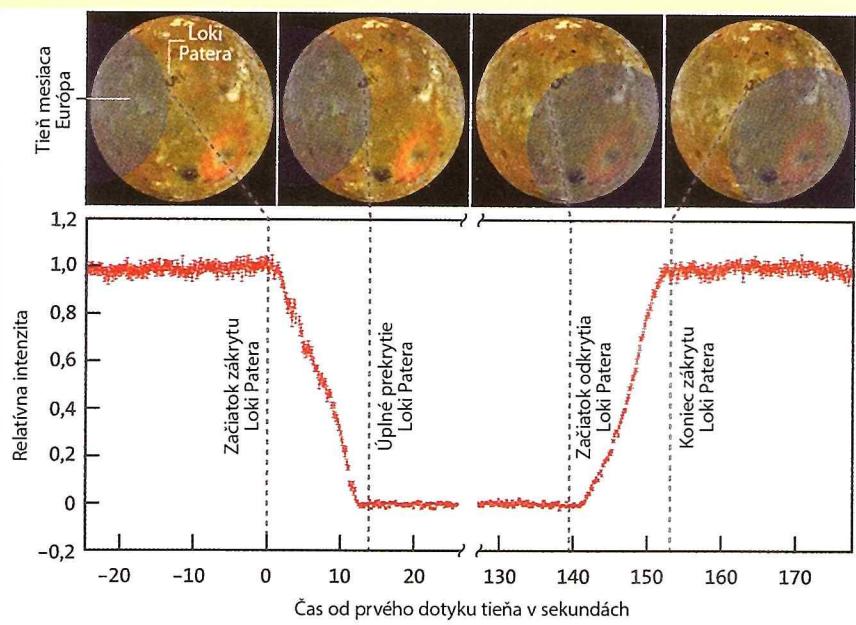
Pomohla im mimoriadna astronomická udalosť. V roku 2015 sa mesiac Európa ocitol (pri pohľade zo Zeme) pred mesiacom Io. Teda aj pred vulkánom Loki Patera. Tieň Európy postupne prekrýval a odkrýval oblasti lávového jazera a oslabil do istej miery tepelné žiarenie emitované lávou. Výsledná krvka jasnosti (pozri obrázok) umožnila vedcom poskladať teplotnú mapu oblasti. S poznámkou: počas merania rástla teplota povrchu smerom od severozápadu k východnému okraju.

Teplotný profil bol v súlade s vekom viditeľného materiálu v jazere lávy: čím dlhšie sa tektúre kamene nachádzajú na povrchu, tým sú chladnejšie a pevnejšie. Počas merania boli lávové koberce na severozápadnom okraji sopky staré najmenej 250 dní, tie najvýchodnejšie sotva 75 dní. Medzi oboma oblasťami boli zmeny teploty v súlade s vekom lávy. Oblasti severne a južne od centrálneho ostrova mali prakticky rovnaké vlastnosti.

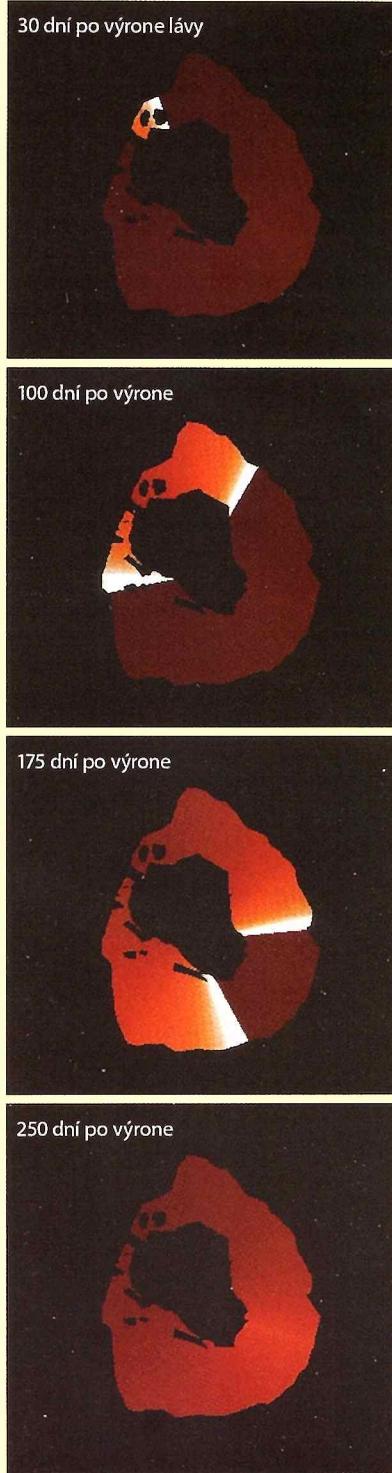
Pomocou simulácií vedci zistili, že takú termickú diagnózu môžu vysvetliť iba dve horú-



*Io je najvnútornejším, najbližším zo štyroch veľkých mesiacov Jupitera. Na jeho povrchu objavili zatial' bezmála stovku vulkánov. Väčšinou aktívnych. Najaktívnejším vulkánom je Loki Patera (vľavo hore) s priemerom 200 kilometrov. Na prvy pohľad pripomína podkovu.*



Vedci Io pozorovali 15. marca 2015 ďalekohľadom LBT vo chvíli, kedy sa ocitla za mesiacom Európa. Na obrázkoch vidíte, ako tieň Európy postupne prekrýval jednotlivé oblasti Io. Prejavilo sa to zmenami intenzity tepelného žiarenia na vlnovej dĺžke 4,5 mikrometrov (dole). Z toho, ako intenzita v čase slabla a silnela, dokázali vedci vypočítať rozloženie teploty vo vulkanickej oblasti.



ce vlny lávy, šíriace sa povrchom Loki Patera. Oba prúdy lávy vyvierať na severozápade, potážne západe oblasti. Jedna však zamierila severne od centrálneho pahorku v smere hodinových ručičiek, druhá na juh, proti smeru hodinových ručičiek. Východne od ústredného pahorku sa obe vlny zrazili, vychladli a stuhli.

Severný prúd prekonal každý deň zhruba 1000 metrov, druhý až 2000 metrov. Koberec lávy chladol niekoľko týždňov. Ohníve divalo sa však rozpútalo 6 až 8 mesiacov pred pozorovaním. Z údajov vyplýva, že severná vlna začala tieť najmenej o 50 dní skôr ako južná. Inak by pozorovania nedávali zmysel.

Na základe rozdielnych rýchlosťí lávových prúdov vedci zistili, že každý musí mať iný vulkanický zdroj. To by sa malo prejať aj odlišnými vlastnosťami magmy.

Vedcom z Kalifornie sa podarilo vysvetliť zdanlivo protichodné pozorovania z minulosti. Sondy Voyager 1 a Galileo objavili prúdy lávy, pohybujúce sa proti hodinovým ručičkám na juhu krátera. Pozemské ďalekohľady objavili protismerné prúdy, ktoré obnovujú povrch na východnom brehu lávového jazera. Model dvoch protismerných vĺn obe pozorovania zjednotil.

*Sterne und Weltraum 2017/11  
E. G.*



*Sonda Galileo, Io a Jupiter*

# Stephen Hawking (1942 – 2018)

Dňa 14. 3. 2018 v skorých raných hodinách zomrel v Cambridge vo veku 76 rokov významný teoretický fyzik prof. Stephen William Hawking.

Narodil sa 8.1.1942 v Oxforde, do školy chodil v St. Albans, nedaleko Londýna. Pre jeho veľký záujem o vedu ho priatelia v škole prezývali „Einstein“. Jeho ambície mu umožnili získať štipendium na University College v Oxforde, kde ukončil štúdium fyziky s vyznamenaním.

Doktorát z kozmológie získal na Trinity Hall v Cambridge v r. 1966 PhD. prácou „Vlastnosti expandujúcich vesmírov“ pod vedením Dennisa Sciamu. V roku 1973 spolu s Georgeom Ellisom napísal významnú monografiu: „Veľkosťáková štruktúra priestoročasu“. Členom Royal Society, britskej akadémie vied, sa stal v roku 1974, vo výnimočne ranom veku 32 rokov.

Hawking celý život trpel amyotrofickou laterálnou sklerózou s postupným zhoršovaním zdravotného stavu. Prvé príznaky tejto choroby sa uňho prejavili už vo veku 21 rokov. Postupne strácal schopnosť používať ruky, nohy a hlas. Od roku 1985 používal na komunikáciu elektronický hlasový syntetizátor. Počítačový systém, pripojený k jeho invalidnému vozíku, mu umožnil plnohodnotnú komunikáciu s okolitým svetom, prehliadať internet, posielat e-maily, pripravovať prednášky, písat knihy. Od roku 1979 po dobu 30 rokov zastával post Lucasiánskeho profesora matematiky na Univerzite v Cambridge, ktorý zastával aj Isaac Newton v rokoch 1669-1702.

Hawking bol po celý život vedeckým pracovníkom Gonville a Caius College v Cambridge.

Hned na začiatku vedeckej kariéry ukázal

v spolupráci s oxfordským matematikom Rogerom Penroseom, že vesmír pri veľkom tresku začal expandovať z nekonečne malého bodu – singularity. Záujem o singularity ho priviedol k vybudovaniu teórie čiernych dier. Dokázal, že pri splynutí dvoch čiernych dier je povrch finálnej čiernej diery väčší ako súčet povrchov čiernych dier pred ich splynutím, čo definuje množstvo energie, ktoré môže byť emitované gravitačnými vlnami. Ukázal, že existuje súvislosť medzi zákonmi termodynamiky a chovaním čiernych dier. Čierne diery majú teplotu a produkujú energiu známu ako Hawkingovo žiarenie, pričom postupne strácajú hmotu. Je to spôsobené kvantovými efektami v blízkosti okraja čiernej diery, nazývanom horizont udalostí. Hawking predpovedal existenciu mini čiernych dier v čase Veľkého tresku, ktoré strácajú hmotu a končia svoj život pri explózii, ktorá uvoľňuje veľké množstvo energie. Počas svojho života publikoval 378 prác, ktoré boli citované viac ako 46 000 krát, pričom dosiahol Hirschov index 83.

Hawking sa preslávil nielen ako vedec, ale aj ako vynikajúci popularizátor vedy. V roku 1988 vysla jeho kniha *Stručná história času*, z ktorej sa predalo vyše 10 miliónov výtlačkov. K svetovým bestsellerom patria aj jeho knihy: *Ešte stredočesňia história času*, *Vesmír v orechovej škrupinke* a *Ilustrovaná teória všetkého*.

Na konferencii v Cambridge pri príležitosti svojich 75. narodenín povedal: „Bola to nádherná doba, v ktorej som žil a robil výskum v teoretickej fyzike. Náš obraz vesmíru sa podstatne zmenil v posledných 50 rokoch a som šťastný, že som k tomu trochu prispel.“ O živote Hawkinga v roku 2014 nakrútili film *Teória všetkého*. Predlohou filmu bola kniha jeho prvej manželky Jane o spoločnom živote od prvého stretnutia v Cambridge v roku 1964. Potom prišli prvé akademické úspechy, ale začala sa prejavovať aj Hawkingova vzrastajúca nemohúcnosť spôsobená zhoršujúcim sa zdravotným stavom. S manželkou Jane Wildeovou mali tri deti: Roberta, Lucy a Tima. Herec Eddie Redmayne, ktorý Hawkinga vo filme hral, získal za túto úlohu v roku 2015 Oskara – cenu Filmovej akadémie pre najlepšieho herca.

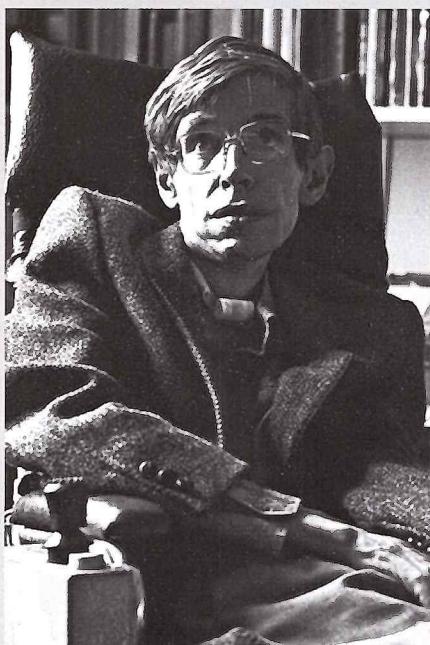
Posledná rozlúčka s významným fyzikom sa uskutočnila 31. marca 2018 v Cambridge. Keď pohrebný sprievod dorazil ku chrámu, zvony zazvonili 76-krát, raz za každý rok jeho života. O šľachetnom srdci Hawkinga svedčí aj jeho posledné želanie, aby z jeho úspor bol zaplatený obed pre ľudí bez domova. Hawkingova rodina za pomoc miestnej charity FoodCycle toto prianie naplnila. Na obed počas Hawkingovho pohrebu sa zúčastnilo 50 bezdomovcov. Na stoloch s jedlom boli kartičky s venovaním: „Dnešný obed je darček od Stephena“.

RNDr. Drahomír Chochol, DrSc.



*Štúdium fyziky na University College v Oxforde skončilo s vyznamenaním.*

*Doktorát z kozmológie získal na Trinity Hall v Cambridge v r. 1966 prácou „Vlastnosti expandujúcich vesmírov“ pod vedením Dennisa Sciamu.*



## Žeň objevů 2015 – C

### 2.1.1. Extrasolární planety (dokončení)

W. Kley a N. Haghighipour modelovali další podobný systém, **Kepler-34**. Jde o dvojhvězdu, která má nevyklen výstřednou dráhu, její excentricita má hodnotu 0,52. Zatímco do blízkosti dvojhvězd s (témař) kruhovými drahami se planety dostávají díky postupné migraci z vnějších částí akrečního disku; takto excentrická dvojhvězda musela umožnit vznik planety jiným mechanismem. Autoři zkoušeli dva typy modelů: s jednou a dvěma planetami. Jednoplanetární model umožňuje vznik planety uvnitř prolákliny eliptického tvaru v akrečním disku; takto zformovaná planeta má dráhu s vyhovující excentricitou, ale nachází se příliš daleko. Dvouplanetární model vede k migraci obou planet do vnitřních částí disku a vzniku dráhových rezonancí, které skončí vymřštěním jedné z planet, pokud některá z nich dosáhne zmíněné prolákliny. Planeta, která v systému zůstane, pak má dráhu s parametry velice blízkými pozorovaným hodnotám. Vymřštěná planeta nemusí nutně skončit v mezihvězdném prostoru, může migrovat na dráhu s jiným sklonem vůči původní rovině oběhu, a tím se dostane mimo možnost našeho pozorování.

Malý nebo žádný sklon rovin oběhu planet ve Sluneční soustavě vedl již I. Kanta k formulování hypotézy, že *všechny planety vznikly z jednoho akrečního disku*; roviny drah mnohých měsíců jsou opět velmi blízké rovině ekliptiky, což tuto hypotézu dále potvrzuje. Mnoho jiných slunečních soustav vykazuje velice podobné vlastnosti. A. Udalski aj. objevili systém **OGLE-2013-BLG-0723LB**, který se z hlediska parametrů drah nachází jaksi uprostřed: lze se na něj dívat jako na planetu velikosti Venuše, obíhající kolem hnědého trpaslíka, nebo jako na měsíc velikosti Venuše, obíhající planetu o něco větší než Jupiter, která obíhá kolem velmi vzdálené hmotnejší hvězdy. Planeta/měsíc má hmotnost  $(0,69 \pm 0,06) M_{\oplus}$ , hnědý trpaslík/planet  $(0,031 \pm 0,003) M_{\odot}$  a druhá hvězda  $(0,097 \pm 0,009) M_{\odot}$ . Autoři na srovnání s příklady ze Sluneční soustavy (*Callisto-Jupiter, Uran-Slunce*) ukazují, že *proces formování těles z akrečních disků zahrnuje všechny „velikosti“*, a pokud v některém planetární systému tělesa určité velikosti chybí, měli bychom jejich absenci přičítat historii toho konkrétního systému.

L. Roberts aj. se zaměřili na systém **HD 8673**, u kterého byla dříve nalezena planeta na dráze s výstředností 0,72. Dřívější výzkum naznačoval existenci hvězdného souputníka mateřské hvězdy, kterou se Robertsovou týmu nepodařilo potvrdit ani s využitím 10m Keckova dalekohledu, 5m Haleova teleskopu, 3,6m dalekohledu AEOS a palomarského 1,5m dalekohledu. Autoři proto označili dřívější detekci za falešnou. Namísto toho objevili jinou, ještě slabší hvězdu, která podle všeho opravdu je druhou složkou dvojhvězdy. Opět jde o trpaslíka typu M s hmotností v rozmezí  $0,33\text{--}0,45 M_{\oplus}$ . Zdánlivá vzdálenost složek je 10 au. Na základě všech dostupných dat autoři odhadují, že velká poloosa dráhy může být v rozmezí  $35\text{--}60$  au, excentricita kolem 0,5 a sklon dráhy  $75\text{--}85^\circ$ . Nově nalezená druhá složka dvojhvězdy patrně velmi ovlivnila planetu první složky a dobře vysvětluje pozorovanou excentricitu její dráhy.

B.-O. Demory aj. pečlivě analyzovali data, která v letech 2013 a 2014 pořídil **HST** při spektroskopii  $\alpha$  **Cen B**. Témař s jistotou vyloučili existenci planety s parametry dříve publikovanými X. Dumusquem aj., nicméně v datech z r. 2013

zaznamenali pokles, který připomíná tranzit. Pokud se jednalo o pokles skutečně způsobený planetou, musela by mít zcela jinou oběžnou dobu (spíše v desítkách dní než dříve publikovaných 3,8 h); větším problémem je, že v sadě dat z r. 2014 po takovém poklesu není ani stopy. Opět nezbývá než trpělivě pořizovat další data, což je v případě jasných hvězd jako  $\alpha$  **Cen B** nesnadný úkol.

P. G. Kalas aj. se kamerou GPI (*Gemini Planet Imager*) dalekohledu *Gemini-S* (*Cerro Pachón*; Chile) podívali na prachový disk kolem hvězdy **HD 106906** a zjistili, že jeho tvar je velice nepravidelný, na jedné straně tenký, zatímco na opačné naopak tlustý. Kolem hvězdy obíhá planeta o hmotnosti zhruba  $11 M_{\oplus}$ , která se ale nachází až ve vzdálenosti 650 au a navíc na dráze skloněné o  $21^\circ$  vůči rovině disku (planeta byla objevena již r. 2013). Všechno dohromady podle autorů ukazuje, že systém prošel v nedávné době nějakou podstatnou gravitační poruchou. Zatím nelze určit její příčinu; jedním z možných vysvětlení je příliš blízké přiblížení k další planetě v systému.

### 2.1.2. Souhrnné studie o exoplanetách

Brendan P. Bowler aj. zrevidovali vysoce kontrastní pozorování **obřích planet a hnědých trpaslíků kolem červených trpaslíků** do vzdálenosti 40 pc od nás. Ukázalo se, že polovina těchto systémů je mladších než 135 Mr a velká většina z nich (> 90 %) mladších než Hyády, tj. 620 Mr. Kromě objevu čtyř dosud neznámých velmi mladých hnědých trpaslíků zdůrazňují autoři statistickou interpretaci více než 150 planetárních kandidátů, ze které vyplývá, že *obří planety a hnědí trpaslíci se kolem mateřských hvězd typu M vyskytují asi v  $10\text{--}16\%$  případů* (dané číslo závisí na zvoleném evolučním modelu zformování oběžnice) pro hmotnosti  $1\text{--}13 M_{\oplus}$  a vzdálenosti 10–100 au od mateřské hvězdy. Pokud se zaměříme na hmotnejší planety ( $5\text{--}13 M_{\oplus}$ ), najdeme je u 6, resp. necelých 10 % červených trpaslíků. Ačkoliv tedy první přímo zobrazené (velké) planety byly nalezeny u hmotných hvězd, zdá se, že mezi hmotností hvězdy a pravděpodobností zformování obří planety nebo hnědého trpaslíka není žádná jednoduchá úměra; hmotné a velké oběžnice se vyskytují i u trpasličích hvězd.

Tým dalekohledu *Kepler* prezentoval v lednu 2015 na 225. zasedání Americké astronomické společnosti (AAS, *American Astronomical Society*) v Seattlu další výsledky pátrání po **planetách podobných Zemi** v ekosféře svých hvězd. Osm nových planet, nacházejících se podle všeho v podmínkách vhodných pro pozemský život, se dost liší svými orbitálními parametry, což je dánou především rozdílnými vlastnostmi jejich mateřských hvězd. Potenciálně nejvhodnějšími kandidáty jsou exoplanety **Kepler-438b** a **Kepler-442b**; oba u trpasličích hvězd typu M, vzdálených od nás asi 150, resp. 350 pc. **Kepler-438b** kolem ní oběhne jednou za 35 d, poloměr má asi o osminu větší než Země a vypočtený osvit na povrchu planety vychází zhruba o 40 % větší než na Zemi. **Kepler-442b** oběhne svou mateřskou hvězdu jednou za 112 d, je přibližně o třetinu větší než Země a má velmi vhodné podmínky, aby se na povrchu vyskytovala voda v kapalném stavu.

**Rychlosť rotace planety** je klíčovým parametrem globální atmosférické cirkulace a prostorového rozmístění oblačnosti. Protože míra zaclonění mraky hraje podstatnou roli v zářivé rovnováze planety, může mít různá rychlosť rotace

překvapivé důsledky. Y. Jun aj. se zaměřili na modelování atmosférické cirkulace v závislosti na velikosti *Coriolisovy sily*, tedy důsledku rotace planety. Jejich výsledky překvapivě ukazují, že pomalu rotující planety mohou díky efektivnímu přenosu energie v atmosféře a podstatně intenzivnější tvorbě opticky tlustých mraků absorbovat až 2x větší množství zářivého výkonu než rychle rotující planety. Srovnání Země s Venuši ukazuje, že kdyby současnou rychlosť rotující Venuše měla současnou pozemskou atmosféru (myšleno co do chemického složení), byla by pro nás obyvatelná. Autoři dovezují, že pokud Venuše v minulosti prošla skleníkovým peklem, musela být tehdy její rotace podstatně rychlejší než dnes. (To je v dobrém souhlasu s ostatními poznatkami Venušiny historie.) Dále autoři upozorňují, že vhodná rychlosť rotace planety může díky působení oblačnosti posouvat hranice ekosféry na obou stranách.

J. Leconte aj. odhalili daleko intenzivnější působení **brzdného mechanismu atmosféry** na rotaci planety. Pro planety v těsné blízkosti červených trpaslíků, které se sice nacházejí v ekosféře hvězdy, ale s vysokou pravděpodobností jim hrozí pád do nástrah vázané rotace, by to mohl být pomyslný záchranný pás, jak udržet na povrchu planety podmínky přijatelné pro život. Modelování lalu záření blízké hvězdy na atmosféru planety ukázalo, že tenčí atmosféra může mít na rotaci planety větší vliv, neboť se prohřeje do větší hloubky (případně až k povrchu), což způsobí intenzivnější tvorbu silných větrů. Tyto výpočty se opět dobře shodují se známou historií **Venuše**, která by podle autorů se současnou pozemskou atmosférou rotovala až 10× rychleji než ve skutečnosti, kdy ji vliv zcela odlišné atmosféry donutil dokonce rotovat retrográdně, tj. proti směru pohybu po oběžné dráze. Modely bude nutné potvrdit měřenými teplotami exoplanet, která se v blízké budoucnosti očekávají od JWST (*James Webb Space Telescope*).

Když už se planety v ekosférách červených trpaslíků dostanou do pasti **vázané rotace**, předpokládali jsme dosud, že to na jejich klima musí mít fatální důsledky. A. Dobrovolskis z institutu SETI však zveřejnil výsledky jemnějšího modelování atmosféry planet v různých kombinacích rezonancí mezi dobou otočky planety a její oběžnou dobou (*spin-orbit resonance, SOR*) – 1:2, 1:1, 3:2 ad. Pro celočíselné zlomky potvrzuje model SOR dřívější předpoklady, kdy se na planete vytvoří jedna teplá oblast na nejvíce přivrácené straně ke hvězdě, zatímco zbytek planety je pokrytý ledem (předpokládáme-li na planetě vodu) – tomuto schématu se říká „oko“. Zajímavé ovšem je, že pro liché poločíselné zlomky SOR se vytvoří „dvojoko“, tedy „zornice“. To znamená, že se vytvoří dvě teplé oblasti, jedna na východní, a druhá na západní polokouli planety. S rostoucí hodnotou zlomku SOR se pak „zornice“ slévají a vytvoří na planetě pásy střídajících se teplých a zamrzlých oblastí. Autor upozorňuje, že pokud je v modelu dostatečné množství vody, postupně narůstající ledová pokrývka způsobuje ve všech případech po dostatečně dlouhé době změnu momentu hybnosti planety a její vyvázání ze zámku vázané rotace.

Dobrovolníci zapojení do projektu **Disk Detective** pod vedením M. Kuchnera a týmu *Zooniverse* klasifikovali 278 000 zdrojů infračerveného (IR) záření na obloze a vytipovali 478 zajímavých diskových objektů k dalšímu průzkumu. Mezi těmito pěti stovkami objektů z archivu družice **WISE** (*Wide-field Infrared Survey Explorer*) našli 37 velmi slabých **kandidátů na disk s právě vznikající planetární soustavou**. Vedoucí projektu předpokládají, že do roku 2018 by takových objektů mohla být známa více než tisícovka.

Moderní softwarové postupy pronikají i do astronomie; ostatně tomu tak bylo po většinu dosavadní historie.

S. McCauliff aj. publikovali práci o **automatizované klasifikaci planetárních kandidátů** z prvních tří let pozorování sondy *Kepler*. Z 697 kandidátů je výsledkem měření 18 406 přechodů planety přes kotouček hvězdy, kterých je v zorném poli *Keplera* přes 200 000. Problematická část detekce každé exoplanety při metodě tranzitu se skrývá v určení, co je přechod planety a co není. Autoři tedy připravili neuronovou síť, které poskytli tento první katalog světelných křivek a nechali ji, aby se naučila třídit měření do jedné ze tří kategorií: kandidát, astrofyzikální jev a přístrojový šum. K třídění použili 237 parametrů, kterými se popisuje nejvhodnější světelná křivka pro získaná měření. Způsob mapování mezi parametry světelné křivky a správnou kategorii se neuronovou síť učí na základě algoritmu nazývaného „náhodný les“ (angl. *random forest*). Autorům se podařilo prokázat, že tento způsob klasifikace je možné prakticky použít k předzpracování dat, průměrná chybovost se na celém vzorku dat pohybuje pod 6 %, v případě klasifikace jen dvou kategorií (kandidát vs. cokoli dalšího) klesne dokonce pod 3 %. Algoritmus nicméně trpí některými výběrovými efekty, které by se snad mělo podařit odstranit s dostupností dalších souborů dat.

J. Margot navrhl a zveřejnil jednoznačnou numerickou metriku, podle které by bylo možné automaticky **klasifikovat nebeské těleso jako planetu**. Výpočet potřebuje jen *hmotnost hvězdy*, *hmotnost potenciální planety* a *oběžnou dobu*. Na základě třetí podmínky stávající definice planety (těleso vyčistilo okolí své dráhy) autor využívá dřívějších prací o rozptylu meziplanetární hmoty k určení minimální hmotnosti tělesa, kterou planeta musí mít, aby za dobu existence své mateřské hvězdy stihla vyčistit své okolí. Pak stačí porovnat pozorovanou hmotnost tělesa s takto vypočtenou hmotností minimální, a na první pohled je zřejmé, zda je třetí podmínka **stávající definice IAU** splněna. Doplněním, že těleso nemusí obíhat pouze kolem Slunce, ale podle jakékoli hvězdy, vícečetného systému nebo zbytku hvězdného tělesa, by pak definice umožnila klasifikovat 99 % současných známých planet, ať jsou ze Sluneční soustavy nebo mimo ni.

**Dlouhodobá stabilita planetárních systémů** je jedna z velmi nejasných otázek, týkajících se exoplanet. Víme, že i ve Sluneční soustavě docházelo k mnoha přesunům, a není důvod předpokládat, že u jiných hvězd by tomu mělo být jinak. K. Volková a B. Gladman přispěli do diskuse svou prací, ve které referují o analýze systémů s těsnými vnitřními planetami (myšleno velmi blízkými své mateřské hvězdě), které v současnosti představují asi dvacetinu všech hvězd typů F, G a K se střední dobou věku kolem 5 Gr. Autoři předkládají hypotézu, že podobné těsné planety se nacházejí prakticky u všech těchto hvězd, ale nedokázaly vydržet na svých drahách luvem gravitačních poruch ostatních těles v dané sluneční soustavě, načež došlo buď ke srážkám, anebo byly planety vymeteny do mezihvězdného prostoru. Autoři dále spekulují, že po dobu prvních 1–10 % stáří Sluneční soustavy se *uvnitř dráhy Venuše* nacházejí další kamenné planety, které *připravily Merkur* o část jeho původní látky, což mu nicméně umožnilo jako jedinému původnímu zástupci těsných vnitřních planet přežít.

K tématu dlouhodobé stability přispěli také A. Mustill, M. Davies a A. Johansen, kteří publikovali svoje **modely vývoje dráh vnitřních planet pro horké Jupitery na vzdálených drahách** s velkou poloosou v rádech stovek au a velkou excentricitou. Uzkuje se, že v drtivé většině případů dojde při migraci obří planety k hvězdě k úplnému vymetení vnitřních planet, což dobře koresponduje s pozorovanými systémy; prakticky neznáme obří planetu na blízké dráze zároveň s méně hmotnými planetami na podobných drahách. V méně častých případech může dojít k opačnému jevu, kdy je do prostoru vymrštěn díky gravitačním poruchám a re-

zonancím sám horký jupiter, a konečně ve velmi vzácných případech se může stát, že vnitřní planety navedou horký jupiter na dráhu podobnou zemské, což se jim následně stane osudným, neboť obří planeta je z planetární soustavy nemilosrdně vyžene.

A. Witzeová informovala o setkání výzkumníků v oboře exoplanet na zasedání AAS s cílem určit, kam v budoucnu napřítí síly v instrumentální oblasti. *Kepler* ještě pracuje, ale jeho možnosti jsou mimo samotné objevy omezené a životnost také nemá nekonečnou. NASA v r. 2018 vypustí jeho nástupce *TESS* (*Transiting Exoplanet Survey Satellite*), ESA chystá na r. 2024 sondu *PLATO* (*Planetary Transits and Oscillations of Stars*) a v polovině dvacátých let by měl odstartovat *WFIRST* (*Wide-Field Infrared Survey Telescope*). Ten by měl na palubě – pokud budou finanční prostředky – *koronograf*, jehož cílem je **přímé zobrazení exoplanet**. Dál je zatím výhled nejasný a mnozí by rádi směřovali vývoj k přístroji, který by umožnil jednoznačnou detekci obyvatelných světů.

A. Vandenburg aj. zveřejnili svá pozorování záhadných tranzitů před bílým trpaslíkem **WD 1134+017**, které byly poprvé pozorovány družicí *Kepler* v rámci mise K2. Tranzity jsou podivné, protože jsou asymetrické, mělké a trvají velké desítky minut při periodách  $4,5 \div 4,9$  h. Pokud by před malým bílým trpaslíkem přecházela planeta, zákryt by měl trvat jen malé jednotky minut. Autoři na hvězdu zaměřili velké pozemské přístroje a podrobná pozorování odhalila, že v mělkých tranzitech se ukryvají další, hlubší, ale mnohem kratší. Nejvýraznější *hluboký přechod má periodu 4,5 h*, jenž byl viditelný i v méně podrobných datech. Autoři dále spektroskopicky zkoumali atmosféru bílého trpaslíka a zjistili v ní přítomnost velkého množství kovů (tedy prvků těžších než helium). To je také nečekané; gravitace by měla těžké prvky velmi rychle stáhnout do nitra hvězdy. Autoři nabízejí vysvětlení v podobě malých těles, planetek, které se dostaly příliš blízko ke hvězdě – to jsou ty hluboké, krátce trvající přechody. Hvězda je slapovými silami trhá na kusy, přičemž se samozřejmě do okolí dostává spousta prachu a plynu, který se postupně rozptyluje a tvoří jakési kometární ohony – to jsou ty mělké, dlouho trvající přechody s výraznou asymetrií. A konečně, gravitace bílého trpaslíka je nemilosrdná a všechnu látku stahuje na povrch hvězdy, čímž zajistuje stálý přísun těžších prvků do atmosféry. Je do značné míry pravděpodobné, že stejný osud postihne zbytky Země, až Slunce projde fází červeného obra a smrští se do bílého trpaslíka (pokud nevstoupí do hry nějaká dráhová nestabilita, což se také vyloučit).

### 2.1.3. Hnědí trpaslíci

Hnědých trpaslíků bylo od jejich prvního objevu určeno již několik stovek, ale stále není dobré prozkoumáno, jakým způsobem vznikají – jsou to způsobem vzniku spíš hvězdy, nebo spíš planety? O. Morata aj. se pokusili přiblížit k odpovědi pomocí výzkumu 11 právě vznikajících hnědých trpaslíků na základě dat z dostupných přehlídek oblohy UKIDSS (*UKIRT [UK Infrared Telescope] Infrared Deep Sky Survey*), 2MASS (*Two Micron All-Sky Survey*), SST, WISE a Herschel. K témtu známým datům přidali vlastní pozorování pomocí radiového interferometru K. Janského VLA (*Very Large Array*) v Novém Mexiku. Všechny vznikající objekty se nacházejí ve vzdálenosti asi 140 pc v souhvězdí Býka a jsou jen asi 1 Mr staré. Čtyři z pozorovaných objektů vykazují v radiové oblasti spektra silné emise z výtrysků, které se obvykle vyskytují u mladých hvězd se silnými magnetickými poli a rychlou rotací. Autoři na základě stejné závislosti zachycené radiové emise na celkovém vyzářeném výkonu, jakou mají vznikající hvězdy, odvozují, že *hnědí trpaslíci se více podobají hvězdám než planetám*.

A. C. Schneider aj. získali spektra 22 hnědých trpaslíků pomocí skvělé kamery WFC3 (*Wide Field Camera 3*) na *HST*, původně identifikovaných už v přehlídce družice WISE. S využitím spekter v blízkém oboru infračerveného záření byli autoři schopni určit povrchové teploty zmiňovaných trpaslíků a přesnéji stanovit i jejich spektrální typy; tři objekty ze sady se podařilo identifikovat jako 19.–21. známé zástupce trpaslíků typu Y (většina dosud známých hnědých trpaslíků je spektrálního typu T). Povrchové teploty těchto objektů nedosahují ani 500 K; pravděpodobně mají povrchové teploty kolem 300 K. *Pozorovaná spektra příliš nesouhlasí s dosavadními teoretickými modely*, které zejména předpovídají větší zastoupení molekuly čpavku, což pravděpodobně souvisí se zatím nedostatečným zahrnutím chemických procesů v nerovnovážném stavu v atmosféře nejchladnějších objektů typu Y. Pro objekty spektrálního typu T souhlasí modely s napozorovanými spektry docela dobře.

A. Scholz, V. Kostov, R. Jayawardhana a K. Mužić analyzovali 16 mladých hnědých trpaslíků v hvězdné asociaci v souhvězdí Štíra na základě velmi přesné fotometrie z pozorování družice *Kepler* v rámci mise K2. Jejich rotační periody se pohybují od několika hodin do dvou dnů (s jednou pětidenní výjimkou) se střední hodnotou kolem 1 d, což potvrzuje, že hnědí trpaslíci jsou rychle rotující objekty. Co však autory nejvíce překvapilo, čtyři nejpomaleji rotující skorohvězdy kolem sebe mají pozorovatelný disk; dvě z nich dokonce vykazují známky akrece na centrální objekt. Autoři porovnali pozorované rotační doby s modely vývoje čerstvých málo hmotných hvězd a objevili, že se u hnědých trpaslíků jen velmi málo (pokud vůbec) uplatňuje brzdění rotující (též) hvězdy o plynopráchový disk; toto brzdění je tedy zřejmě účinné až od nějaké minimální hmotnosti centrálního objektu.

A. J. Burgasser aj. zkoumali nedávno objeveného červeného trpaslíka z katalogu sondy WISE pomocí dalekohledu TRAPPIST (*Transiting Planets and Planetesimals Small Telescope*). Potvrdili vzdálenost pouze  $(6 \pm 1)$  pc od nás a malý vlastní pohyb; spektroskopie dále potvrdila spektrální typ M9.5 a spektra blízkého IČ oboru odhalila přítomnost souputníka spektrálního typu T5. Zobrazování adaptivní optikou ukázalo slabý sekundární zdroj v úhlové vzdálenosti  $0,14''$  (projektovaná vzdálenost 0,8 au) od primární složky. Všechny střípky skládají dohromady obraz **WISE J0729-0846** jako staré, velmi málo hmotné dvojhvězdy se sotva probíhající termonukleární fúzí primáru, který poměrně rychle rotuje a vykazuje značnou magnetickou aktivitou. Jde o jednu ze dvou nejbližších dvojhvězd tohoto typu, a zatímco právě tato kombinace primáru a sekundáru je málo pravděpodobná, autoři odhadují, že dobrá čtvrtina sekundárních složek dvojhvězd s primárem pozdního typu M je tvořena právě hnědými trpaslíky typu T nebo Y.

Nejbližší dvojice hnědých trpaslíků má katalogové číslo **WISE 1049-5319**, ale častěji se pro ni používá označení **Luhman 16**. Vzdálená je od nás téměř přesně 2 pc a jde o dvojici spektrálního typu L7.5 a T0.5 s oběžnou dobou pravděpodobně 25–30 yr (zatím ji neznáme přesněji). Poměr hmotností obou složek je  $(0,78 \pm 0,1)$ . J. Sahlmann a P. F. Lazorenko zpracovali přesnou astrometrii dvojhvězdy mezi dubnem 2013 a květnem 2014 z přístroje FORS2 na jednom z osmimetrových dalekohledů soustavy VLT (*Very Large Telescope*) na Paranalu a kromě výše uvedených parametrů vyloučili přítomnost obří planety o hmotnosti v rádu jednotek  $M_J$  na blízké dráze  $(0,05 \div 0,4$  au). Věk ani parametry vzájemné dráhy zatím není možné určit, ale dvojice je velmi vhodným kandidátem na dlouhodobá pozorování a pátrání po menších planetách.

B. Reipurth a S. Mikkola zveřejnili výsledky více než 200 000 mnohatělesových simulací se třemi identickými **hvězdnými zárodky vloženými do molekulárních oblaku**. Tělesa zprvu chaoticky kmitají a nabaluji na sebe okolní látku, později obvykle jedno nebo dvě tělesa gravitačně ovládne střed oblaku, zatímco ostatní je/sou nucena paberkovat na jeho okraji. Nakonec typicky bud' vznikne hierarchický systém, nebo se trojice rozdělí na samotnou prahvězdu a dvojhvězdu. Autoři ukazují, že mnohem více výsledné uspořádání ovlivní interní nestability v oblaku než vnější gravitační poruchy. Některé poměry vzájemných hmotností jsou častější; vzájemné vzdálenosti mají prudké maximum kolem hodnoty 13 au a pak zvolna klesají, ale nejzajímavější na celém procesu je schopnost vytvářet nezanedbatelnou populaci „dvojhvězd“ tvořených dvěma hnědými trpaslíky.

Přístroj *X-shooter* na *VLT* se pod vedením F. Marocca aj. zaměřil na 196 trpaslíků typů M, L a T, vtipovaných na základě přehlídek *UKIDSS* a *SDSS* (*Sloan Digital Sky Survey*). Velký rozsah analyzovaných vlnových délek ( $0,3 \div 2,48 \mu\text{m}$ ) umožnil autorům klasifikovat 26 nestandardních trpaslíků všech tří spektrálních typů, identifikovat 27 potenciálně binárních systémů a určit radiální rychlosti všech pozorovaných objektů. Autoři na základě získaných údajů odhadli prostorovou hustotu jednotlivých typů trpaslíků – zhruba lze shrnout, že očekávaná hustota objektů daných spektrálních typů je pod  $10^{-3}/\text{pc}^3$ , přičemž trpaslíků typu L4–L6.5 je nejvíce a přechodných typů L7–T0.5 se zdá být více, než odpovídá teoretické předpovědi. To autoři vysvětlují tím, že nejhmotnější a nejméně hmotné objekty této kategorie vznikají v odlišných prostředích, anebo že se ve sledovaném vzorku nachází nadprůměrné množství dvojhvězd.

## 2.2. Teoretická astrofyzika hvězd

**První hvězdy ve vesmíru** zřejmě byly mimořádně jasné už ve stádiu zrodu, a jelikož patrně vznikaly ve skupinách po 10–20, celkový zářivý výkon takové skupiny mohl být až stotisíckrát větší než Slunce. A. DeSouza a S. Basu zveřejnili výsledky modelování vzniku takových skupin hvězd, a kromě vysokého celkového zářivého výkonu s překvapenímypočítali, že jednotlivá zjasnění vyvolaná nabalováním protostelární látky mohla být ještě až  $1000\times$  jasnější! Gravitační interakce mezi hvězdami ve skupině je příliš slabá na to, aby ovlivnila vývoj jednotlivých hvězd, ale stačí k tomu, aby v okolním oblaku vytvářela lokální zhuštěniny a chuchvalce, které pak při dopadu na povrch hvězdy vytvářejí zdaleka viditelný ohňostroj. Jednotlivé hvězdy I. generace (populace III) jsou nejspíš ještě příliš slabé na to, aby je *JWST* zobrazil, ale autoři spekulují, že právě takové skupiny by v rámci mohutného zjasnění už mohly být patrné.

Velmi hmotné hvězdy jsou na začátku svého života skutečně velice zářivé. Tak moc, že jejich obálky se mohou blížit **Eddingtonově mezi** (hranici, kde se gradient tlaku záření zevnitř hvězdy vyrovnaná s gravitační silou). D. Sanyal, L. Grassitelli, N. Lander a J. Bestenlehner analyzovali modely hvězdného vývoje pro velice hmotné hvězdy. Ukázalo se, že zatímco povrch hvězdy se ani pro bumbrlíčka o hmotnosti 500  $\text{M}_\odot$  Eddingtonově mezi neblíží, zanoříme-li se do obálky hvězdy hlouběji, dojde k jeho překonání již pro hvězdu s hmotností jen  $40 \text{ M}_\odot$ , zejména v některých oblastech. Autoři ukazují, že zatímco většina modelů předpokládá překročení Eddingtonova limitu jen v řádu jednotek procent, pro velké hvězdy se může jednat o překročení o desítky %. To vede k nafukování obálek, změnám v konvekci, inverzímu hustoty a nakonec k pulzacím a celkovému zvětšení poloměru hvězdy až do násobků hodnot bez započtení tohoto jevu.

**Pohrobci hmotných hvězd i černé veledíry** se dále zvětšují i nabírají hmotu stejným způsobem, čili akrecí. Objektů,

které kolem sebe mají akreční disk, je však ve vesmíru mnohem víc druhů. Platí pro všechny nějaký společný zákon? S. Scaringi aj. se pokusili alespoň z části na tuto otázku odpovědět. Jejich práce je založena na pozorování akrečních disků kolem bílých trpaslíků a čerstvě narozených nebo teprve vznikajících hvězd držící *Kepler* a přístrojem *ULTRACAM* na *William Herschel Telescope*. Ukázalo se, že i tyto objekty sdílejí stejnou závislost variability světelné křivky na středním zářivém toku, a tedy za všemi akrečními disků musí stát stejná fyzika.

Zatímco **magnetická pole** na povrchu hvězd můžeme docela dobře pozorovat díky atmosférickým jevům, vlastnosti a chování magnetických polí v hvězdných nitrech zůstávají neprozkoumány. J. Fuller aj. navrhli způsob jejich sledování pomocí **asteroseismologie**. Silná magnetická pole uvnitř hvězdy se projevují potlačením některých oscilačních rezimů, protože siločáry magnetického pole brání přenosu energie z jádra hvězdy k povrchu. Data z družice *Kepler* obsahují kromě jiných také pozorování několika desítek červených obrů právě s takovými potlačenými oscilačními módy, což autoři interpretují jako příznak silně magnetizovaných jader a udávají odhad **magnetické indukce** v řádu více než  $10 \text{ T}$ , v jednom případě dokonce až  $10 \text{ kT}$ .

## 2.3. Vznik hvězd a prahvězdy

S. Anathpindika publikoval přehledovou práci o současném stavu výzkumu obřích molekulárních mračen (*giant molecular clouds, GMC*) a tvorby hvězd v nich. Mračna, která typicky mají hmotnost v řádu tisíců  $\text{M}_\odot$  a rozměry do 10 pc, se zahušťují do vláken a chuchvalců a tyto zhuštěniny musí vydržet pohromadě dostatečně dlouho, aby se v nich mohly začít tvořit hvězdy. Na základě četných numerických modelů se konečně dobíráme představy, jak je možné tyto zhuštěniny vytvořit a udržet při životě dostatečně dlouhou dobu – klíčové jsou **dynamické gravitační procesy mezi vlákny a chuchvalci navzájem a hustotní vlny**, které ve zhuštěninách přenášejí energii z místa na místo, a tím zabraňují jejich zhroucení.

O první generaci hvězd, tzv. populaci III, výše zmiňujeme, že jsou patrně příliš slabé a vzdálené na to, abychom je mohli přímo vidět, a dosud se jedná především o teoretický koncept. D. Sobral aj. však objevili **primordiální galaxii CR7**, jejíž spektrum vykazuje dvě jasné emisní čáry, Lyman- $\alpha$  a He II (164 nm). Galaxie CR7 má červený posuv  $z = 6,604$  (to odpovídá stáří vesmíru přibližně 800 Mr po velkém třesku) a světlo z ní k nám letělo 12,9 miliardy roků. Autoři pomocí přístrojů *X-shooter*, *SINFONI* a *FORS2* na *VLT* a *DEIMOS* (DEep Imaging Multi-Object Spectrograph) na *Keckově dalekohledu* vysvětlují pozorované emise jako kombinaci spekter hvězd populace III a pozdější populace II s červenějším spektrem. Nezávisle to potvrdila pozorování kamerou *WFPC3 HST*, která umožnila rozlišit prostorově odlišné červenější hvězdy, jejichž hmotnost v galaxii dominuje, od namodralé populace III. Autoři tato pozorování vysvětlují jako pozdní tvorbu primordiálních hvězd v těch oblastech, kde ještě zůstala zárodečná oblaka, složená pouze z vodíku a hélia. Jako obvykle jsou zde důkazy pouze nepřímé a jsou možná také jiná vysvětlení pozorovaných emisních čar (např. plyn padající do černé díry); teprve další pozorování umožní rozhodnout, zda CR7 opravdu obsahuje hvězdy populace III.

K. Johnstonová aj. zaměřili radioteleskopy mikrovlnné observatoře *ALMA* na vznikající hvězdu **AFGL 4176** spektrální třídy O, která má hmotnost asi  $25 \text{ M}_\odot$  a nachází se v oblasti intenzivní tvorby hvězd ve vzdálenosti asi 4,2 kpc. V jejím okolí zjistili silnou rádiovou emisi z oblasti o rozmezích zhruba  $870 \times 330 \text{ au}$  a výtrysk kolmý na tuto strukturu. Detailní pozorování odhalila rotující disk, jaký je obvyklý u hvězd s běžnou hmotností, tedy s *Keplerovou* rotací.

Hmotnost tohoto disku dosahuje ohromujících 8–12 M<sub>⊕</sub>, takže jeho průměr je o řád větší, než u předešlého největšího známého disku. Pozorování je podstatně především proto, že jede o první případ mladé a hmotné hvězdy, která má kolem sebe nápadně normální disk; dosud všechny nalezené disky u hmotných hvězd připomínaly spíše rozbitou pneumatiku, anebo měly ještě složitější strukturu.

Ačkoliv teoretické modely podporují představu, že vícečetné hvězdné systémy vznikají najednou, zatím nemáme příliš mnoho potvrzujících pozorování. J. Pineda aj. objevili vznikající hvězdu, kolem které se ve vzdálenostech více než 1 000 au formují další tři gravitačně vázané hvězdné zárodky. Z těchto zárodků se podle autorů do 40 000 roků vyvinou tři složky čtyřhvězdy, z nichž jedna patrně vytvoří s první hvězdou dvojhvězdu. Co se stane se zbylými dvěma, je nejasné, ale celá čtveřice je na časové škále 0,5 Mr nestabilní. Autoři uvádějí, že tento systém je možný ukázkový příklad, proč v zárodečném stádiu vidíme větší počet vícečetných hvězdných soustav, než nakonec odpovídá zastoupení mezi „dospělými“ hvězdami.

Při příležitosti oslav 25. výročí činnosti HST zveřejnil jeho tým novou fotografiю „sloupů stvoření“ (*pillars of creation*) v Orlí mlhovině (M16). Původní snímek z r. 1995 se stal jednou z nejslavnějších fotografií HST. Nový snímek z r. 2014 je díky nové kameře WFC3 možná ještě působivější než původní, ale kromě úchvatné podívané umožňuje také porovnání, jak se za téměř 20 let změnila struktura plynopráchových oblaků. Ukázalo se tak, že některé části mlhoviny se posunuly až o 100 miliard km a dále se pohybují rychlosťí 800 000 km/h. A. Mc Leod aj. se na mlhovinu podívali přístrojem *MUSE* (Multi Unit Spectroscopic Explorer), nejnovějším přístrojem dalekohledu *UT4 VLT* na Paranalu. Podrobná analýza umožnila určit míru ionizace a eroze způsobené intenzivním zářením hvězd otevřené hvězdokupy NGC 6611. Autoři odhadují „odpařování“ mlhoviny rychlostí 70 M<sub>⊕</sub>/Mr, což znamená, že celá nádherná struktura se rozplyne zhruba za 3 Mr.

## 2.4. Zázračný svět hvězd

Tak se jmenovala populárně-vědecká kniha slavného britského astrofyzika a znamenitého popularizátora Jamese Jeanese (1877–1946), která vyšla v českém překladu r. 1946. Jeans nejspíš nemohl tušit, že v r. 2015 se bude astronomům jevit svět hvězd ještě mnohem zázračnější.

**Vega**, pátá nejjasnější hvězda na noční obloze, je raná hvězda typu A0. Již nějakou dobu je známo, že radiální rychlosť povrchu hvězdy se drobně mění, ale až T. Böhm aj. analyzovali Vegu pomocí spektrografu *SOPHIE* na observatoři v Haute-Provence a objevili, že povrch hvězdy je skvrnitý. Potvrdili rotační dobu 0,68 d a zjistili, že povrch spíše než změny poloměru vykazuje mnoho slabých skvrn, které způsobují změny jasnosti v řádu 1–2 %. Skvrny jsou vyvolány podpovrchovým magnetickým polem s indukcí přibližně 0,7 mT, což je překvapivé, protože o hvězdách typu A se obecně soudí, že magnetické pole prakticky nemají, anebo ho mají velmi slabé. Skvrny podle autorů nejsou způsobeny odlišným chemickým složením, neboť hvězda rotuje do statečně rychle a případné nehomogenity by se rozpočítely po celém obvodu. Také je možné, že jsou světlejší než okolí a nikoli tmavší jako na Slunci.

E. Mamajek aj. oznámili výsledek zpětného výpočtu dráhy malo hmotné dvojhvězdy **WISE J0720-0846**, známější jako *Scholzova hvězda*. Autoři uvádějí, že podle jejich propočtu dvojhvězda prošla před zhruba 70 000 roky ve vzdálenosti jen (52 +23 -14) tisíc au od Slunce, tedy vnějším Oortovým oblakem. Jde o nejtěsnější známý průchod, a naštěstí bylo dynamické působení na Sluneční soustavu pouze sla-

bé – dvojhvězda má hmotnost jen přibližně 0,15 M<sub>⊕</sub>. Autoři odhadují, že takto těsný průlet nějaké kolemjdoucí hvězdy nastává v průměru každých zhruba 100 000 let.

**Měření stáří hvězd** je nejednoduchá disciplína. Stáří Slunce určujeme radioaktivním datováním materiálu, který máme fyzicky dostupný z různých míst Sluneční soustavy, ale pro jednotlivé vzdálené hvězdy není takto určit jejich věk možné. Jisté vodítko poskytuje **hvězdokupy** – všechny hvězdy vznikly zhruba ve stejný čas, ale v závislosti na své hmotnosti se vyvíjejí různě rychle. Když se tedy na hvězdokupu podíváme, můžeme porovnat jednotlivé fáze vývoje a jejich projevy; starší hvězdy obecně rotují pomaleji a mají menší počet skvrn, mladší hvězdy naopak rotují rychleji, mají větší počet skvrn, vykazují větší aktivitu a ty nejmladší mají občas ještě protoplanetární disk. S. Meiborn aj. dokázali tuto metodu, zvanou **grocronologie**, aplikovat na hvězdokupu **NGC 6819**, starou asi 2,5 miliardy let. Díky přesným datům z družice *Kepler* zjistili, že i pro méně hmotné hvězdy platí jednoduchá nepřímá úměra mezi stářím a rychlostí rotace. Kromě toho, že můžeme začít používat rychlosť rotace jako (alespoň orientační) měřítko věku hvězdy, je důležité, že se potvrzuje předpověď A. Skumaniche z r. 1972 (!), že *rychlosť rotace hvězdy klesá s druhou odmocninou jejího stáří*. T. Reinhold a L. Gizon analyzovali **vzorek 24 124 hvězd** ze zorného pole družice *Kepler* a pomocí grochronologie určili jejich stáří; pro zhruba tři čtvrtiny hvězd jejich výsledky souhlasí s dřívějšími měřeními, v oblasti povrchových teplot 3 200 ÷ 4 700 K jsou patrná dvě rozdělení přeložená přes sebe. Autoři ve vzorku také našli 1 079 hvězd s mimořádně stabilní periodou, z nichž polovinu patrně způsobují neviditelné druhé složky dvojhvězd, druhou polovinu je hypoteticky možné přičítat silným magnetickým dynamům, která jsou snad schopná udržet skvrny na povrchu hvězdy i po několik let. **Objev bimodálního rozdělení** bude vyžadovat jak další pozorování, tak teoretické vysvětlení.

**Hvězdy na úprku**, totiž na cestě směřující únikovou rychlosťí mimo Galaxii, jsme zvyklí vidat kolem jádra Galaxie, kde za jejich urychlení nad únikovou rychlosť zpravidla může centrální veleřífa. S. Geier aj. detailně zkoumali hvězdu **US 708**, která je s rychlosťí vůči centru zhruba 1 200 km/s nejrychlejší známou hvězdou v Galaxii. Rekonstrukce její dráhy vylučuje s velkou pravděpodobností centrum Galaxie jako místo původu, hvězda sama rychle rotuje a jde o kompaktní héliovou hvězdu. Polovina takových hvězd se nachází ve dvojhvězdách jako pozůstatky někdejších červených obrů, které jejich průvodce (typicky bílý trpaslík) připravil o většinu jejich látky. Autoři se domnívají, že přesně takový případ je **US 708** – odhozená složka dvojhvězdy, dřívější dárce materiálu pro výbuch supernovy typu Ia, s hmotností asi 0,3 M<sub>⊕</sub>. T. Tauris modeloval rozložení rychlosťí právě takových hvězd, odhozených při výbuchu supernovy. Podle autora se maximální úniková rychlosť pro hvězdy s hmotností menší než Slunce pohybuje kolem 1 280 km/s (samozřejmě závisí na směru vyvržení), což se velmi dobře shoduje s pozorováním **US 708** a dalšími rychlými hvězdami s nízkou hmotností.

## 2.5. Dvojhvězdy a vícenásobné soustavy hvězd

M. Moe a R. Di Stefano zveřejnili svůj objev **nové třídy zákrytových dvojhvězd**, totiž takovou kombinaci, kdy kolm rané hvězdy hlavní posloupnosti spektrálního typu B obíhá prahvězda s nízkou hmotností. Autoři našli 18 takových systémů ve Velkém Magellanově mračnu v archivu pozorování experimentu *OGLE*. Oběžné doby těchto systémů jsou v řádech jednotek dnů, věky 0,6 ÷ 8 Mr a hmotnosti sekundárních složek jsou 0,8 ÷ 2,4 M<sub>⊕</sub>. Autoři odhadují, že

( $2 \pm 0,6$ ) % všech primárních složek typu B má souputníka s oběžnou dobou  $3 \div 8,5$  d a vysoký poměr hmotností  $0,06 \div 0,25$  (to je  $10\times$  víc než pro hvězdy slunečního typu). Tato nová třída dvojhvězd by měla být vývojovým předchůdcem supernov typu Ia, rentgenových dvojhvězd s nízkou hmotností a milisekundových pulsarů.

První databáze pozorování družice *Kepler* obsahuje také přes 2 400 zákrytových dvojhvězd, čehož se rozhodli využít P. Zasche aj. a analyzovat tyto systémy z hlediska možné třetí složky v systému. Ze souboru všech pozorování vybrali oddělené dvojhvězdy typu Algol a analyzovali variace jejich oběžné doby. Našli desítku takových systémů a pozemními pozorováními ověřili jejich proměnnost, kterou vysvětlují **třetím tělesem** s oběžnou dobou od 1 do 14 roků. Dále objevili tucet podezřelých dvojhvězd, u nichž jsou třeba další měření, aby bylo možné třetí těleso potvrdit nebo vyloučit.

D. LaCourse aj. softwarově analyzovali sadu pozorování mise K2 družice *Kepler* z hlediska nových zákrytových dvojhvězd a získali tak 207 detekcí, z nichž minimálně 97 je nových. C. H. Lee stejným způsobem použil data přehlídek ASAS (*All Sky Automated Survey*), NSVS (*Northern Sky Variability Survey*) a LINEAR (*Lincoln Near Earth Asteroids Research*) a našel v nich 783 zákrytové dvojhvězdy, jejichž parametry publikoval. Totéž provedl stejný autor pro data přehlídky CSS (*Catalina Sky Survey*), kde našel 2 170 zákrytových systémů, z nich 211 velmi excentrických a 288 s nízkou hmotností. Pro 25 systémů byl schopen určit i jejich vzdálenost od nás. M. Yang aj. použili velice podobný přístup pro data z čínského dalekohledu CSTAR (*Chinese Small Telescope ARray*), umístěného v Antarktidě na jižním pólu. Také oni objevili 53 nových zákrytových dvojhvězd, z nich 18 kontaktních. Všechna softwarová zpracování zatím detekují poměrně vysoký počet falešných poplachů, které je nutné ověřovat ručně, nicméně je vidět, že automatizace postupuje i v tomto oboru.

**Horci podtrpaslíci** se považují za kompaktní héliová jádra někdejších červených obrů, kteří přišli o téměř celou vodíkovou obálku. Velká část těchto hvězd se nachází v těsných dvojhvězdách, nezanedbatelná část z nich také putuje Galaxií vysokými rychlostmi, jak jsme se zmínili výše. S. Geier publikoval přehled známých systémů po objevu *dvou takových hvězd s hnědými trpaslíkem jako průvodcem a jednoho podtrpaslíka ve dvojici s bílým trpaslíkem*. Po mnoha letech tak konečně máme docela dobrou představu, jak tyto exotické hvězdy vznikají – vždy je součástí procesu ztráty obálky červeného trpaslíka, někdy odhozením, někdy odpařením nebo přetokem na druhou hmotnou složku. Podle toho, zda se druhá složka (kterou může být i hmotná planeta) nachází uvnitř nebo vně obálky v době její největší expanze, se pak liší pozůstatek.

## 2.6. Novy

V lednu 2015 vybuchla v galaxii M31 nezvyklá a poněkud záhadná jasná červená nova (*luminous red nova*, LRN). S. C. Williams aj. pořídili 2m Liverpoolským dalekohledem na Kanárských ostrovech následná pozorování dosvitu této novy, která s poklesem jasnosti stále více červenala. V archivu *HST* pak autoři objevili červený zdroj, který byl velice pravděpodobně předchůdcem novy. Na základě spektroskopických charakteristik autoři srovnávají výbuch **M31LRN 2015** se systémem V838 Mon. Stejný závěr potvrzuje A. Kurtenkov aj., kteří pozorovali dosvit pomocí dalších osmi dalekohledů. Podle nich dosáhla svítivost novy hodnoty  $870 \text{ kL}_\odot$  a její spektrální typ se změnil z F5 I na F0 I před maximem a pak na K3 I po něm.

Původ veškerého **lithia** ve vesmíru je trojí: přímo vytvořené při velkém třesku, v mezihvězdné látce působením

srážek částic plynu s kosmickým zářením (touto cestou také vzniká berylium a bor) a v jádrech hvězd, zejména červených trpaslíků. A. Tajitsu aj. objevili ve spektru dosvitu novy **V339 Del** (vybuchla v souhvězdí *Delfína* v r. 2013) spektrální čáry ionizovaného izotopu  $^7\text{Be}$ , který se ve velmi krátkém čase rozpadá na  $^7\text{Li}$ . Jde o první experimentální důkaz, že značná část kosmického lithia se dostává do oběhu právě díky výbuchům nov. R. Gehrz aj. zveřejnili výsledky svých pozorování novy V339 Del pomocí přístroje *FORCAST* (Faint Object infraRed CAmera for the SOFIA Telescope) na palubě létající observatoře *SOFIA* (Stratospheric Observatory for Infrared Astronomy). Autoři určili vzdálenost novy na přibližně  $4,5 \text{ kpc}$  a odhadli celkovou svítivost na  $830 \text{ kL}_\odot$ , což z ní činí zatím nejjasnější známou novu typu CO. Překvapivé naopak je, že podle vývoje spekter se zdá, že ve vyvrženém materiálu zkondenzovalo poměrně malé množství prachu. O. Taranova aj. sledovali novu nezávisle, a došli k mírně odlišným výsledkům. Podle nich je vzdálená zhruba  $3 \text{ kpc}$ , což také znamená její menší svítivost, jen  $250 \text{ kL}_\odot$ , rychlosť rozpínání novy v maximu byla přibližně  $700 \text{ km/s}$  a celková hmotnost vyvrženého materiálu v prvních 20 dnech expanze byla zhruba  $10^{-6} \text{ M}_\odot$ . C. Tappert aj. prověřili osm kandidátů na centrální objekt, zbylých po výbuchu novy. Pětici kandidátů se jim podařilo spolehlivě ověřit a zbylé tři identifikovali pravděpodobně. Zajímavé je, že dva nejstarší systémy GR Sgr a V999 Sgr obsahují opticky tlustý disk, svědčící o silném přenosu materiálu, což je jev, který u pozůstatků po novách zatím moc neznáme.

P. Mróz aj. analyzovali **zastoupení nov ve výduti naší Galaxie** na základě archivu dat z 23 let běhu experimentu *OGLE*. Kromě 39 světelných křivek nov, více než 80 identifikovaných kandidátů zbytků po výbuchu novy a 18 určení oběžné doby zjistili průměrný počet  $(13,8 \pm 2,6)$  nov za rok. Autoři uvádějí, že v archivu nenašli jediný případ podobný rekurentní nově M31 2008-12a, což ukazuje, že jde o skutečně vzácný případ. Stejný autoři v jiné práci publikovali soubor **1 091 trpasličích nov**, nalezených ve výše uvedených datech. Kromě trpasličích nov nalezli také několik desítek systémů typu WZ Sge a SU UMa. Zmíněná rekurentní nova **M31 2008-12a** je současným rekordmanem co do krátkosti periody vzplanutí (přibližně 1 rok). Není proto divu, že je cílem velkého zájmu. M. Kato, H. Saio a I. Hachisu publikovali výsledný model, jak podle nich systém této rekurentní novy vypadá. Bílý trpaslík s hmotností  $1,38 \text{ M}_\odot$  na sebe akrecí nabírá látku rychlostí  $1,6 \times 10^{-7} \text{ M}_\odot/\text{rok}$ , což způsobuje pravidelné odhození materiálu s hmotností  $6,3 \times 10^{-8} \text{ M}_\odot$ , tedy asi třetinu hmotnosti, kterou bílý trpaslík získá. To s největší pravděpodobností znamená, že se systém jednou stane supernovou typu Ia. M. J. Darnley analyzovali všechna dosavadní vzplanutí této rekurentní novy a zjistili, že jsou podobná si jako vejce vejci a všechna vykazují značně zpomalení odhozeného materiálu, patrně brzděním o hvězdný vítr červeného obra, sekundární složky systému. Taktéž potvrdili postupný nárůst hmotnosti bílého trpaslíka. M. Henze aj. se zaměřili na **pátrání po „chybějícím“ výbuchu rekurentní novy v r. 2010** a byli úspěšní – podařilo se jim v archivu soukromé observatoře japonské Miyaki-Argenteus objevit slabé vzplanutí 20. listopadu 2010. Protože takových slabých vzplanutí nalezli více, navrhují odvážnou hypotézu, že M31 2008-12a má ve skutečnosti **ještě kratší periodu výbuchů**, a sice každých zhruba 6 měsíců (přesněji  $175 \pm 11 \text{ d}$ ).

A. W. Shafter aj. se na **novy v M31** podívali ve větším měřítku a provedli analýzu 964 vzplanutí, která se v M31 vyskytla v průběhu roku 2013, s cílem najít všechny novy, které jsou v této galaxii rekurentní. Z 51 potenciálních kandidátů pečlivým výběrem vyřadili 27, 8 dalších ponechali stranou jako nerozhodnutelné případy, 4 jako pravděpodobné a 12

jistých rekurentních nov. Z této statistiky vyplývá, že přibližně 4 % vzplanutí novy v M31 za posledních sto let byla zapříčiněna rekurentní novou. Autoři dále uvádějí, že možná až třetina všech vzplanutí novy může být asociovaná s rekurentními systémy.

## 2.7. Proměnné hvězdy

M. Kodric aj. zkoumali M31 z hlediska výskytu klasických cefeid. V blízkém IČ oboru analyzovali data programu PHAT (*Panchromatic Hubble Andromeda Treasury*) z HST a použili 271 cefeid ke stanovení závislosti mezi periodou a jasnosti proměnných hvězd. Rozdělením podle kategorií dosáhli nízkého rozptylu a jimi odvozená Hubbleova konstanta rozpínání vesmíru vychází ( $75,4 \pm 2,9$ ) km/s/Mpc. To je o 3,2 % vyšší hodnota než dříve publikovaná A. Riessem aj. na základě podmnožiny zde použitých dat, což je podezřelé a snad až další měření rozhodnou, jak velká je  $H_0$  doopravdy.

R. Anderson aj. prozkoumali samotnou  $\delta$  Cep, archetyp standardních svíček pro měření vzdáleností na galaktické škále. V publikované práci dokazují, že jde o spektroskopickou dvojhvězdu s periodou 2 201 d a excentritou 0,65. Má-li primár předpokládanou hmotnost  $5,0 \div 5,25 M_\odot$ , pak by sekundární složka měla mít hmotnost v rozmezí  $0,2 \div 1,2 M_\odot$ . V datech družice HIPPARCOS není možné prokázat orbitální pohyb, autoři však doufají, že měření družice Gaia již umožní přesnou astrometrii a potvrdí nebo vyvrátí domněnku, že dráha sekundáru prošla změnami v důsledku Kozaiova-Lidovova efektu, způsobeného vzdáleným souputníkem HD 213307.

I. Soszyński aj. zveřejnili výsledky sčítání cefeid ve Velkém (LMC) i Malém Magellanově mračnu (SMC) pomocí dat experimentu OGLE. Počet známých cefeid v LMC tak vzrostl na 4 620 a v SMC na 4915. Kromě cefeid v samotných galaxích se týmu podařilo najít tyto hvězdy i v Magellanově mostu, který obě galaxie spojuje; stáří cefeid v něm nalezených se pohybuje v rozmezí  $27 \div 280$  Mr, což souhlasí s předchozími odhady, že most vznikl při setkání obou galaxií asi před 250 Mr. I. Dékány aj. našli v datech přehlídky VVV (VISTA Variables in Via Láctea) dvě cefidy, které se nacházejí na opačné straně Galaxie. Obě hvězdy jsou skryté za mlhovinou Trifid, mají téměř stejnou periody, jasnosti i barvy (obě jsou velmi červené) a autoři předpokládají, že jsou součástí otevřené hvězdokupy, jejíž ostatní členy zatím nedokážeme rozlišit. Vzdálenost obou cefeid od nás činí ( $11,4 \pm 0,9$ ) kpc a jejich stáří se odhaduje na ( $48 \pm 3$ ) Mr. S. Chakrabarti aj. našli v datech stejně přehlídky čtyři cefidy, které leží ve vzdálenosti 90 kpc, tedy daleko za diskem Galaxie (navíc jsou asi 2 kpc vzdálené od její roviny). Jsou vzdálené jen 1 kpc od sebe a jejich stáří je zhruba 100 Mr. Pravděpodobně se nacházejí v trpasličí galaxii, kterou už ostatně hlavní autorka v daném místě předpovídala v r. 2009. M. Feast aj. pomocí dalekohledu SALT (South African Large Telescope) sledovali 32 cefeid ze zmíněného katalogu OGLE a ověřili, že pět z nich jsou skutečně klasické cefidy ve vzdálenostech  $13 \div 22$  kpc od centra Galaxie, také ovšem  $1 \div 2$  kpc mimo rovinu Galaxie. Protože jsou celkem mladé ( $\leq 130$  Mr), autoři nabízejí hypotézu, že se nacházejí ve vnějším molekulárním oblaku nad spirálním ramenem Štit-Kentaur.

L. Matthews, M. Reid a K. Menten zpracovali pozorování známé hvězdy Mira (o Ceti) v rádiovém oboru, konkrétně z observatoří VLA a ALMA. Výsledky prokázaly přítomnost disku kolem primární složky a odhalily její výrazné zploštění, dále autoři určili poloměr sféry rádiového vyzařování (patrně nejde o skutečný povrch hvězdy) sekundární složky na  $2 \times 10^7$  km. W. Vlemmings aj. použili další data observatoře ALMA a objevili, že rozšířená zářící obálka kolem primární složky sahá až do vzdálenosti 4 au, u sekundární složky je

to „jen“ přibližně 2,4 au. Autoři také v disku kolem primární složky nalezli jasnou horkou skvrnu s průměrem 0,4 au, kterou připisují magnetické aktivity primáru a dávají ji do souvislosti s dříve pozorovanými záblesky rentgenového záření.

$\eta$  Carinae vzplanula v r. 1843 jako záhadný objekt, o němž se dlouho nevědělo téměř nic, snad kromě toho, že porušuje prakticky všechna pravidla pro hvězdy, která jsme znali. Dnes víme, že jde o dvojhvězdu složenou ze dvou velmi hmotných složek (90 a 30  $M_\odot$ ), které kolem sebe oběhnu jednou za 5,5 roku. V periastru se k sobě dostanou na vzdálenost menší než 225 milionů km (to je zhruba vzdálenost Slunce–Mars). Při tomto největším přiblížení dojde k intenzivní interakci mezi rychlým a řidším hvězdným větrem sekundáru s pomalejším hustším hvězdným větrem primáru. Vznikne rázová vlna, která ohřeje okolní plyn natolik, že na dobu několika měsíců začne zářit v rentgenovém oboru. T. Madura aj. tuto interakci numericky simulovali a kromě obvyklých vizualizací vytvořili sadu 3D modelů pro tisk na (dnes již běžných) 3D tiskárnách. 3D modely odhalily dříve nepoznané struktury podobné prstům, které se vytvářejí kolem turbulentních nestabilit podél rázové vlny mezi zmíněnými dvěma hvězdnými větry. M. Teodoro aj. analyzovali rentgenová spektra z různých míst zmíněné rázové vlny a porovnávali pozorování mezi r. 2009 a 2014. Z jejich porovnání plyne, že přiblížení r. 2014 bylo v čáře He II na vlnové délce 4686 Å zhruba o čtvrtinu jasnější; protože zároveň z dlouhodobých pozorování  $\eta$  Car plyne, že hvězdný vítr primáru je dlouhodobě velice stabilní, zvýšení jasnosti jde na vrub aktivnějšímu sekundáru. Ke stejným závěrům došli K. Davidson aj. na základě nezávislých měření pomocí HST. Vysvětlení autoři nabízejí v podobě slabší akrece látky na sekundární složku v době průchodu periastrom, hvězdný vítr sekundáru pak má snadnější průchod mezihvězdným prostředím. V podstatě stejný obrázek potvrzují K. Reitberger na základě dat z družice Fermi; její přístroj LAT (Large Area Telescope) dvojhvězdu pozoroval po celý jeden oběh a autoři uvádějí významnou proměnu spektra v gama oboru v měsících kolem průchodu periastrom. A. Mehner aj. analyzovali dostupná archivní data z HST a v letech 2012–2015 pořídili další pozorování na VLT a CTIO (Cerro Tololo Inter-American Observatory) a také potvrdili zesílení jasnosti v čárách hélia a dusíku (N II), zjistili ale, že v čárách H- $\alpha$  a Fe II byl průchod v r. 2014 slabší než v předchozích letech. Vysvětlení se možná skrývá ve sníženém úbytku látky z primární složky – sekundár pak při průchodu periastrom svým akrečním diskem „nenabere“ tolik materiálu.

## 2.8. Planetární mlhoviny

Vodní fontány jsou pozoruhodné objekty, v nichž se nachází vodní maser uvnitř kolimovaného výtrysku látky. J. Gómez aj. našli takový vodní maser uvnitř výtrysku objektu IRAS 15103-5754. Autoři na základě spekter z VLT, Australia Telescope Compact Array a družice Herschel uvádějí, že maser není indukován pravidelným výtryskem od hvězdy, jak je v případě vodních fontán obvyklé, ale spíše jde o důsledek explozivního rozpínání obálky, která právě dává vzniknout planetární mlhoviny.

C. Badenes, D. Maoz a R. Ciardullo zkoumali planetární mlhoviny v LMC z hlediska charakteristik jejich vývojových předchůdců. Podle nich existují dvě odlišné skupiny: hvězdy hlavní posloupnosti s hmotnostmi  $1,0 \div 1,2 M_\odot$  a stářím  $5 \div 8$  Gr a hmotné hvězdy s hmotnostmi  $2,1 \div 8,2 M_\odot$  a stářím  $35 \div 800$  Mr. Zatímco planetární mlhoviny první skupiny trvají v průměru (26 +6 -7) kr, planetární mlhoviny druhé skupiny „vydrží“ jen (11 +6 -7) kr.

H. Smith Jr. provedl analýzu měření vzdáleností planetárních mlhovin a na základě 16 centrálních hvězd, pro kte-

ré jsou k dispozici přesné trigonometrické paralaxy, navrhoje úpravy odhadování vzdáleností. Podle autora většina metod trpí problematickou závislostí odhadu vzdálenosti na poloměru planetární mlhoviny, což vede k systematickému podhodnocení odhadů. Naopak měření paralaxy planetární mlhoviny (nikoli centrálního objektu) trpí systematickým nadhodnocením odhadu vzdálenosti. Autor upozorňuje na problematické paralaxy v datech družice *HIPPARCOS* (jde o známý problém např. také u *Plejád*) a jako současnou nejlepší metodu uvádí způsob publikovaný D. Frewem aj. v r. 2014.

## 2.9. Bílí trpaslíci

Bílí trpaslíci s povrchovou teplotou ve vhodném rozmezí pravidelně pulsují s periodou typicky několik minut. K. Bell však u bílého trpaslíka **KIC 4552982** a J. Hermes aj. u bílého trpaslíka **PG1149+057** v zorném poli družice *Kepler* nalezli podivné **nepravidelné pulsace**, pro které zatím chybí vysvětlení. Jde o nepravidelná osamocená vzedmutí, která provází zjasnění hvězdy až o 15 % a zvýšení povrchové teploty o 750 K v řádu jednotek hodin. Další pozorování jsou nutná; pozemské přístroje ovšem trpí nutností pozorování přerušovat, což snižuje šanci na zachycení těchto jevů.

S. Parsons aj. propátrali **katalog Catalina** a našli 14 nových dvojhvězdných systémů, tvořených bílým trpaslíkem a hvězdnou hlavní posloupnosti. Většina z nich je spektrálního typu M2–M3 s oběžnou dobou kolem 4 h a velmi blízko k hranici Rocheova laloku. Tyto nově nalezené systémy mají dřívější spektrální typ hvězdy hlavní posloupnosti a také nižší poměr počtu hvězd ve dvojhvězdách daného typu, než ve starších přehledech. To je patrně způsobeno tím, že dřívější spektrální typy rychleji dospějí do katastrofické fáze a tím zmizí ze vzorku tohoto typu dvojhvězd.

A. Gianninas aj. určili paralaktické vzdálenosti a další vlastnosti **54 chladných bílých trpaslíků**, tedy těch, kteří mají povrchovou teplou nižší než 4 000 K. Nacházejí se ve vzdálenostech 21–100 pc od nás a až na dvě výjimky se všichni nacházejí uvnitř disku Galaxie. Nejstarší z nich má odhadované stáří 10 Gr. Autoři uvádějí, že jde zřejmě o jasnější skupinu bílých trpaslíků s většími poloměry a nízkými hmotnostmi, ta chladnější, menší a hmotnější skupina ještě z velké části čeká na objevení.

M. Boursová aj. pořídili pomocí *HST* UV spektra dvojhvězdy **SDSS J125733.63+542850.5**, kterou tvoří dvojice bílých trpaslíků, a kombinací s optickými daty určili fyzické parametry obou složek. Sekundární složka má dobře určenou povrchovou teplotu 13 030 K a hmotnost 1,06 M $\odot$ , primární složka má povrchovou teplotu 6 400 K a 4,27× větší poloměr než sekundár. Hmotnost primární složky je složité určit, ale pravděpodobně se pohybuje těsně nad minimální hodnotou 0,1 M $\odot$ . Co je velmi nečekané, je stáří obou složek – zatímco sekundární složka je stará jen zhruba 1 Gr, primární složka je starší než 5 Gr. Jak je takový vývojový paradox možný, zatím není jasné.

## 3.1. Supernovy

**Supernova 1987A** je častým cílem pozorování ve všech spektrálních oborech. M. Matsuura aj. na materiál vyvržený při vzplanutí této supernovy zaměřili družici *Herschel* a pořídili IR spektra prachu. Ze spektrálních čar O I, SiO a C odhadli hmotnost této vyvržené látky při výbuchu na zhruba 0,8 M $\odot$ . S. Boggs aj. ve spektru **SN 1987A** našli emisní čáry, které vznikají při radioaktivním rozpadu 44Ti. Titan vzniká v nejvnitřnější vrstvě vyvrženého materiálu. Spektrální čáry jsou zčervenalé a z jejich Dopplerova posunu autoři odvodili rychlosť rozpínající se obálky přibližně 700 km/s. Všechna zářící látky se pohybují směrem k nám, což svědčí

o výrazné asymetrii výbuchu. E. Dwek a R. Arendt v analýze spekter 615, 775, 1 144, 8 515 a 9 090 dní po vzplanutí potvrdili emisní čáry radioaktivního  $^{56}\text{Co}$ , již zmíněného  $^{44}\text{Ti}$  a také řádově shodný odhad hmotnosti prachu 0,5 M $\odot$ . Podle nich v materiálu převažují silikáty nad uhlíkatými částicemi. R. Wesson aj. modelovali přenos záření v prachovém mračnu kolem pozůstatku po supernově a oznámili objev postupného nárůstu hmotnosti prachu. Kondenzace prachu trvá desítky let a prachová jádra na sebe v průběhu času nabalují další látku, čímž hmotnost mračna roste. Supernovy tak přispívají k tvorbě prachu ve vesmíru ve větší míře, než se dosud soudilo. S. Orlando aj. analyzovali rentgenové záření rozpínající se obálky a vytvořili numerický model, pomocí kterého odhadli energii vzplanutí supernovy na  $1,2 \div 1,4 \times 10^{44}$  J a celkovou hmotnost odhozené obálky na  $15 \div 17$  M $\odot$ . Z prostorového rozložení rentgenového záření také stanovili hrubé obrys tyvat mlhoviny v okolí supernovy ještě před jejím výbuchem. C. Fransson aj. na **SN 1987A** zaměřili *HST* a *VLT* a porovnali pozorování mezi lety 1994 a 2014. Autoři na základě posunu jasných zářících míst odhadli rychlosť rozpínání prstence na  $500 \div 1\,000$  km/s a oznámili postupné slabnutí záření, jak se obálka rozpíná a zároveň se horká místa ochlazují rozpouštěním v okolním chladnějším plynu. Autoři odhadují, že vnitřní prstenec se do r. 2025 zcela rozpadne a zmizí. V. Utrobin aj. modelovali čtyři druhy modrých veleobrů ve snaze porovnat modelové světelné křivky vzplanutí supernovy s pozorovanými daty. Zaměřili se mj. na produkci  $^{56}\text{Ni}$  ve vyvrhané obálce a zjistili, že žádný současný model není schopen zcela vysvětlit všechny charakteristiky **SN 1987A** – zatímco všechny modely zhruba odpovídají tvaru světelné křivky, tři neumožňují reprodukovat strmý nárůst jasnosti na počátku vzplanutí, zatímco ten čtvrtý zase nedovede vysvětlit pozorovanou absolutní magnitudu modrého veleobra před výbuchem.

**Krabí mlhovina** je dalším oblíbeným cílem výzkumů. P. Owen a M. Barlow vytvořili modely jejího rozpínání a zkoumali jejich soulad s pozorovanými spektry. Žádny jednoduchý symetrický model není schopen reproducovat skutečná spektra, neboť by vyžadoval neúměrně velkou hmotnost vyvržené látky. Nejlepší výsledky poskytují asymetrické modely s dodatečnou ionizací plynu v mlhovině od hvězdného větru centrálního pulsaru. Tyto modely poskytují uspokojivé výsledky s hmotností uhlíkatého prachu  $0,11\text{--}0,13$  M $\odot$ , silikátového prachu  $0,39\text{--}0,47$  M $\odot$  a celkovou hmotností odhozeného materiálu  $(7,2 \pm 0,5)$  M $\odot$ , což je v souladu s odhadovanou hmotností předchůdce supernovy 9 M $\odot$ .

S. Katsuda aj. zpracovali rentgenová spektra pozůstatku po **Keplerově supernově (SN 1604)** z družic *Newton*, *Chandra* a *Suzaku*. Porovnáním s **Tychonovou supernovou a SNR 0509-67.5** v *LMC* autoři odhadují hmotnosti odhozeného materiálu: těžké prvky ze skupiny železa přibližně 0,95 M $\odot$ , lehké prvky 0,12 M $\odot$ . Na základě poměrně vysokého zastoupení dusíku v rozpínající se obálce autoři uvádějí hypotézu o pravděpodobném původu v nitru předchůdce supernovy. Z turbulentních zhuštěnin v mezihvězdném materiálu autoři usuzují, že vzplanutí supernovy bylo nadprůměrně jasné a tyto „uzlíky“ se zformovaly několik století po výbuchu teprve na základě interakce odhozené látky s okolním prostředím.

**Einsteinův kříž** je jev dobré známý z galaktické astronomie, který bychom u supernov nečekali, neboť jeho výskyt předpokládá souběžné uspořádání jednoho objektu dostačně daleko a druhého s dostatečně velkou hmotností. O to větší překvapení čekalo na P. Kellyho a kolegy, kteří objevili čtverici jasných bodů v zorném poli kamery *WFC3* v archivu *HST*. Takový obraz gravitačně čočkované supernovy ve vzdálené galaxii předpovíděl již v r. 1964 S. Refsdal. Galaxie, v níž

vzdálená supernova vzplanula, má červený posuv  $z = 1,49$ , kdežto kupa galaxií, která slouží jako gravitační čočka, se skládá z mnoha galaxií, má střední červený posuv  $z = 0,54$ . Archivní data o vzdálené supernově sice nepokrývají dostačně vzplanutí a následný pokles; nicméně z dostupných dat se zdá, že nešlo o supernovu typu Ia. Zcela vyloučena není ani neobvyklá aktivita černé velešíny v jádře některých z galaxií, byť maximum jasnosti mluví spíš ve prospěch supernovy. Autoři dokonce předpovídali, že se objeví další čočkové zobrazení téže supernovy v roce 2015 nebo 2016 díky jiné galaxii též kupě, protože paprsky ze supernovy musí proletět delší dráhu. To se skutečně koncem roku 2015 stalo. Je velká škoda, že S. Refsdal (1935–2009) se tak brilantního potvrzení svého výpočtu nedožil.

Týž hlavní autor předchozí práce spolu s dalšími kolegy publikoval kalibraci vzplanutí supernov typu Ia v prostředích s překotnou tvorbou hvězd a vyšší jasností v UV obooru. Z dat družice *GALEX* (Galaxy Evolution Explorer) podle autorů plyne, že měření vzdáleností supernov z této skupiny má chybu menší než 4 %. Pravděpodobně za to může menší rozptyl určení stáří předchůdců supernov v takových mezihvězdných prostředích, ale je samozřejmě otázka, zda nejde o výběrový efekt.

*Prostor mezi galaxiemi není úplně prázdný*, ale spatřit jednotlivé hvězdy je většinou mimo dosah našich přístrojů – pokud těmi hvězdami nejsou supernovy. M. Grahamová aj. zveřejnili svůj výzkum právě takových **intergalaktických supernov**, které již před lety objevili pomocí *CFHT* (Canada France Hawaii Telescope). Nyní se jim podařilo pomocí *HST* prokázat mimogalaktický původ minimálně tří kandidátů; čtvrtá supernova se zdá být „doma“ uvnitř blízké trpasličí galaxie. Hledání takovýchto supernov (a dalších hvězd) má smysl jednak kvůli studiu gravitačních interakcí galaxií v *Místní skupině*, jednak kvůli kosmologickým důsledkům – možná až 11 % baryonové látky se může nacházet v mezigalaktickém prostoru.

**ASASSN** (*All Sky Automated Survey for SuperNovae*) je přehlídka oblohy, jejímž cílem je pátrání po nových supernovách zejména na jižní obloze. Dvojice 0,14m dalekohledů na Cerro Tololo objevila v květnu 2015 jednu supernovu v souhvězdí *Tukana* a záhy se ukázalo, že jde o jednu z nejjasnějších supernov, které kdy lidstvo mohlo spatřit. Její svítivost dosáhla hodnoty 572 GL<sub>o</sub>, což je více než dvojnásobek svítivosti dosud známých supernov. Nachází se v mateřské galaxii s červeným posuvem 0,23, která vykazuje překvapivě nízké tempo tvorby hvězd. Spektrum supernovy postrádá čáry vodíku, což značí, že ještě před vzplanutím přišla o svou vodíkovou obálku.

### 3.2. Pozůstatky po supernovách (SNR)

H. Yamaguchi aj. se pokusili ověřit, zda jsou hmotnosti explodujících supernov typu Ia, tedy postupně tloustnoucí bílé trpasličí, blízko **Chandrasekharové mezi**. Autoři analyzovali pozůstatek po supernově 3C 397 a oznámili, že nalezené poměry Ni/Fe a Mn/Fe (0,11–0,24, resp. 0,018–0,033) ve spektrech svědčí jednak o tom, že supernova vzplanula ze systému s pouze jedním bílým trpaslíkem, jednak o tom, že odhozená obálka byla z velké části vytvořena obohacením neutrony, které vznikly uvnitř látky s vysokým stupněm degenerace, tj. elektrony vtláčenými do atomových jader, což je jedna z charakteristik bílých trpaslíků s hmotností těsně pod Chandrasekharovoumezí.

R. Fesen, P. Höflich a A. Hamilton zpracovali UV spektra pozůstatku supernovy SN 1885 poblíž výdutě galaxie *M31* z *HST* a na základě spektrálních čar Fe I, Fe II a Ca II zjistili, že odhozená látka se rozpíná velice nerovnoměrně. Zatímco části bohaté na železo vykazují čtyři výrazné proudy, které

letí rychlostmi až 10 000 km/s, ta část plynu, která silně absorbuje v čárách Ca II, se rozpíná všemi směry, ale s rozdílnými rychlostmi v rozmezí 1 000–5 000 km/s (s výjimkami o rychlosti dokonce až 12 500 km/s). Právě přibližná sférická symetrie obálky bohaté na vápník je podle autorů důkazem, že supernova nevznikla splynutím dvou bílých trpaslíků, ale šlo o typ Ia.

**Pulsar v centru Krabí mlhoviny** rotuje s frekvencí zhru- ba 30 Hz a tato frekvence velmi pozvolna v čase klesá. Přesná měření v *Jodrell Bank* odhalila, že pulsar občas škytně – 15 těchto urychlení rotace nastalo během 11 let a celkem jich od r. 1968 bylo zaznamenáno 24. A. Lyne aj. zkoumali dostupná data, a zatímco za zpomalováním frekvence pulsaru podle nich stojí brždění způsobené magnetickým polem, jehož dipól se odkládá od rotační osy pulsaru, pro škytnutí dobré vysvětlení schází. Některá zrychlení rotace se dělají kvaziperiodicky po 320 dnech, jiná ovšem ne. Zlomek oblohou vteřiny jihovýchodně od pulsaru v centru *Krabí mlhoviny* se nachází „uzlík“ – oblast, která intenzivně bliká v obooru gama elektromagnetického spektra. A. Rudy aj. se na ni zaměřili s využitím *HST*, družice *Chandra* a *Keckova dalekohledu* a potvrdili, že jde o rázovou vlnu, rozpínající se okolním prostředím. Nejasnosti nicméně zůstávají, zejména celková geometrie systému je záhadné – „uzlík“ se jeví mnohem blíž k pulsaru, než by vzhledem k rychlosti rázové vlny měl.

R. Lau aj. pomocí přístroje *FORCAST* letecké observatoře *SOFIA* získali spektra pozůstatku po supernově Sgr A(E), která ve směru k centru Galaxie vzplanula asi před 10 000 lety. Zjistili, že v centru rozpínající se obálky se nachází zhruba 0,02 M<sub>o</sub> prachu s teplotou kolem 100 K. Překvapivé množství prachu, které se udrželo po ohromadě po tak dlouhou dobu, je patrně možné jen díky relativně vysoké hustotě okolního prostředí, které dobře tlumí rázovou vlnu výbuchu a malou velikostí částic prachu zkondenzovaného prachu uvnitř rozpínající se obálky. Pokud je hypotéza autorů správná, znamená to, že supernovy jsou skutečně zodpovědné za tvorbu většiny prachu v raných galaxiích.

**Pozůstatky po supernovách** nacházíme nejen v naší Galaxii, ale pochopitelně i v jejích nejbližších sousedech. W. Reid aj. pořídili multispektrální pozorování jednoho takového objektu v *LMC* a zjistili, že jde o víceméně typického zástupce zbytku po supernově typu Ia. Spektrum ukazuje nižší poměr intenzity čar dusíku vůči vodíku, což patrně souvisí s tím, že se v celé *LMC* obecně vyskytuje menší zastoupení dusíku ve srovnání s Galaxií. Autoři odhadují stáří pozůstatku na 2–5 kr a rychlosť rozpínání obálky je v rozmezí 600–1 400 km/s. Odhadnout, kolik látky supernova rozhodila ve svém okolí, podle autorů není možné kvůli příliš vysoké koncentraci mezihvězdného prachu všude v okolí pozůstatku.

G. Dubnerová a E. Giacaniová zveřejnily přímo **učebnicovou přehledovou práci o pozůstatcích supernov**, ve které shrnují většinu experimentálních i teoretických poznatků o těchto objektech, včetně interakcí mezi rázovou vlnou výbuchu a mezihvězdnou látkou. Autorky se mj. zabývají otázkou, nakolik mohou rozpínající se obálky napomáhat tvorbě nových hvězd, a jakým směrem by se měl ubírat výzkum těchto objektů v rádiovém oboru.

### 3.3. Obecně o supernovách

R. Lunnan aj. se rozhodli využít potenciálu *HST* k hledání předchůdců **nadsvítivých supernov** (*SLSNe = Super Luminous SuperNovae*) objevovaných v posledních letech. Společným rysem těchto supernov je deficit vodíku. K tomu cíli si nejprve vybrali 16 mateřských galaxií, v nichž byly *SLSNe* pozorovány, z toho 11 supernov nalezl přehlídkový 1,8m teleskop *Pan-STARRS*. Pak začali snímkovat mateřské gala-

xie, aby mohli popsat jejich morfologii, rozměry a tehdejší tempo tvorby nových hvězd. Díky výtečné úhlové rozlošovací schopnosti *HST* dokázali přesně určit polohu supernovy na snímcích. Ze snímků v ultrafialovém oboru tak zjistili, že mateřské galaxie mají nepravidelné tvary trpasličí rozměry, neboť jejich poloměr s poklesem jasnosti galaxie na polovinu centrální hodnoty činí jen 0,9 kpc. Tempo tvorby hvězd v dané oblasti je však nadprůměrné, takže SLSNe vybuchují v relativně hustých partiích dané galaxie. Ještě vyšší koncentraci do těchto partií jeví dlouhá LGRB, na rozdíl od standardních supernov, které jsou v galaxiích rozloženy rovnoměrně. To by svědčilo ve prospěch domněnky, že předchůdci LGRB musí mít ještě vyšší počáteční hmotnosti než předchůdci SLSNe.

S. Couch aj. simulovali trojrozměrně poslední minuty před výbuchem **supernovy třídy II** (kolapsaru), kdy rychle roste její železné jádro, aby se následně zhroutilo vinou vlastní gravitace. Autoři tak zjistili, že ve slupce nad jádrem bouřlivě probíhá termonukleární hoření jader křemíku, což vyvolává silnou konvekci plynu dosahující rychlostí stovek km/s, díky niž nabude železné jádro kritické hmotnosti, a proto se bleskově zhroutí. Autoři dále ukázali, že celý proces není ani zdaleka kulově souměrný, což usnadňuje následný masivní únik neutrin, jež odnesou významnou část energie rychlým rozptylem do okolního prostoru. Předešlé výpočty v 1D a 2D nemohly proto být dostatečně reprezentativní, a to byl důvod, proč takto zjednodušené modely k výbuchům ani nevedly. Pokroky výpočetní techniky a důmyslnějších komplexních kódů se projevily tím, že obdobné výpočty téměř současně uveřejnili také E. Lentz aj., P. Mösta aj., T. Melson aj. a A. Wongwathanarat aj.

V. Utrobin aj. uspěli v 3D simulování následků výbuchu **SN 1987A**, která patří do třídy II. Podařilo se jim správně odhadnout množství vyvrženého radionuklidu  $^{56}\text{Ni}$  (poločas rozpadu 6,1 d) i rychlosť jeho rozpínání tempem 3 tis. km/s. Naproti tomu vodíkový plyn se během výbuchu míchal rychlostmi <100 km, rovněž v dobré shodě se spektrálními pozorováními. Nicméně mnoho problémů se nepodařilo ani téma autorům vyřešit, například nesoulad výpočtu s reálným průběhem světelné křivky supernovy v období až do 40 dnů po výbuchu. Z maxima zářivého výkonu na vrcholu exploze lze odvodit, že héliové jádro supernovy mělo hmotnost 6  $\text{M}_\odot$ , ale simulace daly podstatně nižší hodnotu.

Ještě obtížnější je objasnit procesy, které vedou k výbuchům klasických **supernov třídy Ia**. Všeobecně se má za to, že jejich předchůdci jsou dvojhvězdy, kde rozpínající se složka předává vodíkový plyn přes společný *Lagrangeův bod* do *Rocheova laloku* kolem bílého trpaslíka tak dlouho, až trpaslík dosáhne hmotnosti na *Chandrasekharově mezi* a vypaří se v termonukleární explozi ještě mocnější než tomu je u supernov – *kolapsarů*. K. Marquart aj. podnikli náročnou práci, když simulovali výbuchy bílých trpaslíků typů C-O a O-Ne. Porovnáním chování obou typů dospěli k závěru, že podmínky pro explozi supernovy třídy Ia jsou snazší pro bílé trpaslíky typu C-O. Nanejvýš 10% všech výbuchů SN Ia obstarají bílí trpaslíci O-Ne. Paradoxně v situaci, kdy ročně pozorujeme úspěšné výbuchy tisíců supernov, se modelové výpočty navzdory všem pokrokům v teorii i výpočetní technice potýkají se značnými problémy. Ještě že supernovy nečtou odborné astronomické časopisy.

### 3.4. Radiové a rentgenové pulsary

A. Kirichenková aj. využili obřího teleskopu *GTC* ( $\varnothing$  10,4m; La Palma) ke studiu okolí mladého (17 tis. let) pulsaru **PSR J2021+3651** s rotační periodou 0,104 s, jenž je pozorovatelný v oborech záření rádiového, rentgenového i gama s cílem objevit jeho optickou složku, ale to se jim nepodařilo,

ačkoliv jde o jeden z nejenergetičtějších pulsarů. Jeho zářivý výkon odvozený z brždění rotace dosahuje totiž hodnoty  $3 \cdot 10^{29} \text{ W}$  a indukce jeho magnetického pole hodnoty 300 MT. Autoři dále zjistili, že vzdálenost pulsaru odvozená z dispersní míry (12 kpc) dramaticky nesouhlasí s hodnotou pro vzdálenost pulsarové mlhoviny *PWN G75.2+0.1* („Vážka“) vytvářené pulsarem a zobrazené družicí *Chandra*. Vzdálenost Vážky není rozhodně větší než 1,8 kpc. Vážka se velmi podobá mlhovině prototypu mladých pulsarů *Vela* (PSR 0833-45), jehož stáří se odhaduje na  $5 \div 8$  tis. let.

J. van Leeuwen aj. měřili pomocí pěti největších radio-teleskopů světa po dobu pěti let kolísání impulsních period pulsaru **PSR J1906+0746**, který patří mezi relativně mladé pulsary ( $\sim 100$  tis. let) v těsné dvojhvězdě s druhou nejkraťší oběžnou dobou mezi pulsary (4,0 h). Z toho důvodu se v soustavě, kde pulsar má hmotnost  $1,29 \text{ M}_\odot$  a jeho průvodce  $1,32 \text{ M}_\odot$ , uplatňují významně relativistické efekty. Zatím však není jasné, zda je průvodce pulsaru rovněž neutronovou hvězdou, anebo bílým trpaslíkem. Naneštěstí intenzita signálu pulsaru dlouhodobě slabne vinou geodetické precese způsobené relativistickým efektem, takže mnoho naděje na rozlišení obou variant už nezbývá. Autoři dávají mírnou přednost konvenčnímu modelu s druhou neutronovou hvězdou. Na druhé straně ani možnost, že průvodcem je bílý trpaslík, není zcela vyloučena. V tom případě by dnešní stav této podivuhodné soustavy vznikl poměrně exotickým způsobem, kdy si obě složky soustavy ve dvou oddělených etapách navzájem vyměňovaly hmotu, ale nakonec jenom jedna z nich dokázala vybuchnout jako supernova.

J. Swiggum aj. zkoumali relativistické efekty u pulsaru **PSR J1930—1852**, jenž se nachází rovněž ve dvojhvězdě, kde i druhá složka je neutronovou hvězdou. Pulsar objevili dva středoškoláci během letního praktika o pulsarech v r. 2012. Soustava se vyznačuje nejdélší rotační periodou 0,185 s pro pulsary ve dvojhvězdách, a také nejdélší oběžnou dobou kolem těžiště soustavy 45 dnů. Autoři dokázali změřit hodnotu relativistického stáčení periastra  $2,8''/\text{rok}$ , odkud se dá odvodit celková hmotnost soustavy  $2,6 \text{ M}_\odot$ . To je pro soustavy tvořené dvěma neutronovými hvězdami docela typická hodnota. Dokonce se dá ukázat, že pulsar má hmotnost  $<1,32 \text{ M}_\odot$  a jeho kolegyně  $>1,3 \text{ M}_\odot$ . Autoři dále uvedli, že do roku 2015 objevili radioastronomové již na 2 300 pulsarů, z nichž asi desetina má svého hvězdného průvodce v podobě druhé neutronové hvězdy, bílého trpaslíka, anebo hvězdy hlavní posloupnosti. Nejčastějším průvodcem pulsarů jsou však s převahou bílí trpasličí.

M. Decasar aj. objevili pomocí 100m *R. C. Byrdova teleskopu* v Green Banku (Západní Virginie) v kulové hvězdokupě NGC 6652 (vzdálenost 10 kpc) milisekundový pulsar **PSR J1835-3259A** s rotační periodou 3,9 ms a hmotností  $1,4 \text{ M}_\odot$  ve dvojhvězdě, jejíž druhou složku tvoří hvězda o hmotnosti  $0,74 \text{ M}_\odot$  s oběžnou periodou 9,25 d. Soustava vykazuje extrémní výšetriddost elliptických drah až 0,95 a nepochyběně poslouží k nalezení relativistických efektů během dlouhodobých pozorování. Podobně J. Martinez aj. určili hmotnost pulsaru **PSR J0453+1559** ( $1,56 \text{ M}_\odot$ ) i jeho průvodce ( $1,17 \text{ M}_\odot$ ). Jelikož soustava má výšetriddost oběžné elipsy 0,11, je prakticky jisté, že průvodce je rovněž neutronovou hvězdou s překvapivě nízkou hmotností. Sám pulsar patří k velmi starým objektům (4 mld. let), má magnetické pole o indukcí 290 kT a rotační periodu 0,046 s. V obou případech jde o ne-poměr mezi hmotnostmi obou složek (0,52, resp. 0,75), což se podstatně liší od většiny dvojhvězd s aspoň jedním pulsarem, kde bývá poměr hmotností průměrně 0,9. Podle autorů to znamená, že při explozích supernov mohou vznikat neutronové hvězdy s velmi širokým rozsahem hmotností. Tato skutečnost bude mít nepochyběně vliv na pravděpodob-

nost výskytu gravitačních vln vznikajících při splynutí dvou neutronových hvězd.

Jak ukázali M. Kilic aj., také bílé trpaslíci provázející některé milisekundové pulsary mohou vykázat větší rozptyl svých hmotností, než se dosud soudilo. Autoři pořídili světelné křivky dvou milisekundových pulsarů **PSR J1738+0333** a **J1909-3744** pomocí spektrografového GMOS 8m teleskopu *Gemini-S* (Cerro Pachón, Chile), u nichž je známo, že v obou případech jsou průvodci pulsarů bílé trpaslíci s hmotností  $<0,3 M_{\odot}$ . Zatímco druhý z trpaslíků nejeví žádné změny jasnosti větší než 0,1%, první z nich vykazuje zřetelnou optickou proměnnost v periodách  $0,5 \div 0,85$  h. To je v souladu s teorií pulsací pro bílé trpaslíky s hmotností héliového jádra  $0,17 M_{\odot}$ . Pulsar **J1738+0333** má rotační periodu 5,85 ms. Průvodní bílý trpaslík o hmotnosti  $0,181 M_{\odot}$ , poloměru 28 tis. km a efektivní teplotě 9,1 kK kolem něho obíhá v periodě 8,5 h. Celá soustava je od nás vzdálena 1,5 kpc. Právě tyto vysoko přesné údaje prozrazují, že bílé trpaslíci mohou mít mnohem nižší hodnoty, než je proslulá Chandrasekharova mez, takže nikdy nevybuchnou jako supernovy. Autoři připomínají, že dlouhodobé studium pulsací takových bílých trpaslíků může přinést jednak zlepšení našich znalostí o příčinách pulsací, ale hlavně také umožní kalibrovat stupnici jejich stáří pomocí přesnějších hodnot o chladnutí bílých trpaslíků.

F. Marshall aj. odhalili pomocí družic *Swift* a *RXTE* náhlé zrychlení rotace mladého (věk 1,7 tis. let) pulsaru **LMC B0540-6919**, jenž se jinak sekulárně zpomaluje. Skok ve zkrácení původní periody (51 ms) o 36% se odehrál v intervalu dvou týdnů počátkem prosince 2011. Podle měření z r. 2015 se od zmíněného skoku rotační perioda nezměnila. Přitom se skok nijak neprojevil na profilu impulsů nebo jejich intenzitě v žádném spektrálním oboru. Autoři odhadli, že příčinou skoku bylo překlopení magnetosféry pulsaru z jedné stabilní konfigurace do druhé, která může převládat po několik desítek let. Jde o jedený pulsar ve Velkém Magellanově mračnu, který lze v této soustavě pozorovat i v pásmu záření gama. Jeho zářivý výkon  $6 \cdot 10^{29}$  W převyšuje výkon pulsaru v Krabí mlhovině (**PSR B0531+21**) dvacekrát.

U anomálního rentgenového pulsaru **1E AXP 2259+568** (vzdálenost 4,0 kpc) byl koncem dubna 2012 pozorován antiskok rotační periody, tj. její náhlé prodloužení. Podle I. Ranea-Sandovala a F. Garcia je objekt magnetarem s indukcí dipólového magnetického pole 6 GT, rotační periodou 7 s a stářím 1 mil. let. Antiskok prodloužil rotační periodu v relativní míře o  $1,2 \cdot 10^{-6}$ . A. Mastrano aj. se pokusili o vysvětlení efektu na základě skutečnosti, že jde o neutronovou hvězdu s poměrně silným vnitřním magnetickým polem ve tvaru toroidu (zkrouceného anuloidu). Podle konfigurace vnitřního nebo i vnějšího magnetického pole pak může docházet k antiskokům až o řád větším než se dosud přepokládalo.

C. Karako-Argman aj. referovali o svých měřeních poměrně záhadných příbuzných klasických pulsarů zvaných zkratkou **RRAT** (*Rotující Rádiové Transienty*; objev v r. 2006) pomocí již zmíněného obřího *100m radioteleskopu v Green Banku* a také evropské nízkofrekvenční rádiové soustavy *LOFAR* (Low Frequency ARray) na frekvencích 150, 350 a 820 MHz (vlnové délky  $0,37 \div 2,0$  m). Tyto objekty se vyznačují sporadickými silnými rádiovými impulsy vyzařovanými opakováně, ale po delších nepravidelných přestávkách rádiového ticha. V přehlídcech našli 21 nových objektů **RRAT** s dispersními mírami  $15 \div 97$  pc/cm<sup>3</sup>, rotačními periodami  $0,24 \div 3,4$  s a intervaly přestávek  $9 \div 180$  s. K vysvětlení chování zdrojů **RRAT** bylo již navrženo několik různých mechanismů, ale žádný z nich není příliš přesvědčivý. Proto se vkládají velké naděje do budoucího obřího systému **SKA**

(*Square Kilometer Array*), jenž má být v příští dekádě postupně vybudován v Austrálii a Jižní Africe.

### 3.5. Hvězdné zdroje záření rentgenového a gama

S. Heinz aj. využili okolnosti, že rentgenová dvojhvězda **Circinus X-1** (oběžná doba 16,5 d; výstřednost 0,45) prodělala koncem r. 2013 silný rentgenový výbuch. Následná pozorování družicemi *Chandra* a *Newton* umožnila pozorovat od 40. dne po výbuchu po dobu dalších 40 dnů zatím vůbec nejintenzivnější rentgenové ozvěny v hustých oblacích prachu v okolí dvojhvězdy. Shlo o čtyři dobře definované prsteny s úhlovými poloměry v rozsahu  $5' \div 13'$ . Ze známé rychlosti světla a úhlové rychlosti pohybu prstenů se dala spočítat dosud velmi nejistá vzdálenost této soustavy doslova královskou cestou, protože autoři měli k dispozici také měření radiálních rychlostí pohybů dvou vnitřních prstenů ( $-74$  km/s a  $-81$  km/s) ve směru zorného paprsku. Tak se podařilo stanovit vzdálenost dvojhvězdy  $(9,4 \pm 0,8 \div 1,0)$  kpc. Předešlá hodnota 4 kpc byla tedy silně podceněná. Navíc z ní vyplývalo, že objekt měl často zářit podstatně více, než dovoluje **Eddingtonova mez svítivosti** ( $\sim 4 \cdot 10^{31}$  W). Tento problém odpadl, i když se současně ukázalo, že v okolí dvojhvězdy se vyskytují částice urychlované na 99,9% rychlosti světla. Autoři též odhadli, že k výbuchu supernovy v soustavě došlo před méně než 4,6 tis. let. Neutronová hvězda **Circinus X-1** chovající se jako *mikrokvasar* je tedy pozůstatkem supernovy, která měla před výbuchem hmotnost kolem  $8 M_{\odot}$ .

V roce 2014 proběhl průlet pulsaru **PSR B1259-63** (impulsní perioda 0,048 s) periastrem u hvězdy **LS 2883**. Jde o podivuhodnou soustavu ve vzdálenosti 2,3 kpc tvořenou hmotnou hvězdou a pulsarem, jenž kolem ní obíhá v periodě 3,4 roku po dráze s výstředností 0,87 (!), což prakticky znamená, že v periastru se pulsar noří do vnější obálky a ekvatoreálního disku hmotné hvězdy, jejíž parametry odvodili I. Negueruela aj. (sp. 09.5 V;  $T_{\text{eff}} = 33,5$  kK;  $L = 95$  kL<sub>sun</sub>;  $9,2 R_{\odot}$ ;  $31 M_{\odot}$ ). Ve skutečnosti jde jen o první přiblžení k teplotám a rozměrům hvězdy, která rotuje nesmírně rychle – na rovníku má lineární rychlosť  $410$  km/s (!), takže je silně zploštělá a na rovníku je o  $6,5$  kK chladnější než na pólech. Během průletu sledovali soustavu P. Tam aj. v pásmech gama a rentgenovém, dále též v rádiovém oboru spektra. Aparatura LAT na družici Fermi zaznamenala po průletu periastru několikadenní výbuchy v oboru energií GeV, ale samotný pulsar neviděla. Družice *Swift* a *NuSTAR* pozorovaly souběžná vzplanutí také v rentgenovém oboru. Dráha pulsaru je vůči hvězdě šikmo skloněná, takže v době průletu prochází rovinou akrečního disku kolem hvězdy dvakrát a právě tehdy se vyskytuje zmíněné výbuchy. Týž objekt sledovali v roce 2014 také G. Calandro aj. a srovnávali údaje z aparatury LAT družice Fermi s údaji z předchozího průletu v r. 2010. Výbuchy v pásmu gama probíhaly v obou případech ve stejných fázích oběžné dráhy, i když někdy s mírnými odchylkami.

D. Sanchez aj. zkoumali vlastnosti přechodného rentgenového zdroje **Sw J1357-0933** vyznačujícího se jednou z nejkratších oběžných period mezi dvojhvězdami, jejichž jednu složku tvoří černá díra a druhou hvězdu hlavní posloupnosti o nízké hmotnosti. Soustava se nachází v naší Galaxii ve vzdálenosti  $>2,3$  kpc od Slunce a ve vzdálenosti  $>1,75$  kpc od galaktické roviny. Autoři studovali spektrum optické složky pomocí *10,4m teleskopu GTC* (La Palma) během klidné fáze aktivity soustavy, a odtud odvodili parametry průvodce (sp. M2 V;  $0,4 M_{\odot}$ ), jenž dodává materiál hvězdné černé díry o hmotnosti  $>9,3 M_{\odot}$ . M. Abubekerov aj. zpřesnili údaj o hmotnosti černé díry v rentgenové dvojhvězdě **LMC X-1**. Podařilo se jim totiž pozorovat radiální rychlosti spektrálních čar He I a He II u opticky pozorovatelného průvodce

a z parametrů Rocheova modelu pak odvodili hmotnost černé díry  $10,55 M_{\odot}$ .

Podle J. Rodrigueza aj. se v červnu 2015 po čtvrtstoleté přestávce probudil mikrokvasar **V404 Cygni**. Jde o rentgenový zdroj, který byl v minulosti pozorován napříč různými obory elektromagnetického záření, takže je do značné míry klíčový pro pochopení procesů akrece a ejekce v mikrokvásarech. Autoři sledovali jeho obnovenou aktivitu pomocí evropské družice *INTEGRAL* a baterie pozemních detektorů téměř nepřetržitě v intervalu 20. – 25. června v oboru od rádiového pásma přes optický obor V a rentgenové pásmo až po měkké záření gama. Během té doby jevil mikrokvasar silné variace intenzity v různých vlnových délkách. Především v pásmu energií  $20 \div 40$  keV vykázal během pouhých 3 dnů 18 vzplanutí s časovým odstupem minimálně 20 min a s tokem převyšujícím v maximu 6 Krabů. Variace zářivého toku v pásmu do 400 keV souvisely hlavně s proměnným zaštoupením částic s vyššími energiami v jednotlivých vzplanutích. Souběžný záznam optických vzplanutí probíhal však jen někdy synchronně s rentgenovými, ale v jiných případech se oproti rentgenovým špičkám opožďoval o více než 10 min. Opožděná optická vzplanutí vznikala zřejmě v důsledku vyvržení horkého plazmatu, neboť časově koincidovala s rádirovými záznamy.

Prototyp rentgenových zdrojů **Sco X-1** (vzdálenost 2,8 kpc) se díky náhradnímu programu K2 družice *Kepler* podařilo opticky sledovat P. Hakalovi aj. po dobu 71 dnů s časovým rozlišením po minutách. Autoři ukázali, že u této kompaktní dvojhvězdy se vysoké a nízké optické stavy střídají a přechody mezi nimi často trvají méně než 3 h, tj. během 15 % oběžné periody (19 h). Autoři však objevili také delší periodu 4,8 d, kterou přičítají precesnímu pohybu akrečního disku. Mezi optickými a rentgenovými variacemi jasnosti není jednoznačný vztah. Někdy obě série pozorování korelují, a jindy jsou dokonce v protifázi. D. Mata Sanchez aj. upozornili na přetrvávající paradox, že ani po více než půlstoletí od objevu prvního extrasolárního rentgenového zdroje **Sco X-1** pomocí vertikálních raket *Aerobee*, jež měly měřit rentgenovou luminiscenci Měsíce v letech 1962–1963, neznáme pořádně dynamické parametry první známé rentgenové dvojhvězdy, jejíž druhá složka je opticky viditelná jako proměnná hvězda V818 Sco (12  $\div$  13 mag). Autoři se pokusili tuto situaci napravit omezením nejistot v určení hmotnosti neutronové hvězdy ( $<1,73 M_{\odot}$ ) a pro optickou složku obdrželi rozmezí  $0,28 \div 0,70 M_{\odot}$ . Druhá složka musí mít spektrum pozdnější než K4 IV. Odtud pak vyplývá svítivost akrečního proudu plynu na neutronovou hvězdu  $>4 \cdot 10^{28}$  W. Jak patrno, další zlepšení těchto hodnot by bylo velmi žádoucí; snad se to povede nové generaci pozemních teleskopů a budoucích umělých družic Země.

### 3.6. Astrofyzika neutronových hvězd a hvězdných černých dér

K. Eksi aj. zkoumali pomocí rentgenové družice NuSTAR ultrasvítivý rentgenový zdroj **ULX M82 J0955+6940** v galaxii *M82*. Také tento zdroj vykazuje zářivý výkon podstatně vyšší než je *Eddingtonova mez*, takže na pulsar přetéká silný proud plynu z velmi hmotné hvězdy. Indukce magnetického pole neutronové hvězdy dosahuje minimálně 7 GT. To podle autorů dokazuje, že magnetary vznikají z těsných dvojhvězd, v nichž jednou složkou je neutronová hvězda a druhou hvězda s vysokou počáteční hmotností. W. Kluzniak a J.

Lasota zkoumali v téže galaxii další ultrasvítivý rentgenový zdroj **ULX M82 X-2**, jehož rotační rychlosť se zvyšuje akrecí plynu z velmi hmotné průvodní hvězdy tak svižně, že během necelých 100 tis. let se z něho stane milisekundový pulsar. Už nyní dosahuje jeho zářivý výkon hodnoty  $10^{33}$  W, takže k přeměně na milisekundový pulsar postačí akrece pouhé  $0,1 M_{\odot}$  materiálu. Příslušný akreční disk se totiž nachází velmi blízko povrchu neutronové hvězdy, jak o tom svědčí relativně nízká indukce jejího dipolového magnetického pole  $<100$  kT. Autoři tak ukázali, že jde o alternativní cestu, jak mohou ve vesmíru vznikat milisekundové pulsary z dvojhvězd s hmotnou druhou složkou (**HMXB – High Mass X-ray Binary**).

Podrobně se závěrečným stádiem **splývání neutronových hvězd** ve dvojhvězích, kde protější složku tvoří buď druhá neutronová hvězda, nebo hvězdná černá díra, zabývali C. Fryer aj. Už delší dobu se považuje za pravděpodobné, že během splynutí dvou neutronových hvězd dochází ke krátkým zábleskům měkkého záření gama (SGRB). V těchto případech budou těsně před splynutím vysílány tak *silné gravitační vlny*, že je dokáže zaznamenat triáda dvou aparatur *LIGO* v USA a třetího detektoru *VIRGO* v Itálii. V závěrečné fázi splynutí se *procesem r* (rychlé zachycování neutronů) dostane do oběhu velké množství jader těžších prvků s protonovým číslem 29 – 92. Jev SGRB však závisí na rychlosti, s jakou probíhá poslední fáze splynutí dvou hvězd ve velmi hmotnou neutronovou hvězdu, anebo na málo hmotnou černou díru. Maximální hmotnost nerotujících neutronových hvězd pro běžnou stavovou rovnici se odhaduje na  $2,4 M_{\odot}$ . Rychle rotující neutronová hvězda však může mít vyšší maximum své hmotnosti. Proto frekvence budoucích objevů gravitačních vln během splývání dvojhvězd, kde aspoň jednu složku tvoří neutronová hvězda, může být velmi užitečné pro odhad tvrdosti stavové rovnice platné pro neutronové hvězdy. B. Sharma aj. využili mikroskopického přístupu k výpočtu stavové rovnice pro neutronové hvězdy a ukázali, že *maximální hmotnost nerotující neutronové hvězdy* dosahuje  $2 M_{\odot}$  a její poloměr 10,0 km. Naproti tomu neutronová hvězda o hmotnosti  $1,5 M_{\odot}$  má poloměr 11,6 km.

B. Giacomazzo aj. ukázali, že **splynutí dvou neutronových hvězd** vede k podstatnému nárůstu indukce magnetického pole výsledné hmotné neutronové hvězdy. V neutronové kapalině dochází totiž k turbulencím a nestabilitám, jenž vyvolávají vznik lokálních magnetických dynam. Autoři připouštějí, že obecně relativistické simulace těchto procesů nejsou zatím technicky možné. Přesto se pokusili alespoň o přibližné řešení, z něhož vyplývá, že při splynutí jsou hodnoty indukce magnetického pole magnetarů velmi snadno dosažitelné, generují silné elektromagnetické signály a snadno mohou vysílat po kratičkou dobu i měkké záření gama, tj. být zdrojem SGRB.

B. Metzger aj. rozvinuli myšlenku, že za výskytem dlouhých a ultradlouhých GRB i následujících extrémně svítivých supernov mohou být *rychle rotující neutronové hvězdy s mořadně silnou indukcí magnetických polí*. Podle modelového výpočtu magnetar s indukcí magnetického dipolu  $>1$  TT a rotační periodou neutronové hvězdy 2 ms se zbrzdí během necelých tří hodin a předá svou mocnou energii jak samotnému LGRB či UL-GRB, ale následně i nadsvítivé supernově. Dokonce je možné, že brzdění proběhne až během 10 dnů, což odpovídá prodlevě mezi jevem GRB a supernovou. Autoři soudí, že se tak dá uvolnit energie řádu  $10^{46}$  J.

# Ked' sucho zabíja

## Blíži sa planéta Zem k hraniciam svojich možností?

Históriu vývoja moderného človeka nemôžno správne pochopiť bez toho, aby sme do nej zahrnuli vplyv sucha. Je to podobné, ako keby sme sa snažili zistiť, prečo vtáky lietajú, a pritom si nevímali, že majú krídla.

Mnohí vedci predpokladajú, že cyklický ústup sucha na Blízkom východe pred desiatkami tisíc rokov bol jedným zo spúšťačov masovej migrácie ľudí z Afriky. Napokon aj zánik na svoje obdobie vysoko rozvinutej kultúry Mayov možno iba ľahko vysvetliť bez rozkladného vplyvu sucha. Hoci o upresňujúcich detailoch príčiny „útek“ z Afriky, ktorého následkom bola postupná kolonizácia prakticky celej planéty, ako aj o zániku Mayov sa stále diskutuje, zásadná úloha, ktorú v tom hrala zmena prírodných parametrov, je neodskripteľná.

Hovorí sa: Spoznaj svoju história a otvor sa ti brána do budúcnosti. To nie je iba nudné klišé. Rovnako tak ani nedostatok vody a s ním súvisiace vojny o tento nenahraditeľný zdroj nemusia byť iba námetom vedecko-fantastických či post-apokalyptických filmov typu *Interstellar* alebo *Šialený Max*.

Sucho už teraz musíme vnímať ako jednu z kľúčových hrozieb 21. storočia, ktorá čoskoro môže nadobudnúť globálny rozmer. Presnejšie povedané: v mnohých častiach sveta už tento rozmer nadobudlo.

### Sucho ako ho poznáme: história

Sucho je veľmi často používaný pojmom, ktorý však nemá presnú definíciu. Vždy však znamená nedostatok vody v atmosfére, pôde alebo v rastlinách.

Existuje viacero spôsobov kategorizácie sucha, príroovedci jeho prvé príznaky rozlišujú ako meteorologické sucho. Nastáva v prípade poklesu množstva zrážok nad daným územím v porovnaní s dlhodobo normálnou situáciou. Pri pretrvávajúcom nedostatku vody sa sucho začne prejavovať aj v pôde, a vtedy hovoríme o suchu poľnohospodárskom: nedostatok vláhy začínajú pociťovať rastliny a plodiny dôležité pre človeka. Prináša to odklon od ich optimálneho fungovania.

Ďalšou úrovňou je hydrologické sucho. Nastáva vtedy, keď pokles vláhy signalizuje znížený prítok riek, ale aj znížený stav podzemných vód.

A poslednou fázou je socioekonomicke sucho, kedy sa už nedostatok vody začína dotýkať ľudí. Výsledkom môžu byť regulácie používania množstva vody v priemysle, na chladenie pri získavaní elektriny, na polievanie rastlín či umývanie áut, ako aj obmedzenie spotreby vody v domácnostiach. Takýto rozsah sucha už zväčša znamená aj ďalšie významné ekonomicke škody.

V histórii sa viac či menej pravidelné suchše obdobia striedali s obdobiami s vyšším množstvom zrážok. Kedže to bolo bežné a pri-

rodzené, spoločnosť sa vo väčšine prípadov dokázala s následkami extrémneho počasia vyravnáť. Boli však aj výnimky. Spomeňme napríklad známy Veľký írsky hladomor v polovici 19. storočia či „rok bez leta“, ktorý nasledoval po extrémne silnom výbuchu sopky Tambora v roku 1815.

Aj keď Tambora leží v Indonézii, explózia v nasledujúcich rokoch výrazne ovplyvnila úpadok výroby potravín v mnohých častiach Európy; podpisala sa napríklad pod migračnú vlnu hladných farmárov a ich rodín z Walesu, či Írska. Veľké sucho a následný hladomor (známy ako *Holodomor*) so stovkami tisíc obetí si vyziaľalo extrémne sucho na Ukrajine v rokoch 1930-31. Podľa nového atlasu, mapujúceho výskytu sucha a záplav na severnej pologuli v posledných dvoch tisícročiach, došlo v 11. storočí a polovici 15. storočia v centrálnej časti severnej Európy dokonca k výskytu megasucha, ktoré trvalo niekolko desaťročí. Jeho príčina zatiaľ nie je vysvetlená. Toto všetko naznačuje, že aj pred obdobím, v ktorom začal ľud vylepšovať podnebie emisiami skleníkových plynov, počasie dokázalo často dramaticky otestovať limity ľudských spoločností, občas aj s ďalekosiahlymi dôsledkami.

### Sucho ako ho nepoznáme: antropocén

Napriek veľkým prirodzeným extrémom v minulosti sme v súčasnosti v strednej Euró-

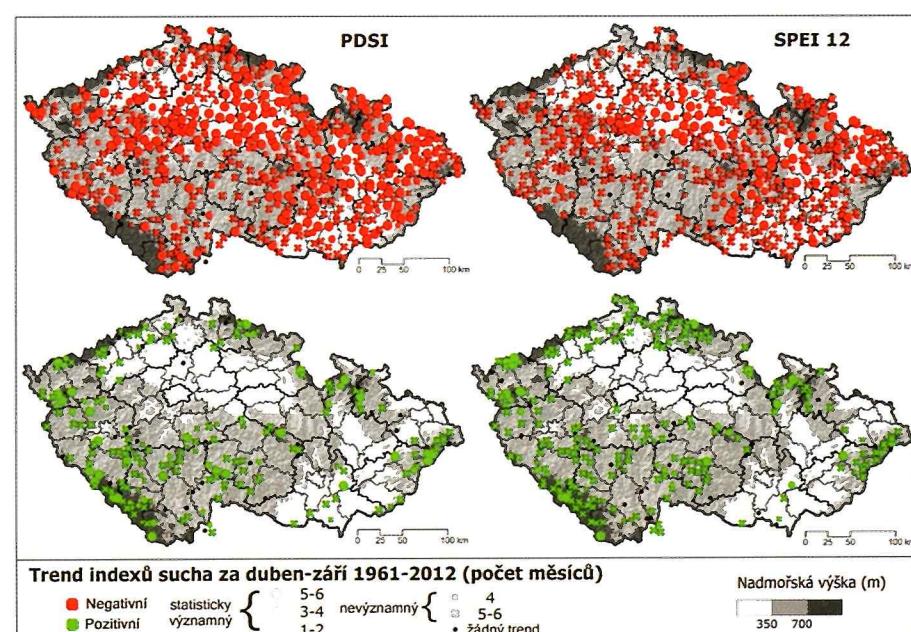
pe konfrontovaní s novým a doteraz neznámym trendom, ktorým je dlhodobo rastúca priemerná teplota a prakticky nulový nárast v priemernom množstve zrážok. Výsledkom je postupné vysušovanie krajiny, ktoré nemá jednoduché a už vôbec nie rýchle riešenie.

K tomuto trendu sa pridáva zmena v priestorovom a časovom rozložení zrážok. Konkrétno možno počas teplej časti roka pozorovať pokles zrážok v nížinách a naopak nárast v horších oblastiach (pozri obr. 1). Tak ako v teplejšej časti roku, aj v zimnom období dochádza k rastúcej tendencii sucha. Ak sa na analýzu sucha použijú menej komplexné indikátory (tých najpoužívanejších je niekoľko desiatok), ktoré neberú do úvahy vplyv priemernej teploty - a teda ani množstva vyparenej vody - výsledky sú oveľa menej jednoznačné.

Výnimočnosť súčasnej situácie potvrduje rekonštrukcia podmienok podnebia pre Česko od začiatku 15. storočia. Priemerná ročná teplota posledných desaťročí vystupuje nad rámcem prirodzených zmien posledných storočí, zrážky však neprerbúdajú. Navyše, stále väčší podiel dažďa prichádza v podobe intenzívnych letných lejakov, ktoré prerušujú dlhšie obdobia sucha najmä v lete.

Teplejšia atmosféra prináša dynamickejší charakter procesov utvárajúcich počasie a rýchle zmeny si všimajú aj meteorológovia.

Najnovšie sa do populárnej aj vedeckej literatúry dostalo označenie „bleskové sucho“



Obr. 1: Vývoj sucha v letnom polroku podľa dvoch používaných indexov (PDSI – Palmerov index závažnosti sucha, SPEI 12 – štandardizovaný zrážkový a evapotranspiračný index). Na väčšine územia ČR dochádza k významnému rastu sucha s výnimkou horských oblastí, kde naopak zaznamenávame tendenciu k narastaniu vláhy. Údaje pochádzajú zo 787 staníc za obdobie 1961 až 2012. (Upravené a použité s povolením podľa Brázdil, Trnka a kol. 2015 Sucho v českých zemích.)

(angl. *flash drought*). Kritickým indikátorom takého typu sucha je až neuveriteľná rýchlosť, s akou sa začne prejavovať. Kým v minulosti po obdobiach výraznejších zrážok sme prakticky vždy mohli očakávať odznenie rizika sucha najmenej na niekoľko mesiacov, môže sa dnes pomerne intenzívne sucho prejaviť už po niekoľkých týždňoch po zrážkach, v letnom období dokonca skôr. Jedna v príčin spočíva v tom, že vysušená pôda nedokáže tak efektívne prijať vodu, ktorej je sice v objemovom vyjadrení dostatok, spadne však v príliš krátkom čase a veľká časť odtecie do riek. Aj preto sa stretávame stále častejšie so situáciou, kedy máme na našom území dostatok zrážok, ale prejavujú sa v nôm dôsledky sucha a záplav zároveň. Klimatológovia začínajú hovoriť o tzv. „novom normále“, ktorý je charakteristický tým, že kedysi extrémne a vzácne udalosti pozorujeme oveľa častejšie a stávajú sa pre nás bežnými.

## Sucho vo svete: USA

Akokolvek závažnú situáciu s vodou možno očakávať v nadchádzajúcich desaťročiach v našom zemepisnom pásme, situácia v mnohých oblastiach sveta je kritická už dnes. Jeden z najväčších a najvýznamnejších rezervoárov podzemnej vody leží v USA. Zásobník Ogallala sa na 9-násobku plochy Slovenska rozprestiera pod ôsmimi štátmi USA, od Južnej Dakoty na severe až po Texas na juhu. Poskytuje až tretinu všetkej vody na zavlažovanie a prináša to úrodu v hodnote cca 35 miliárd dolárov ročne.

Problémom je, že voda sa rýchlo vyčerpáva a okrajové časti zásobníka Ogallala už fungujú v krízovom režime. V posledných šestich rokoch sa rýchlosť vyčerpávania vody oproti predošlým 60 rokom zdvojnásobila. Kedže vyschajú taktiež povrchové vodné toky, mnoho

farmárov sa obáva, že navždy prídu o zdroj svojej obživy. Ak by sa aj hned zastavilo využívanie všetkej vody z tohto zdroja, trvalo by stovky rokov, kým by sa zásobník doplnil do pôvodného stavu. Náhrada za túto vodu neexistuje a klimatická zmena prispieva k urýchľovaniu vyčerpávania zásobníka.

V nijakom prípade nejde o lokálny fenomén, Ogallala totiž patrí ku skupine 21 z celkovo 37 veľkých zásobníkov podzemnej vody, ktoré sa nevyužívajú udržateľným spôsobom.

Lepšia situácia nie je ani na západe USA. Aktuálna prognóza pre dve hlavné zásobárne vody na rieke Colorado (jazerá Mead a Powell) naznačuje rekordne málo vody. Hlavné dôvody sú dva: nízka zásoba snehovej pokrývky a dlhodobá tendencia rastu priemernej teploty. Aj keby nakoniec aj nasnežilo, výhľad na nadchádzajúce desaťročia sa nemení. Celý západ a juhozápad USA od Kalifornie po Colorado bude vystavený takmer s určitosťou doteraz nepoznanému suchu. Podľa prognóz klimatických modelov by takéto suchu mohlo ku koncu storočia trvať bez prerušenia više 35 rokov, a to aj prípade, keby sa naplnili optimistickejšie prognózy vývoja zrážok.

Pripomeňme, že známe sucho, ktoré v 30. rokoch minulého storočia postihlo západ USA (známe ako *Dust Bowl*), trvalo 8 rokov a prejavilo sa na ploche cca 400 tisíc km<sup>2</sup>. Bola to teda iba akási miniaturizovaná ochutnávka toho, čo môžu Američania očakávať v nadchádzajúcich desaťročiach.

## Blízky východ: v pasci

Väčšina obyvateľov krajín Blízkeho východu nie je zvyknutých plytať vodou. Dalo by sa povedať, že s nedostatom vody, prejavujúcim sa v tejto oblasti po väčšinu roka, sa už naučili žiť. Tí, ktorí s šetrením mali problém, mohli v minulosti na nepriazeň počasia rea-

govať migráciou. Dnes je však už situácia iná, lebo okrem rastúceho nedostatku vody sa pridáva aj rýchlorastúci počet ľudí.

Napríklad Jordánsko prekonalo všetky prognózy populačného rastu a v roku 2015 pokorilo hranicu 9 miliónov obyvateľov, s prekročením ktorej sa počítalo až okolo roku 2035. Výsledkom je, že 10 z 12 jordánskych zásobníkov vody je takmer vyčerpaných napriek tomu, že priemerná spotreba vody sa tu v porovnaní s obyvateľmi USA pohybuje na úrovni asi 3 %. Ľudia sú preto nútieni hľadať vodu miestami vyše 1,5 kilometra pod zemou. Počkávajúce otepľovanie bude ešte ďalej znižovať nízke množstvo dažďa, ktoré sem spadne. Jordánsko má teda nedobrú perspektívnu, že ako prvý štát na svete príde o svoje zásoby vody. Napriek všetkému Jordánsko nie je na tom dnes vo svete ešte najhoršie. Ked' sa v roku 2009 začali objavovať prvé správy o stahovaní stoviek tisíc sýrskych roľníkov z vidieka do miest, Európa ešte nemohla tušiť, že o niekoľko rokov to pre ňu bude znamenať migračnú krízu. Ešte pred ozbrojeným konfliktom v Sýrii prišlo o zdroj svojej tradičnej obživy približne 1,5 milióna ľudí, ktorí často tvorili vhodné podhubie pre nábor do služieb vznikajúceho extrémistickejho Islamského štátu. Sucho, ktoré postihlo dovtedy úrodné oblasti Sýrie v rokoch 2006 až 2010, bolo najhoršie za posledných najmenej 900 rokov. Kombinácia rýchlo rastúceho počtu obyvateľov, vyčerpávania ropy a nevôle niektorých veľmcí pomôcť s riešením viedla k neriešiteľnej situácii.

## Jemen: v zajatí slanej vody

Situácia v Sýrii je z medzinárodného pohľadu jednou z najhorších, no oveľa lepšie na tom nie je ani Jemen. Hoci sa mu nedostáva tiež mediálnej medzinárodnej pozornosti ako Sýrčanom, počet ľudí potenciálne ohrozených



Smutný pohľad na vysušené jazero pri coloradskom Boulderi (USA) v roku 2012. Foto - Americké stredisko atmosférického výskumu (UCAR)



Sucho v južnom Francúzsku v roku 2003 postihlo aj túto borovicu.

Foto - Michel Venntier, IRSTEA/NSF

konfliktom a najmä hladomorom je tu ešte vyšší. Až 17 miliónom ľudí z celkovo 28 miliónového Jemenu hrozí bez vonkajšej pomoci závažný nedostatok potravín.

Ani tu nebol scenár príliš odlišný od Sýrie. Rýchly nárast populácie od roku 1980 priniesol viac ako strojnosobenie počtu obyvateľov krajiny, vyčerpávanie zásob vody (a inej vzácnej tekutiny – ropy), a intervenciu vojensky a ekonomicky neporovnatelne silnejšej Saudskej Arábie či Spojených arabských emirátov. Otvorenie sa Jemenu globálnemu trhu spôsobilo, že farmári sa museli zameriať na plodiny náročnejšie na vodu, čo spôsobilo neudržateľný nárast vyčerpávania zásob fosílnej vody. Kým pred pár desaťročiami stačilo Jemenčanom kopnúť pári metrov do zeme, dnes musia vodu hľadať desiatky až stovky metrov pod zemou, pričom jej hladina stále rýchlo klesá. V roku 2014 prišli protivládne protesty, o rok neskôr už bol Jemen vo vojne. Začiatkom minulého roka viac ako milión obyvateľov Jemenu stratilo jediný spoľahlivý zdroj pitnej vody, ktorý získaval vďaka odsolovaniu morskej vody. Teraz hrozí stovkám tisíc ľudí cholera, pretože prestáva fungovať základná lekárska starostlivosť.

Ak teda nezíska smutné prvenstvo vo vyčerpávaní zásob vody Jordánsko, nepochybne to bude Jemen.

#### Bude prvé Kapské mesto?

Získať oficiálne prvenstvo metropoly, ktorá príde o zásoby pitnej vody, môže už 4. júna tohto roku takmer 4-miliónové Kapské mesto na juhu Afriky. Postihlo ho totiž najhoršie sucho v posledných 300 rokoch a zásoby vody sa rýchlo miňajú. Očakáva sa, že vodná kapacita kľúčovej priehrady klesne pod 13,5 % a voda

z kohútikov zmizne úplne. Úrady vyzývajú obyvateľov, aby vodou šetrili všade, kde sa len dá. Podobne sú na tom turisti, ktorí sem v hojnom počte prichádzajú z celého sveta a na letisku ich výtažok nápis, ktorý konštatuje, že spláchnut' záchod znamená vyplývať 5-dňové zásoby pitnej vody pre jedného človeka.

Aby sa mesto vyhol vyčerpaniu vody, zatvorili väčšinu tamoxíšskych kúpalísk, zakázané je aj polievať záhrady a umývať autá. Od februára začali úradníci verejnovať údaje o 100 najväčších spotrebiteľoch vody v meste, a ak by došlo na najhoršie, zvyšné zásoby vody budú strážiť vojaci a policajti.

Podobnému osudu v uplynulom roku len o vŕasok uniklo brazílske São Paulo, keď uprostred najhoršieho sucha za posledných viac ako 100 rokov kapacita okolitých priehrad poklesla na rekordné minimum.

Kým v pomerne bohatých krajinách konflikt (zatial) nehrozí, to isté, žiaľ, nemožno povedať o chudobnejších štátach sužovaných chronickým suchom. V Afrike medzi ne patrí napríklad Južný Sudán či Etiópia.

#### Všetky kontinenty v problémoch

Prognóza OSN hovorí, že dopyt po vode bude prudko rásť. Konfliktom, kde voda bude hrať ak nie klúčovú, tak prinajmenšom dôležitú úlohu, sa pravdepodobne nevyhne žiadен obývaný kontinent. Potenciálne najväčšie riziko sa zrejme skrýva v Ázii. Možných ohnísk vojen o vodu je niekoľko. Jedno z nich predstavuje Kašmír, lebo v jeho ľahkých častiach chystajú výstavbu troch nových priehrad, ktoré zhoršia dostupnosť vody v Pakistane.

Desiatky miliónov ľudí v Pakistane a stovky miliónov ľudí v Indii je závislých od poľnohospodárstva a dostatku vody. V Indii rastie

počet samovrážd farmárov, ktorí nedokážu užiť svoje rodiny. Možno povedať, že India používa vodu ako zbraň proti Pakistanu. Nie je to však nič nové, a žiaľ, dnes už ani nezvyčajné. Podobne sa totiž správa Čína vo vzťahu k Indii, lebo plánuje výstavbu vodných priehrad na úkor zásob vody, ktoré budú chýbať jej južným susedom. Ani tomu sa však nemožno až tak veľmi čudovať: čínsky dopyt po vode sústavne narastá priemerne o 10 % ročne, čo predstavuje zdvojnásobenie každých sedem rokov (k tomu ešte pristupuje skutočnosť, že Čína zrušila politiku jedného dieťaťa, takže voda bude potrebovať časom ešte viac).

Poznáme viaceré technologické možnosti, ako následky sucha aspoň zmierňovať. Známymi a overenými spôsobmi, na ktoré sa však občas zabúda, je hospodárne zaobchádzanie s vodou, výstavba nových vodných zdrojov alebo obhospodarovanie krajiny s ohľadom na jej schopnosť zadržiavať vodu. Existujú aj modernejšie spôsoby, napríklad pobrézne štaty čoraz viac využívajú metódou odsolovania morskej vody. Napriek nesporným výhodám a nevyužitému potenciálu tejto progresívnej technológie spočívajú jej limity vo vysokej cenejnej náročnosti na takto získanú vodu a tiež v pomerne vysokej energetickej náročnosti.

Vo vesmíre platí: hľadaj život najmä tam, kde nájdete vodu. Na Zemi to platí dvojnásobne. Rastúce napätie medzi najľudnatejšími krajinami sveta pri zabezpečovaní vodných zdrojov je iba špičkou povestného rozťapajúceho sa ľadovca. Ten zároveň symbolizuje stenčujúce sa zásoby sladkej vody na Zemi. Toto, spolu s prebiehajúcou klimatickou zmenu, je obrovská výzva, pred ktorou ľudstvo teraz stojí.

Alexander Ač, autor je environmentalista, pôsobí v Czechglobe Brno

# Tanec na tenkom ľade (1)

Pred 125 000 rokmi, kedy sa globálna teplota približne rovnala dnešnej, siahala hladina mora o 6 - 9 m vyšie než dnes. Pred 3 miliardami rokov, kedy bola koncentrácia oxidu uhličitého vo vzduchu približne rovná tej, akú očakávame okolo roku 2050, siahala hladina svetového oceánu 21 m nad súčasnú.

Prečo je teraz hladina oceánu tak nízko? Existujú procesy, ktoré môžu rozpútať nezvratné zrýchľujúce sa topenie?

## Nie je ľad ako ľad

Voda v pevnom skupenstve na zemskom povrchu a na hladine mora vytvára rôzne formy (obr. 7). *Pevninským ľadom* sa nazývajú ľadové vrstvy, ktoré ležia na pevnine nad hladinou mora. Ak je rozsah spojitého pevninského ľadovca väčší ako 50 000 km<sup>2</sup>, hovorí sa o *pevninskom ľadovom príkrove*. Ľadové príkrovky sú v súčasnosti nachádzajú len v Grónsku a v Antarktíde. Počas maxima posledného veľkého zaľadnenia (pred 22 000 rokmi) sa však ľadové príkrovky nachádzali aj v Severnej a Južnej Amerike a v severnej Ázii. V Európe siahali až na severnú Moravu. Ľadové čiapky majú výmeru len o niečo menšiu ako ľadové príkrovky. Tak z ľadových príkrovov, ako aj z ľadových čiapok vytiekajú do okolia toku ľadu (ľadové prúdy rôznych tvarov, podľa reliéfu), ktoré nazývame ľadovcami (obr. 1). V Grónsku (max. hrúbka ľadu cca 3 km) a vo Východnej Antarktíde (max. hrúbka ľadu cca 4,7 km) sú ľadové príkrovky hrubšie so základňou väčšinou nad hladinou mora. Tenší ľadový príkrov (hrúbka do 2 km) so základňou siahajúcou až 2 km pod hladinu mora je v Západnej Antarktíde. Po roztopení ľadu by sa pevnina v Antarktíde zdvihla o 0,5 – 1 km. Vytekanie ľadovcov z ľadových príkrovov či čiapok je prirodzený jav. Pokiaľ je odtok ľadu nahradený jeho prírastkom v zdrojovom ľadovci, celková hmota pevninského ľadu sa zachováva.

Zaľadené oblasti menšieho rozsahu, najmä v horách, predstavujú ľadové polia. Skalnaté útvary a hory nad ľadovcami sa nazývajú inuitským termínom *nunatak* (obr. 2).

Ľadový šelf predstavuje prechod medzi pevninským ľadovcom a oceánom. Nie každý pevninský ľadovec však ústi do mora – niektoré predstavujú zdroj vody pre ľadovcové jazerá, iné sú prameňmi riek.

Ľadový šelf (obr. 3) je spojený s pevninským ľadovcom. Pláva však už na mori, alebo má spodnú základňu pod jeho hladinou a leží na morskom dne. Antarktídu obklopujú obrovské objemy šelfového ľadu; nachádzajú sa pri 75 % pobrežia a majú rozlohu  $1,56 \times 10^6$  km<sup>2</sup>, čo je plocha podobná rozsahu ľadového príkrovu Grónska. Najväčší objem ľadu v Antarktíde majú Rossov ľadový šelf ústiaci do Rossovho mora a druhý najväčší Filchnerov-Ronneho ľadový šelf ústiaci do Weddelovo mora. V procese, pre ktorý používame



Obr. 1 Aletsch - najväčší údolný ľadovec v Alpách (Švajčiarsko).

Zdroj: ESA



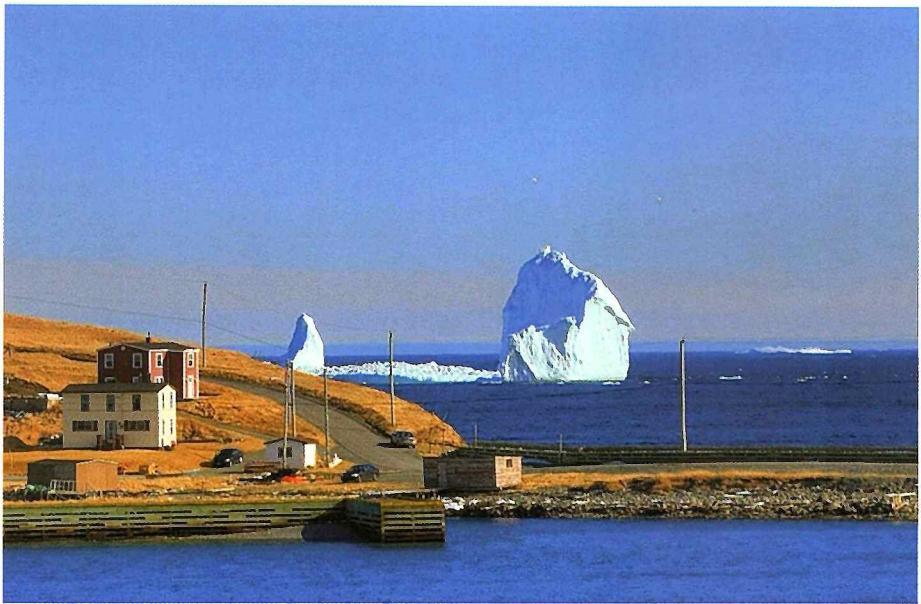
Obr. 2 Janke Nunatak leží v Antarktíde na Palmerovom ostrove.

Zdroj: WIKIPEDIA



Obr. 3 LARSEN – ľadový šelf na Antarktickom polostrove. Za posledných 30 rokov sa z neho do mora oddelilo niekoľko rozsiahlych blokov.

Zdroj: Ted Scambos, NSIDC



Obr. 4 Ľadová hora vysoká 45 m pri Ferrylande, Newfoundland, Kanada, v apríli 2017. Jedna z najskôr registrovaných oddelených ľadových hôr v r. 2017 driftujúca cez oblasť nazývanú Iceberg Alley.

Zdroj: ARCHÍV

anglický termín „calving“ (v slovenčine oteenie), sa z ľadového šelfu uvoľňujú do oceánu obrovské ľadové hory (obr.4).

Oddeleniu ľadovej hory predchádza vytvorenie rozsiahlych prasklín (*riffov*), ktoré sa v ľade šíria aj niekoľko rokov a v súčasnosti sa dajú sledovať zo satelitov či lietadiel (obr. 5).

Podľa farby ľadovej hory sa dá usúdiť, či je ľad v nej ľahký, plný vzduchových bubliniek

(biela), hustý (modrá), pochádza zo spodnej časti ľadovca (zelený), alebo obsahuje viac materiálu podkladu, ktorý sa s ľadovcom dostal do mora (tmavé pásy v ľade). Zdrojmi ľadu v ľadových šelfoch sú zrážky (sneženie), tok ľadu z pevninského ľadovca a namrzanie morskej vody. Naopak, ľad tu ubúda sublimáciou, driftom do iných oblastí vplyvom vetra, topením sa a oddelovaním ľadových blokov do mora

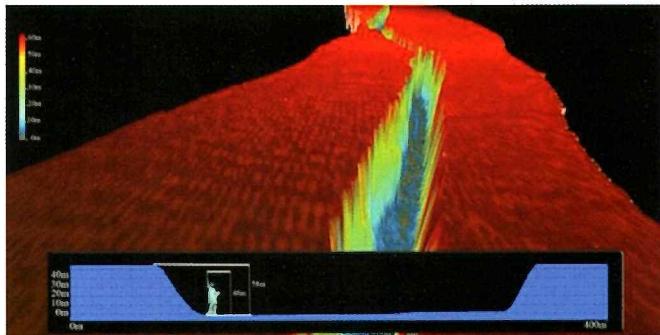
(calving). Ľadová hora, oddelená pravdepodobne z grónskeho ľadovca Jakobshavn, sa stala v apríli 1912 osudnou pre Titanic. Ľadový šelf zabraňuje priamemu rýchlemu stekaniu pevninského ľadu do mora – brzdí tok ľadu z pevniny a zohráva tiež významnú úlohu v termohalinnej cirkulácii.

Ľadový šelf predstavuje rozsiahle biele rovné pláne pri okrajoch kontinentov, alebo ostrovov. Niekoľko sú však tieto ľadové oblasti prerušené miestami, kde sa na povrchu nachádza kvapalná morská voda - *polyniami* (полынья - ruský termín pre prirodzenú dieru v ľade).

Sú to oblasti, kde sa nad teplým povrchom mora zohrieva studený vzduch, preto ich výskyt často sprevádzajú hmly a nízke oblaky. Nazývajú sa aj oázami života v ľade, pretože po skončení polárnej noci rozmízajú najskôr a preto sa okolo nich sústredujú morské vtáky, tulene, či mrože. Polynie môžu byť vyvolané padavými horskými vetrami z pevniny, ktoré v mieste dopadu „odfúknú“ morský ľad od pevniny. Ak sa do nich nasunú rozsiahle ľadové hory, polynie sa strácajú, čo neprejaží živým organizmom, ktoré ich pre priaznivé životné podmienky vyhľadávajú. Polynie tiež vznikajú tam, kde k povrchu vystupujú hlbohé oceánske prúdy (up-welling). Hrajú preto úlohu v globálnej termohalinnej cirkulácii (systém hlbkomoorských prúdov). Najznámejšie polynie sú Rossova, v Baffinovom zálive pri pobreží Grónska a polynia vo Weddellovej mori (obr. 6). Vznik Weddellovej polynie súvisí s termohalinou cirkuláciou. Objavili ju v roku 1974. Podľa väčšiny klima-



Obr. 5 V rámci projektu NASA IceBridge 14. 11. 2011 objavili rift v ľadovom šelfe ľadovca Pine Island v Západnej Antarktíde (vľavo). Vpravo je simulácia cca 80 m širokého, 50 - 60 m hlbokeho a 30 km dlhého riftu použitím altimetrických údajov z druhého zamerania riftu pomocou prístrojov na lietadle DC-8 26. 11. 2011. Oddelením vznikla ľadová hora s plochou 880 km<sup>2</sup>.

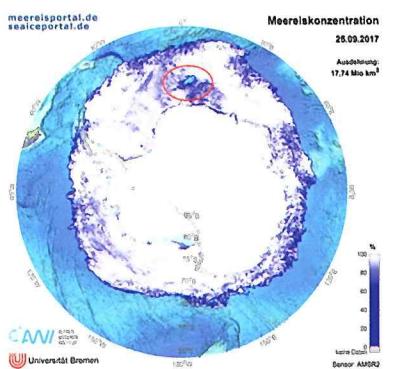


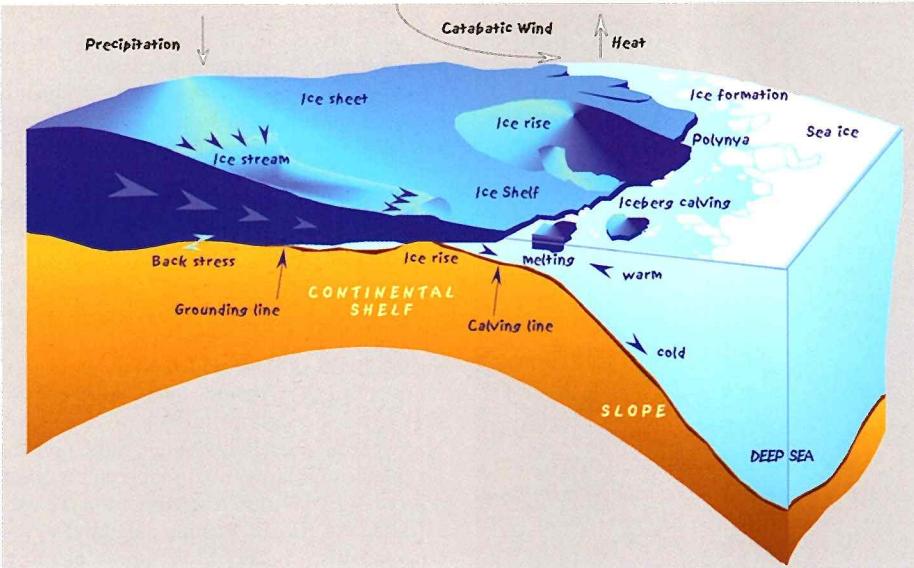
Zdroj: earthobservatory.nasa.gov



Obr. 6 Vľavo: Polynia v antarktickom ľadovom šelfe pod nízkymi oblakmi. Vpravo: Morský ľad okolo Antarktídy. Červený kruh zvýrazňuje polohu Weddellovej polynie. Údaje sú z družicových záberov 25. 9. 2017. Stupnica vyjadruje množstvo morského ľadu v %.

Zdroj: vpravo - meereisportal.DE, vľavo - Jan Lieser, ACE CRC





Obr. 7 Schéma výskytu a vzniku ľadových útvarov na rozhraní pevniny a mora a javov, ktoré ich ovplyvňujú. Ľadový príkrov, ľadový šelf, morský ľad, vznik ľadových hôr vrátane polynie spôsobenéj vplyvom padavých vetrov.

Zdroj: Alfred Wegener Institute for Polar and Marine Research

tických modelov sa už vplyvom globálneho otepľovania nemala objaviť, pretože viac sladkej vody z roztopeného ľadu na povrchu mora malo zablokovať výstup vody z hlbín oceánu. Zamrznutá sladká voda na povrchu mala po-

lyniu uzavrieť a podporiť vznik povrchového ľadu. Weddellova polynia sa však opäť objavila v r. 2016 a ďalej sa zväčšuje. Zdá sa, že je to periodický jav a s globálnym oteplovaním výrazne nesúvisí. Zaujímavé je, že komplex-

Podklad ľadovcov a šelfového ľadu (z angl. *bedrock*) určuje do veľkej miery to, akým smerom a ako rýchlo sa ľadovec bude pohybovať (obr. 7). Práve trenie bolo, a stále je, neznámou pri odhadoch celkovej zmeny hmoty jednotlivých ľadovcov. Za milióny rokov počas striedania teplých

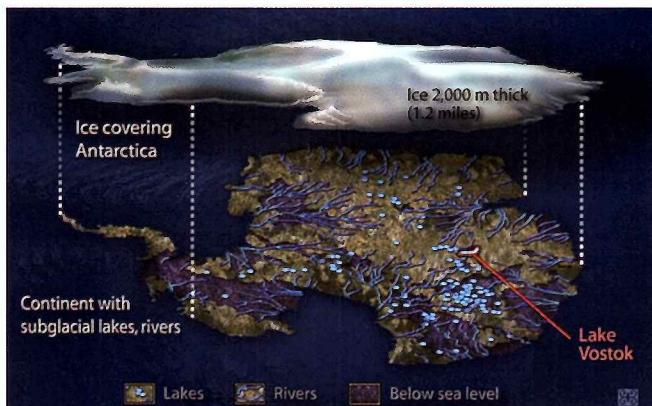
a chladnejších období, kedy ľadovce ustupovali a naopak sa rozvíjali, po podklade sa spolu s ľadom posúvali aj obrovské objemy skál. Na miestach, kde sa pod ľadom sústredovali (spočiatku v pásoch pripomínajúcich kožuch tigra), ich ľadovec zatláčal do podkladu, čím v ňom postupne vznikali ryhy, ktoré sa neskôr prehľbovali aj vplyvom vody tečúcej pod ľadovcom až do hlbok stoviek metrov. Tak pod ľadovcami vznikol členitý terén s hrebeňmi, ktoré striedajú hlboké kaňony. Ak je dno kaňonov pod hladinou mora, hrozí, že pri vzostupe teplote oceánu začne teplá morská voda postupne roztápať ľad v kaňone a prenikať stále hlbšie pod ľad, čím sa môže urýchliť jeho topenie a pohyb smerom k moru.

Nie všetky ľadovce sú usadené na pevnom podklade. V Antarktíde sa pod ľadovcami nachádza kvapalná voda (obr. 8). Predpokladá sa, že vznikla roztopením podkladového ľadu vplyvom geotermálnej energie. Najznámejším *subglaciálnym jazerom* je Vostok, ktoré leží pod takmer 4 km hrubým ľadom vo Východnej Antarktíde. Glaciológovia rozoznávajú ľadovce s tzv. teplým a studeným podkladom. *Morský ľad*, na rozdiel od šelfového, vzniká zamrznutím vody na povrchu mora (obr. 9).

Zamrznutá voda na povrchu mora (sln.)  
Prírastky v hrubke tohto ľadu spôsobuje okrem namŕzania morskej vody aj sneženie. Na morskej hladine leží *trvalý*, ale aj *sezónny ľad*, ktorý sa počas polárneho leta roztopí. *Trvalý ľad* (obr. 10) (z angl. perennial, multi-year) vydrží v danej oblasti viac rokov (aspôň štyri roky). Pomocou družíc sa monitoruje rozsah a výmera morského ľadu. Pod terminom „ice extent“ sa myslí výmera plochy ohraničenej gridmi (najmenšia plocha rozlíšená na zemskom povrchu z danej družice), v ktorých sa vyskytuje aspoň 15 % ľadu. „Sea ice area“ je plocha plávajúceho ľadu bez započítania oblastí nezaľadnenej morskej hladiny. Plocha morského ľadu počas roka kolíše od maxima po skončení polárnej zimy po minimum na jej začiatku.

Pokračovanie v budúcom čísle.

Anna Pribullová



Obr. 8 Subglaciálny vodný systém v Antarktíde.

Zdroj: Zina Deretsky / NSF (National Science Foundation)



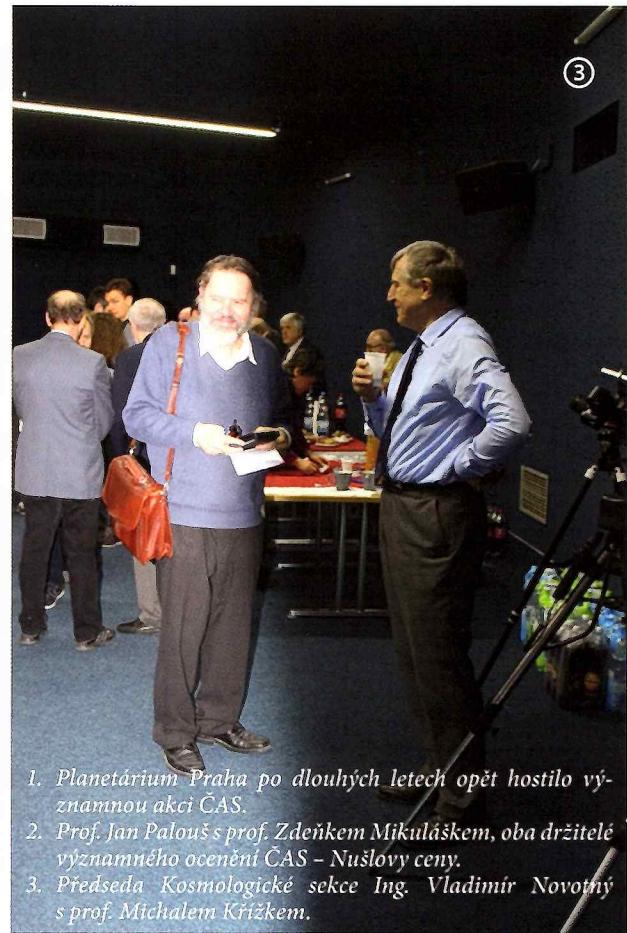
Obr. 9 'Palacinkový lás' – jedna z foriem morského lardu.

Zdroj: TED SCAMBOS



Obr. 10 Topiaci sa viacročný morský ľad pri Baffinovom ostrove.

Zdroj: ARCHÍV



1. Planetárium Praha po dlouhých letech opět hostilo významnou akci ČAS.
2. Prof. Jan Palouš s prof. Zdeňkem Mikuláškem, oba držitelé vyznamenání ocenění ČAS – Nušlovy ceny.
3. Předseda Kosmologické sekce Ing. Vladimír Novotný s prof. Michalem Křížkem.

## Hvězdy České astronomické společnosti v pražském planetáriu

V Praze je mnoho zajímavých míst, plných zeleně, ševelících korun staletých stromů a zajímavých zákoutí, hladících po duši. Zákoutí plných klidu a pohody v tepajícím srdci velkoměsta. Jedním z takových míst je dozajista i rozlehlá pražská Stromovka. A jako pomyslná perla v moři skví se v ní budova pražského planetária. Jeho provoz se datuje od 20. listopadu roku 1960, a za tu dobu vychovalo několik generací nadšených astronomů. Když jsem 24. března 2018 stoupala po jeho schodech, tiše jsem postála u pamětní desky Giordana Bruna. Snad proto, že mám na toto místo osobní vzpomínku, snad proto, že mě jeho osud pokaždé zabolí.

Planetárium Praha po dlouhých letech opět hostilo významnou akci České astronomické společnosti, a to konferenci poboček, odborných sekcí a kolektivních členů ČAS-u. To, že jsme se mohli setkat právě zde, v důstojných prostorách pražského planetária, je zásluha nového ředitele Mgr. Jakuba Rozehnala, za což mu patří veliký dík. Cílem tohoto setkání bylo více propojit amatérskou astronomii s tou profesionální.

Poslední březnový víkend, ještě docela chladný a mrázivý, tedy pro tentokrát patřil všem významným představitelům ČAS-u, zástup-

cum rozličných sekcí, složek a odborných astronomických skupin. Jmenované setkání bylo naplánováno na dva dny, aby byl dostatek času a prostoru pro prezentaci všech, kteří se chtěli pochlubit výsledky své celoroční činnosti. Sobotní setkání bylo navíc zakončeno společenským večerem v nedaleké restauraci. Tento večer byl pojat nejen jako milé zakončení nabitého sobotního programu, ale také jako prostor pro vzájemné seznámení. První sobotní příspěvek pronesl současný předseda ČAS prof. Petr Heinzel, který v krátkosti představil svoje vize do budounosti. Prof. Heinzel především zdůraznil, že ČAS se bude více orientovat na spolupráci s profesionálními astronomy. S potěšením poznamenal, jak je velice šťasten, že se konečně po dlouhé době mohlo konat setkání ČAS opět v Planetáriu Praha. Připomněl, že v Česku se v poslední době nekonaly žádné národní astronomické konference, a proto by setkání složek ČAS mohlo být důstojným vzorem takové národní konference. Dodal, že příští rok se bude podobná akce opakovat s tím, že se budou střídat přednášky profesionálních a amatérských astronomů.

O trvale udržitelné astronomii porefereoval prof. Vladimír Karas, ředitel Astronomického ústavu AV ČR. Poté se prezentovaly nové pracovní skupiny ČAS ČNKA (kterou před-

stavil prof. Jan Palouš) a SCOSTEP (představil Z. Němcéek). Ústav teoretické fyziky a astrofyziky PřF MU v Brně uvedl prof. Zdeněk Mikulášek.

Po příjemném obědě pohovořil o světelném znečištění a vládních (ne)snahách o jeho regulaci místopředseda a tiskový mluvčí Astronomického ústavu AV ČR Pavel Suchan, který byl rovněž oceněn Cenou Zdeňka Kvíze České astronomické společnosti za popularizaci.

Program byl doslova nabity velmi zajímavými přednáškami, které bohužel všechny vyjmenovat nelze, ale za všechny bych ráda připomněla přednášku o aktuálním tématu exoplanet nebo informace o Astronomické olympiadě, o které s velkým zápalenem referoval Ing. Jan Kožuško.

V rámci této konference se představyly i některé z poboček a sekcí ČAS, například pobočka Vysočina, o které promluvil její předseda RNDr. Jakub Hraníček, nebo Kosmologická sekce, kterou znamenitě reprezentoval její předseda Ing. Vladimír Novotný. Astronomickou expedici v Úpici přiblížil Mgr. Pavel Scheirich.

Astronomicky laděný víkend v prostorách Planetária Praha se stal novým počátkem ve spolupráci ČAS a Planetária Praha. Noblesu tohoto setkání ocenili myslím všichni z přítomných.

Jana Žďárská

# Veľká opozícia Marsu 2018

Každý z nás sa občas stretne s nejakou nehodnotovou informáciou. Aby sme takéto správe „nenaleteli“, je dobré poznáť aspoň základnú podstatu jednotlivých astronomických úkazov.

Opozícia je vzájomná poloha dvoch telies na oblohe (obvykle Slnka a planéty pri pozorovaní zo Zeme), pri ktorej sa ich ekliptikálna

dĺžka odlišuje o  $180^\circ$ . Do opozície so Slnkom sa dostávajú len vonkajšie planéty, prípadne aj iné objekty obiehajúce okolo Slnka vo väčšej vzdialosti ako Zem. V čase opozície sa planéty dostávajú najbližšie k Zemi, a preto dosahujú svoju maximálnu jasnosť. V tomto období sú nad obzorom po celú noc. Letné opozície sú pozorovateľsky menej výhodné, lebo pla-

néty na oblohe opisujú nízky oblúk, podobne ako Slnko v zime. Počas zimných opozícií sa planéty dostávajú vysoko nad obzor.

Pojem opozícia nie je definovaný celkom jednoznačne. Niekedy sa za opozíciu považuje usporiadanie, keď je rozdiel v rektascenzii planéty a Slnka práve  $180^\circ$ . Sklon a výstrednosť dráhy planét spôsobuje, že časový okamih takto definovanej opozície sa od opozície odvodenej z ekliptikálnej dĺžky odlišuje. Výstrednosť dráhy spôsobuje, že v najtesnejšiemu priblženiu planéty a Zeme nedochádza presne v čase opozície, ale aj niekoľko dní pred, či po nej.

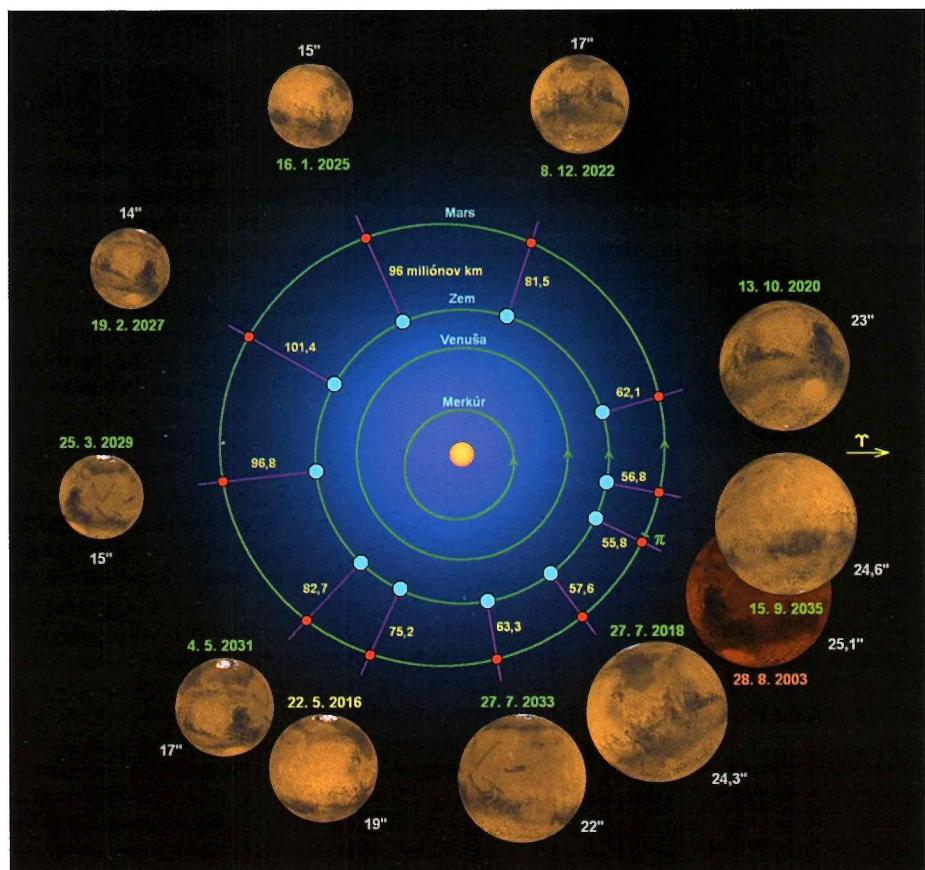
Vonkajšie planéty vytvárajú v období okolo opozície na oblohe slučku. Dnes vieme, že vzniká vzájomným pohybom Zeme a planéty. V dávnej minulosti, keď prevládala geocentrická predstava vesmíru, slučky sa vysvetlovali pohybom planét po dvojiciach kružník – epicykloch a deferentoch. Až začiatkom 17. storočia Johannes Kepler (1571 – 1630) pochopil skutočnú príčinu vzniku slučiek a z pozorovania pohybu Marsu na oblohe odvodil tvar planetárnych dráh.

Planéty sa na oblohe pohybujú v priamom smere, teda od západu na východ. Približovaním sa do opozície však začnú spomaľovať a v istom čase sa začnú oproti hviezdam pohybovať opačným smerom (retrográdne). Tento časový okamih nazývame zastávka. Po určitom čase sa dostanú do opozície so Slnkom a približne po rovnakej dobe opäť začnú spomaľovať, nastane druhá zastávka, po ktorej zase pokračujú v pohybe priamym smerom. V dôsledku sklonu dráhy sa nemení len ich ekliptikálna dĺžka, ale aj šírka. Z tohto dôvodu na oblohe vytvárajú slučky. Ich tvar závisí na veľkosti sklonu planéty k ekliptike a vzdialenosťi planéty od uzlov dráhy v období okolo opozície. Vo väčších vzdialenosťach od uzlov planéta opisuje užatvorený tvar, teda skutočnú slučku. Ak je v dolnej časti svojej dráhy, potom sa slučka otvára pod ekliptikou a opačne zase nad ňou. V blízkosti výstupného uzla planéta opisuje na oblohe otvorenú slučku v tvare písmena „Z“ a v okolí zostupného uzla v tvare „S“.

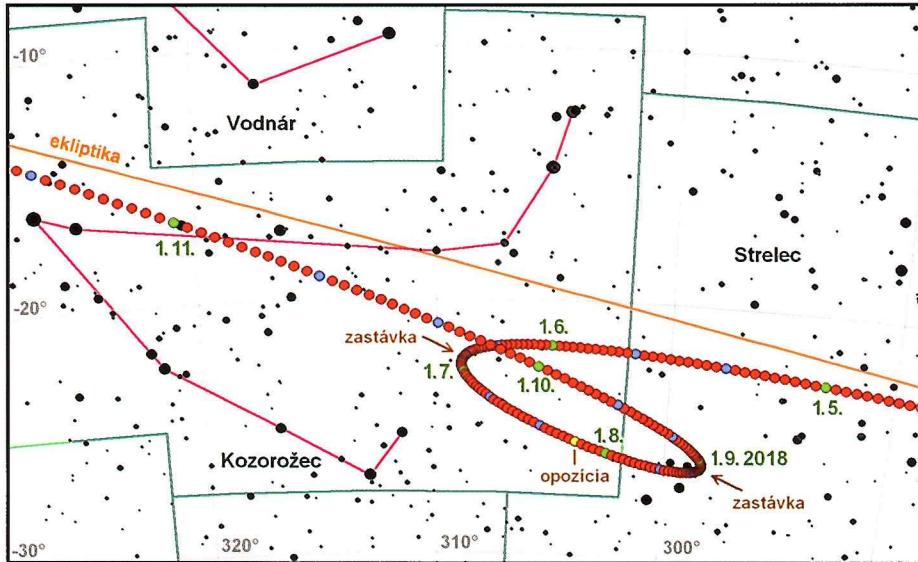
Vonkajšie planéty sa do opozície dostávajú po uplynutí synodickej períody. Najmenej často sa do opozície dostáva Mars, a to raz za 2,2 roka. Vzdielenejšie planéty majú väčšie siderické obežné doby, a tak pri opakovanej opozícii dominuje pohyb Zeme okolo Slnka. Preto čím je planéta vzdialenejšia od Slnka, tým viac sa dĺžka jej synodickej obežnej doby blíži k hodnote jeden rok.

## Opozícia Marsu

Mars sa do opozície dostáva po uplynutí asi 779,94 dní, teda približne po dvoch rokoch a jednom mesiaci. Jeho výrazne výstredná dráha spôsobuje, že vzdialosti planéty od Zeme sa počas jednotlivých opozícií navzájom výrazne odlišujú.



Vzájomné polohy Zeme a Marsu počas opozícií.



Slučka Marsu v období okolo opozície v roku 2018.

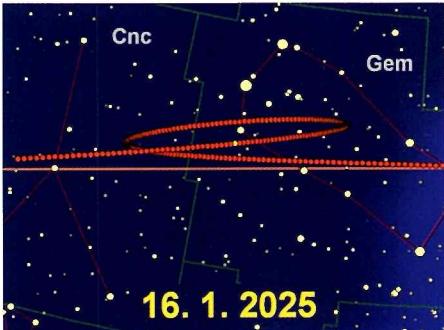
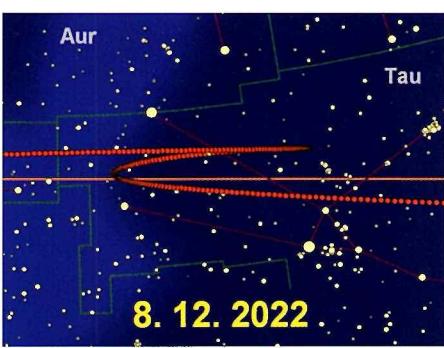
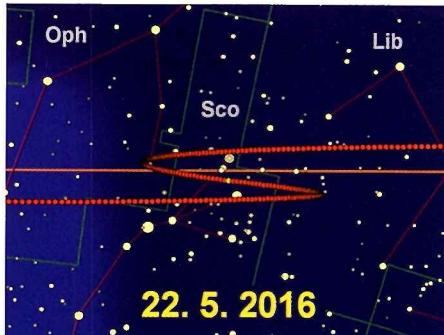
Najtesnejšie priblíženia k Zemi nastanú vtedy, ak je Mars práve blízko perihélia svojej dráhy. Počas takého stavu na oblohe dosiahne maximálny uhlový rozmer a aj najväčšiu jasnosť. Takúto opozíciu nazývame „veľkú“ opozíciu Marsu. V blízkosti afélia je vzdialenosť od Zeme viac ako dvojnásobná a úmerne tomu je menší aj jeho uhlový rozmer a jasnosť. Mars sa do perihélia vracia po uplynutí jeho siderickej obežnej doby, teda asi po 1,88 roku. Náhodou platí, že 7 siderických obehou trvá takmer rovnako dlho ako 8 synodických obežných dób. Je to približne 15 rokov. Toto obdobie možno považovať za opakovanie sa veľkých opozícií. Kedže spomínané násobky obežných dób nie sú celkom rovnaké, vzdialenosť Marsu a Zeme sa počas nich mierne odlišujú. Dlhodobo k najtesnejšiemu priblíženiu došlo 28. augusta 2003.

#### Opozícia 2018

Tohtoročná opozícia nastane 27. júla. Mars sa najbližšie k Zemi dostane 31. 7. na vzdialenosť 57,6 milióna kilometrov. Na oblohe dosiahne uhlový rozmer asi 24 oblúkových sekund a bude mať maximálnu jasnosť asi -2,8 magnitudy. Vzdialosť aj uhlový rozmer budú len asi o 3% menšie, ako to bolo v roku 2003. Do zastávok sa dostane 28. júna a 27. augusta. Najbližšia veľká opozícia nastane až v roku 2035, teda tentoraz po 17 rokoch. Výnimka z bežného 15-ročného cyklu je spôsobená rozdielom násobkov vyššie uvedených obežných dób. Opozícia v roku 2035 bude opäť veľmi tesná, lebo Mars bude blízko perihélia.

#### Prechody Zeme cez slnečný disk

Zaujímavostou je, že počas opozícií môže pre pozorovateľa na Marse nastať prechod Zeme cez disk Slnka. Slnečný kotúč má na marsovskej oblohe stredný rozmer dosahujúci približne 2/3 veľkosti oproti pohľadu zo Zeme, teda asi 20°. Tento rozmer sa mení v závislosti od vzdialenosťi Marsu v čase opozície. Ak je Mesiac práve v blízkosti novu alebo splnu, potom nastane aj jeho prechod. Uhlový rozmer Zeme môže dosiahnuť až asi 47" a rozmer Mesiaca 13". Pre porovnanie, počas prechodus cez slnečný kotúč pozorovaných zo Zeme má Merkúr rozmer 10 – 12 oblúkových sekund a Venuša dosahuje uhlový rozmer 64". Vzhľadom na veľký sklon dráhy Marsu sú prechody Zeme veľmi zriedkavé. Naposledy takýto úkaz nastal 11. mája 1984. K budúcim prechodom dôjde 10. novembra 2084 a 15. novembra 2136. Veľká opozícia Marsu v roku 2003 vďaka médiám spôsobila nebývalý záujem o jeho pozorovanie. Prispela k tomu nielen informácia o rekordnom priblížení Marsu, ale aj dezinformácie šíriace sa po internete. Prezentácia spracovaná neznámym autorom tvrdila, že Mars bude na oblohe jasný a veľký ako Mesiac v splne. Táto správa sa neskôr pravidelne, vždy v auguste, opakovala každý rok. Jej preposielaním sa nepravdivá informácia dostaala k tisíciam ľudí. Mnohí z nich ju zobraťi ako skutočnosť a z hvezdárne chceli pozorovať Mars, ktorý v danom období niekedy ani nebol na oblohe.



Peter Zimníkova

Tvar slučiek Marsu.

# Našli asteroid bohatý na uhlík

Medzinárodný tím astronómov preskúmal ďalekohľadom VLT/ESO nezvyčajné teleso v Kuiperovom páse, nazvané 2004 EW95. Vedci zistili, že je bohaté na uhlík a s najväčšou pravdepodobnosťou teda ide o pozostatok pôvodnej hmoty, z ktorej sa formovala Slnečná sústava. Ide o prvý asteroid v tak vzdialenej a chladnej oblasti Slnečnej sústavy, u ktorého vedci pozorovali vysoký obsah uhlíka.

Počiatocné fázy vývoja Slnečnej sústavy boli veľmi búrlivým obdobím. Súčasné teoretické modely tohto obdobia ukazujú, že obrie plynné planéty krátko po svojom vzniku začali putovať po Slnečnej sústave, čím vyháňali malé kamenné telesa z vnútorných oblastí na obežné dráhy ďaleko od Slnka. Tieto modely predpovedajú, že súčasný Kuiperov pás - chladná vzdialenosť rozprestierajúca sa až za dráhu Neptúna - by mal obsahovať malý počet na uhlík bohatých asteroidov pochádzajúcich z vnútornej Slnečnej sústavy.

Nedávno publikovaná práca malého tímu astronómov Toma Seculla z Queen's University v Belfaste prezentuje prvé spoľahlivé pozorovanie asteroidu v Kuiperovom páse, bohatého na uhlík. Prináša teda rukolapný dôkaz, ktorý podporuje predpoveď teoretických modelov opisujúcich mladosť Slnečnej sústavy.

Na nezvyčajné vlastnosti telesa označeného 2004 EW95 prvý raz upozornil člen objaviteľského tímu Wesley Fraser, astronóm z Queen's University v Belfaste, ktorý objekt pozoroval Hubblovým kozmickým ďalekohľadom. Zistil, že spektrum žiarenia odrazeného od povrchu asteroidu 2004 EW95 sa výrazne odlišuje od ďalších malých telies Kuiperovho pasu. Tie väčšinou majú spektra bez nápadných štruktúr, čo neumožňuje zistiť veľa informácií o zložení povrchu. Astronómom sa zdal objekt na prvý pohľad taký čudný, že sa rozhodli preskúmať ho bližšie.

Napriek veľkej zbernej ploche ďalekohľadu VLT bolo pozorovanie 2004 EW95 veľmi zložité. Teleso má súčasť priemer zrejme aj vyše 300 kilometrov, je však okolo 4 miláriami kilometrov od nás – a ešte k tomu sa pohybuje. Pozbierať dostatočné množstvo svetla odrazeného od jeho tmavého povrchu preto bolo veľmi náročné. „Je to ako pozorovať na diaľku horu uhlia na tmavom pozadí nočnej oblohy,“ povedal spoluautor práce Thomas Puzia (Pontificia Universidad Católica de Chile).

„Aj keď v minulosti sa už vyskytli správy o ďalších netypických objektoch Kuiperovho pasu, u nijakého z nich sa tieto vlastnosti nepotvrdili s takou presnosťou,“ komentoval objav astronóm ESO Olivier Hainaut. „Nájdienie na uhlík bohatého asteroidu v Kuiperovom páse je klúčovým potvrdením jednej zo zásadných predpovedí dynamických modelov časného vývoja Slnečnej sústavy.“

Press release ESO, M. A.

# Astronómia v Thajske

Ako kráľovská rodina prispela k tomu, že nás niekdajší Siam predbehol v astronómii a v astrofyzike

**Od vzniku Medzinárodnej olympiády z astronómie a astrofyziky (IOAA) sa zúčastňujú na tejto prestížnej súťaži aj slovenskí študenti. Naše olympijské úspechy predstavili počas 11 rokov Slovensko ako astronomickú veľmoc, aj keď v prístrojovej vybavenosti v skutočnosti hlboko zaostávame už aj za niektorými tzv. rozvojovými krajinami. Prvý ročník olympiády nás zaviedol do exotického Thajska, kde sme vybojovali pre Slovensko prvú zlatú medailu a zaradili sa tak medzi najúspešnejšie krajinu.**

Po desiatich rokoch sa v Thajske konal už 11. ročník IOAA. Naše postavenie sme upevnilí ziskom až troch medailí. Bolo však zjavné, že veľký pokrok v rozvoji astronómie dosiahlo domáce Thajsko, ktoré si my Európania spájame skôr s predstavou turistickej destinácie.

## Od kráľov až po premenné hviezdy

Thajsko sa do roku 1939 nazývalo oficiálne Siam. Astronómia sa prvýkrát objavila v Siamu v roku 1685, v období vlády kráľa Narai Veľkého, ktorý sa snažil túto modernú venu zaviesť do života v krajinе. Aj neskôr sa thajskí králi, obzvlášť kráľ Rama IV., ktorý vykonal presné výpočty astronomických úkazov, zaujímali o novodobú astronomiu. Ovplynulo to aj neskorších panovníkov a celú kráľovskú rodinu, ktorí sa zaslúžili o to, že súčasná thajská astronómia je na medzinárodnej úrovni.

Vráťme sa však ešte do histórie.

Kráľ Narai Veľký chápal význam západnej astronomickej vedy, preto požiadal francúzskeho kráľa Ľudovíta XIV. o pomoc. Ten vyslal jezuitov, astronómov a matematikov, aby v Siam postavili podobné jezuitské observatórium, aké už v tom čase mali v Pekingu.

Jezuiti okrem toho mali vytvoriť spojenectvo, šíriť kresťanstvo a poznatky modernej vedy a techniky napríklad z hydroenergetiky, architektúry, novej konštrukcie lodi, medicíny – a astronómie.

Približne v decembri 1685 kráľ nariadił postaviť observatórium v Lopburi a v Ayutthaya. V rokoch 1686 – 1687 v južnej časti pozemku svojho paláca v Lopburi (v súčasnosti ruiny) dal postaviť observatórium „Wat San Paolo“. Malo oktagónalny tvar s tromi poschodiami a bolo vybavené najnovším európskym zariadením. Zároveň tu postavili dve dvojposchodové budovy, jedna slúžila ako ubytovňa a druhá pre štúdium matematiky a astronómie v Siame. Toto observatórium je považované za prvú na území Thajska.

Kráľ Narai, veľký nadšenec astronómie, počas svojej vlády spolu s francúzskymi jezuitami pozoroval dveôležité astronomické udalosti: 11. decembra 1685 to bolo úplné zatmenie Mesiaca, aby určil zemepisnú dĺžku v Lopburi, a 30. apríla 1688 pozoroval čiastočné zatmenie Slnka.

Ďalším kráľom, ktorý podporoval rozvoj astronómie, bol Rama IV. V mladosti ako mník študoval angličtinu, aby mohol komunikovať so zahraničím. Uvedomoval si význam vedy v západnom svete. Ked' sa dostal na trón, pokračoval v štúdiu rôznych oblastí umenia, spoločenských vied a astronómie. V jeho paláci bolo veľa astronomických prístrojov. Neustále sledoval nové astronomické udalosti, napr. objav Neptúna. Pravidelne pozoroval úkazy na oblohe a vedel predpovedať zatmenie Slnka v roku 1857, zatmenie Mesiaca 13. augusta 1859 a tranzit Merkúra popred slnečným diskom 12. novembra 1861. Navyše vysvetľoval ľuďom zvláštne astronomické



Na najvyšom mieste Thajska postavili observatórium, ktoré je súčasťou NARIT. Nachádza sa tu TNT s priemerom zrkadla 2,4 m. Fotografia vznikla počas výstavby tohto moderného vedeckého zariadenia.

úkazy, napríklad objavenie sa kométy 19. októbra 1858 a 8. júla 1861, ale aj pozorovanie meteorov. Kráľ Rama IV. určoval zemepisnú šírku a dĺžku pomocou sextantu a zaviedol štandardný čas v Thajske tak, že dal postaviť kráľovskú vežu s hodinami. Mal veľký zmysel pre presnosť a vedel presne vypočítať čas a miesto úplného zatmenia Slnka z 18. augusta 1868 dva roky pred týmto úkazom. Zatmenie potom pozoroval spolu so svojou kráľovskou rodinou, dvoranmi a zahraničnými hostami v dedine Wa – Ko, nedaleko južného prístavu Prachuap Khiri Khan.

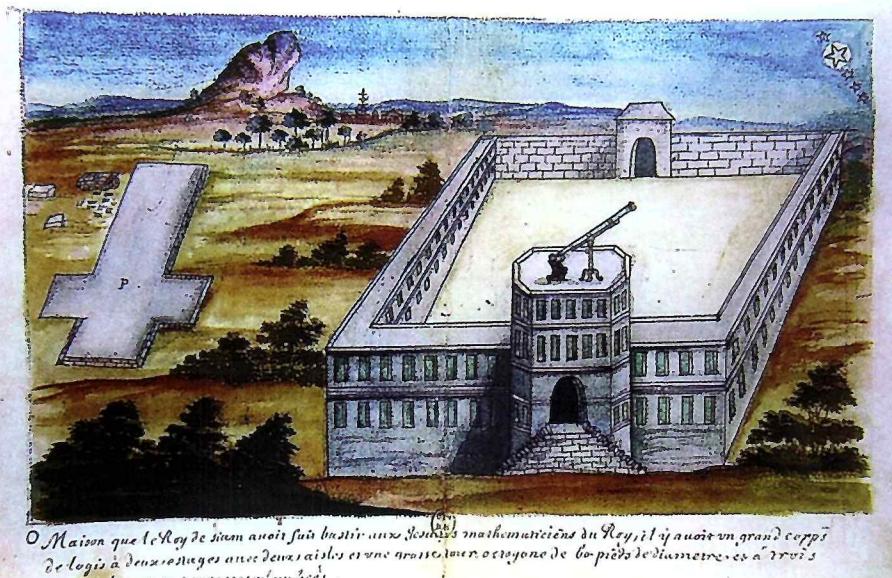
## Zlatý vek thajskej astronómie

Kráľ Bhumibol Adulyadej sa zaujímal už od mladosti o astronómii; začal ju študovať v Lausanne vo Švajčiarsku. Kvalitné vzdelanie získal aj vďaka tomu, že matka ho zásobovala hviezdnymi mapami a hlavne odbornými knihami. Princeznej Sirindhorn Bhumibol hovorieval, že keby nebol kráľom, chcel by byť astronómom a dal by postaviť astronomické observatórium v Chiang Mai (čo sa nakoniec aj stalo, observatórium dostalo názov Sirindhorn).

Kráľ miloval astronomiu a učil aj svojho syna a dcéru pozorovať hviezdy. Už v prvej etape jeho vlády tu postavili observatórium, univerzity zaviedli štúdium astronómie. Kráľ bol aktívny aj ako astronóm: pozoroval hviezdy 30 cm ďalekohľadom na observatóriu Univerzity v Chulalongkorn v roku 1958; toto observatórium neskôr vybavili aj spektrografom. Spolu s kráľovnou Sirikit sa zúčastnili na otvorení vedeckej výstavy v budove fyzikálneho oddelenia tejto univerzity.

Zlatý vek astronómie v Thajske sa datuje od vzniku planetária v Bangkoku 8. augusta 1964, ktoré sa stalo motorom astronomickeho vzdelávania a zvyšovania jeho kvality (samozrejme, kráľ a kráľovná Sirikit boli pri otváracom ceremoniáli hlavnými aktérmi).

V júni 2004 vláda schválila projekt založenia Národného ústavu astronomického výskumu (NARIT - National Astronomical Research Institute) pri príležitosti 200. výročia narodenia kráľa Mongkuta Rámu IV., otca vedy v Thajske, a blížiaceho sa 80. výročia narodenia jeho excelencie kráľa Bhumibola Adulyadeja, otca technológie a rozvoja astronómie. V decembri 2008 kráľ Bhumibol Adulyadej podpísal kráľovský dekret, ktorým posvätil založenie NARIT. Ústav prešiel od roku 2009 pod hlavičku Ministerstva vedy a techniky. Ná-



Dobová kresba zobrazuje observatórium Wat San Paolo na východnej strane kráľovského paláca, ktoré dal postaviť Kráľ Narai v rokoch 1686 – 1687. Bolo to prvé astronomické observatórium v Thajske.



Jeho výsost kráľ Rama IV. priniesol do Thajska (v tej dobe Siam) modernú venu a technológiu pre prosperitu celej krajiny. Jeho talent a záujem o astronómiu ovplyvnil celú kráľovskú rodinu, čo sa prenáša ešte aj do súčasnosti. Kráľ dostał príťažlosť Otec thajskej vedy.

rodné observatórium s automatizovaným reflektorm (priemer zrkadla 2,4 m) vybudovali v národnom parku Doi Inthanon, Chiang Mai. V septembri 2011 kráľ udelenie tejto inštitúcií názov Thajské národné observatórium.

Záujem kráľa o astronómiu ovplyvnil celú kráľovskú rodinu, obzvlášť však princeznú Sirindhorn. Jej vásenie pre astronómiu a návštavy observatória vzbudili záujem širokej verejnosti. Jej podpora vziať o ďalšom pokroku v pozorovaní, o väčšom ďalekohľade a o príprave astronomickejho personálu naštartovala spoluprácu v oblasti astronómie na národnej aj medzinárodnej úrovni. Astronomické práce princeznej Sirindhorn pomáhajú zvýšiť úroveň astronómie v Thajske. Jej účasť na astronomických aktivitách sa dostáva do pozornosti ľudí a médií a pomáha podporovať konštrukciu observatória a nákup ďalekohľadov na univerzity v celej krajine. Jej domáce a medzinárodné návštavy observatórií sa stali veľmi prospešnými pre thajskú astronómiu. Nie je to len kráľovský záujem o astronómiu, ale aj demonštrácia pokroku astronómie v Thajske. Princezná Sirindhorn je pokračovateľkou v práci princeznej Galyani Vadhana; po jej smrti v roku 2007 sa takmer 30 rokov angažuje pri rozvoji thajskej astronómie. Ako symbol motívacie tunajších ľudí si od nich vyslúžila meno Princezná astronómka.

#### Ústav NARIT

Hlavným poslaním tohto vedecko-výskumného ústavu je podporovať rozvoj astronómie a astrofyziky v Thajske prostredníctvom vlastného výskumu a verejných aktivít. Navýše si ústav vytýčil za cieľ byť vedúcim astronomickým ústavom v juhovýchodnej Ázii. Jeho hlavným zariadením je Thajské národné observatórium (TNO) na najvyššej hore Thajska Doi Inthanon (2457 m nad morom).

TNO má dve sekcie: hlavnú pozorovateľňu a pomocnú stanicu, ktorá je položená nižšie, a má kancelárie a ubytovne pre astronómov plus zariadenia pre aktivity s verejnosťou (napr. skupiny študentov) a malú stálu výsta-

vu pre verejnosť. Observatórium leží v národnom parku, preto ho postavili tak, aby minimálne ovplyvnilo životné prostredie.

Observatórium vybavili 2,4 m reflektorm Ritchey-Chrétien s azimutálnou montážou, známym ako Thajský národný ďalekohľad (TNT). Riadiaci systém riadi pohyb kupoly automaticky. Ďalekohľad vyrobili v Tucsone v Arizone v EOS Technologies, Inc. (EOST). Primárne zrkadlo vyrobili a vybrúšili v Lytkarino Optical Glass Factory (LZOS) v Rusku. Je to najväčší optický ďalekohľad v regióne, ktorý využívajú nielen astronómovia z NARIT, ale aj zahraniční pozorovatelia.

Dáta pozorovania premenných hviezd, získané na tomto observatóriu, sa dostali už aj do Česka, konkrétnie na Masarykovu Univerzitu v Brne, kde ich vo vedeckých práčach o vybraných premenných hviezdach využívajú aj česki astronómovia. Uvedený ďalekohľad má vynikajúce parametre a pracuje vo veľmi dobrých klimatických podmienkach, takže produkuje veľké množstvo dát aj o premenných hviezdach. Prípadní záujemcovia sa môžu poradiť s kolegami z Brna, prípadne napísť na NARIT a získať možnosť kvalitného pozorovania.

Ďalším progresívnym prístrojom observatória je robotický ďalekohľad 0,5 m Schmidt-Cassegrain; podobný typ sa používa v regionálnych observatóriach NARIT. Používa sa na cvičenia a vzdelenie, testovanie nových prístrojov a podporných technických zariadení hlavného ďalekohľadu, a taktiež na výskum, ktorý nevyžaduje veľký ďalekohľad. K ďalekohľadom sú priradené dva výkonné fotometre so systémom filtrov B, V, R a I. Echelle spektrograf s vysokou rozlišovacou schopnosťou na 2,4 m ďalekohľade sa používa od roku 2014.

Z hlavných vedeckých a výskumných smerov ústavu možno spomenúť štúdium kataklismatických premenných hviezd a aktívnych



Jej výsost princezná Sirindhorn pokračuje v práci princeznej Galyani Vadhana, ktorá zomrela v roku 2007. Sirindhorn už takmer 30 rokov podporuje rozvoj thajskej astronómie. Vďaka nej v Thajske už druhýkrát bola astronomická olympiáda. Hovoria jej Princezná astronómka.

galaktických jadier, výskum exoplanét metódou tranzitov, asteroseismológiu a modernú kozmológiu, tvorbu hviezd alebo premenosť hviezd nachádzajúcich sa pred hlavnou postupnosťou. Ďalej sú to zákrytové dvojhviezdy neskorého typu, astronomická optika a výskum atmosféry na Zemi aj na planétach Slnečnej sústavy.

Thajsko sice považujeme za rozvojovú krajinu, astronómia tam však zaznamenala prudký rozvoj, čo sa prejavuje okrem iného aj na úrovni vedomostí thajských študentov na IOAA. Možno by aj pre nás mohlo byť Thajsko v niektorých smeroch, ktorími sa dnes v astronómii ubera, dobrým príkladom hodným nasledovania.

Ladislav Hric, SÚH Hurbanovo



Kráľ Narai spolu s francúzskymi astronómami a misionárimi pozoroval 30. apríla 1688 čiastočné zatmenie Slnka na dvore observatória v Lopburi. Ostatní poddaní museli počas ich vedeckej práce kľačať na zemi. Tento prejav úcty sa v Thajske zachoval do súčasnosti.

# Slnčné klásy (7)

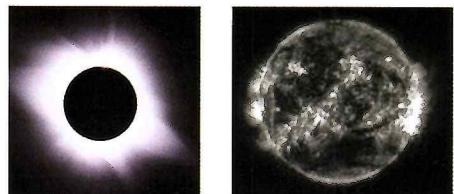
Pokračujeme v zbieraní „kláskov“ po žatve Jiřího Grygara. Ako sme vysvetlili v prvej časti, ide o prehľad pokroku vo výskume Slnka za 11 rokov (2004 – 2014) na základe materiálov, ktoré publikuje v našom časopise dr. Grygar (teraz už aj so svojimi spoluautorami) pod názvom „Žen objevu“; a po žatve my zbierame klásy. Dnes to bude o slnečnej koróne a o pozorovaní úplných zatmení Slnka.

Prípadné komentáre sú písané kurzívou.

## Slnečná koróna

Slnečnú korónu tvorí hmota v štvrtom, plazmatickom skupenstve, t.j. s vysokým stupňom ionizácie pri vysokej teplote. Okrem astrofyzikálnych interpretácií pomáha výskum koróny aj fyzike. Umožňuje totož študovať plazmu a jej dynamiku v daleko väčších meradlách ako v pozemských laboratóriach. Žiaľ, stále sa nedarí objasniť pôvod jej vysokej teploty. K tejto téme má J. Grygar nasledujúci komentár:

„Navzdory úžasnemu pokroku v rozlišovací schopnosti pri pozorovaní Slunce umelými družicemi Země i pozemními dalekohľadmi s adaptívnej optikou není stále zodpovedená otázka, odkud se bere prínejmenší dvěstěkrát vyšší teplota slnečnej koróny oproti fotosfére.“ Efektívna teplota fotosféry je totiž okolo 5700 K a teplota koróny je rôzna, závisí od polohy a koliše v ohromnom rozsahu  $10^5 - 10^8$  K. O vysokej teplote koróny svedčí prítomnosť spektrálnych čiar iónov s vysokým stupňom ionizácie a ich široké profily. Podľa ich podrobnejšieho rozboru sa vlastne teplota koróny určuje.



Obr. 1: Slnečná koróna pri úplnom zatmení Slnka v bielom svetle (vľavo). Vpravo je zobrazená tak, ako ju v ultrafialovej oblasti spektra snímajú prístroje z umelých družíc nad atmosférou. Jas slnečnej koróny vo viditeľnom svetle je rádovo miliónkrát slabší ako jas slnečného povrchu, preto korónu môžeme vidieť iba pri úplnom zatmení, keď žiariaci slnečný disk zakrýva Mesiac. V ultrafialovej oblasti spektra sú tieto pomery opačné; slnečný povrch v tejto oblasti spektra nežiarí takmer vôbec.

Podľa R. Walsha z rôznych pozorovaní sice vyplýva, že hlavnú úlohu pri ohreve koróny zohrávajú slnečné magnetické polia, avšak rôzne navrhnuté modely prenosu energie do koróny nedokážu merané parametre vysvetliť. D. Tsiklauri sa domnieva, že Slnko je magnetohydrodynamickým generátorom a navrhuje päť možných mechanizmov ohrevu:

1. Silný jednosmerný elektrický prúd a magnetická rekonexia v koróne;

2. Striedavý elektrický prúd;
3. Ohrev zvukovými vlnami z chromosféry;
4. Magnetická rekonexia v chromosfére;
5. Výberová filtrace vysokých rýchlosťí.

*Podrobnejšia analýza však všetky tieto návrhy vylúčila. Ďalej viacerí autori hľadajú mechanizmus ohrevu v Alfvénových vlnách.*

M. Aschwanden so spoluautormi sa domnievajú, že primárny zdroj ohrevu koróny by sa mal hľadať v prechodovej oblasti medzi vrchnou chromosférou a korónou. V tejto oblasti podľa nich vznikajú slnečné erupcie a smerom dole ohrevajú fotosféru a smerom hore slnečnú korónu prostredníctvom koronálnych slučiek. Tvrdia, že prenos energie z chromosféry do koróny prostredníctvom Alfvénových vln nemôže korónu ohrieť, pretože intenzita týchto vln je o 4 rády nižšia, ako by bolo potrebné. Iní autori tvrdia opak a za zdroj ohrevu považujú Alfvénove vlny; snažia sa potvrdiť ich existenciu.

J. Cirtain so spoluautormi zistil, že tu interferujú dva rôzne fyzikálne mechanizmy. Pri pokojnom Slnku korónu ohrevajú Alfvénove vlny na teplotu rádove 1,5 MK, ale pri aktívnom Slnku ďalšie zvyšovanie teploty na 2 – 4 MK spôsobuje prepájanie magnetických siločiar a jemné magnetické slučky, ktoré siahajú do koróny.

Niektoľ výtrysky dosahujú teplotu až 7 MK. Pomocou prístrojov na vertikálnych sondážnych raketách sa podarilo vďaka rekordnému rozlíšeniu pozorovať vo vlnovej dĺžke 19 nm (0,2", čiže 150 km na Slnku) objaviť jemné magnetické štruktúry. Tieto raketky môžu sledovať Slnko maximálne počas piatich minút.

A. Fossumová a M. Carlsson sice vďaka družici TRACE našli očakávané vysokofrekvenčné zvukové vlny s frekvenciami 10 – 50 mHz, ale s ich pomocou sa do koróny nepreniesie dostačné množstvo energie zo spodnej chromosféry. Ako ukázal H. Isobe so spoluautormi, strednú a hornú chromosféru môžu ohrievať magnetické polia, ale muselo by sa vysvetliť, ako môže byť ťažká a hustá tekutina ohrevaná ľahkou a riedkou.

S. Tomczyk, B. De Pontieu a S. McIntosh pomocou pozorovaní z družice HINODE s vysokým rozlíšením (okolo 0,2") preukázali existenciu teoreticky predvídanych priečnych Alfvénových vln s frekvenciami pod 5 mHz. Podarilo sa im to pomocou súradie krátkych expozícií s kadenciou 5 sekúnd.

Aj S. McIntosh so spoluautormi dokázal existenciu Alfvénových vln, t.j. driftujúcich oscilácií iónov v magnetickom poli medzi chromosférou a korónou s periódami 100 – 500 s. Ohrev pomocou Alfvénových vln dokázali teoreticky van Ballegoijen so spoluautormi pomocou hydrodynamického modelovania.

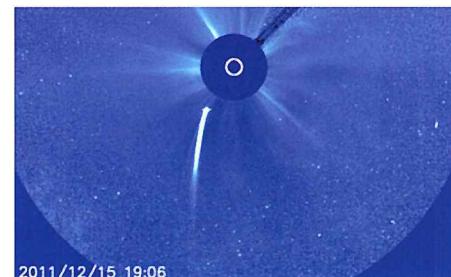
Tu vidíme rozpor s vyššie uvedeným tvrdením M. Aschwandena.

Alfvénove torzné vlny objavili na La Palme D. Jess so spoluautormi pomocou ďalekohľadu SST, ktorého lineárne rozlíšenie dosahuje

na slnečnom povrchu 110 km. Podľa autorov sú tieto vlny schopné ohriať korónu na teplotu až 10 MK. Energia sa prenáša vlnami s rýchlosťou 20 km/s a s periódou 126 – 700 s.

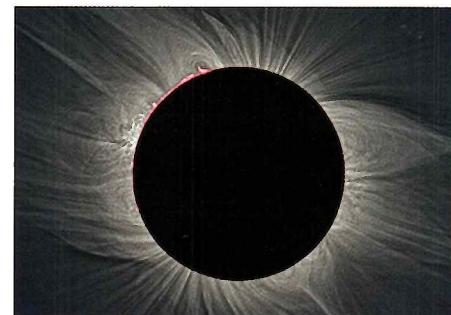
Unikátnu príležitosť na štúdium štruktúry magnetického pola v koróne poskytla kométa C/2011 W3, ktorá sa v periheliu dostala k Slnku na vzdialenosť 140 tisíc km. C. Downs so spoluautormi využili snímky chvosta komety v pásme EUV na diagnostiku zmien magnetického pola, ktoré je v tejto oblasti veľmi nehomogénne. Priame merania smeru a indukcie magnetického pola tak blízko slnečného povrchu sú (zatiaľ) technicky nemožné, ale magnetohydrodynamické simulácie umožnili autorom po prvý raz vytvoriť realistický model magnetického pola v tejto vrstve.

## Zatmenia



Obr. 3: Kométa Lovejoy C/2011 W3 nasnímaná koronografom na orbitálnom observatóriu SOHO.

Krátkie okamihy úplných zatmení Slnka sú jedinečnou, a do roku 1930, kedy B. Lyot skonštrуoval mimozatmeňový koronograf, vlastne jedinou príležitosťou na štúdium koróny. Najdlhšie zatmenie v 21. storočí nastalo 22. 7. 2009 (6:39 min.), dlhšie, s trvaním 6:55 min. uvidia až naši vzdialení potomkovia 13. 7. 2132. Korónu môžeme pozorovať vďaka šťastnej náhode, že uhlové



Obr. 4 a 5: Pozorovanie slnečnej koróny v Libyi 29. 3. 2006 vznikli vďaka technike číslicového spracovania obrazu. Snímku hore získal objektív s ohniskom 1640 mm, dole s ohniskom 200 mm.

priemery Slnka a Mesiaca sú takmer rovnaké. Táto zhoda sa postupne bude meniť (Mesiac sa vzdialuje od Zeme rýchlosťou 4 cm ročne) a podľa výpočtov nebeských mechanikov za 600 miliónov rokov korónu zo Zeme už neuvidíme.

Pozorovateľskou udalosťou roku 2006 bolo nepochybne úplné zatmenie Slnka dňa 29. marca, ktoré bolo pozorovateľné v páse so šírkou 126 – 189 km a dĺžkou 14,5 tisíc km, od Brazílie cez Atlantik, severnú Afriku, Turecko až po Mongolsko. Aj českí a slovenskí astronómovia organizovali expedície na pozorovanie koróny. Získali rôznu technikou množstvo skvelých snímok, ktoré posúvajú na ďalší prieskum javov v koróne. Unikátnymi sú snímky, získané a spracované tímom brnianskeho profesora Dr. M. Druckmüllera (obr. 4 a 5).

Získanie takýchto snímok možno považovať za mimoriadny pokrok pri dynamickom štúdiu slnečnej koróny. Vykazujú neobvyčajné podrobnosti, dynamický rozsah a zo série je možné určiť aj časové zmeny štruktúr. Takto spracovaná snímka koróny sa objavila aj na titulnej strane prestížneho prírodovedného časopisu *Nature*.

Pre štúdium dynamiky koróny sa podarilo stotožniť snímky z Mongolska a Ruska pri zatmení 1. 8. 2008, takže sa dali študovať zmeny štruktúr v dĺžke 19 minút.

L. Morris uverejnil v roku 2009 údaje o unikátnom experimente pri pozorovaní zatmenia v roku 1973. Na predĺženie možnosti pozorovať korónu astronómovia pod vedením P. Lényho využili nadzvukové dopravné lietadlo Concorde 001. Štart z letiska na ostrove La Palma museli však naplánovať veľmi presne, lebo lietadlo mohlo vyvinúť rýchlosť „iba“ 2145 km/h, zatiaľ čo tieň Mesiaca sa po povrchu Zeme pohyboval rýchlosťou 2500 km/h. Hlavnú fázu zatmenia sa počas letu vo výške 16 km nad Mauretániou podarilo pozorovať 74 minút!

29. 5. 2009 sme si pripomnuli 90. výročie úplného zatmenia, počas ktorého dve britské výpravy overili predpovede obecnej teórie relativity o ohybe svetla hviezd v gravitačnom poli Slnka pomocou určovania polôh hviezd v Hyádach.



Obr. 6: Ukážka jemnej štruktúry koróny. Zatmenie 11. 6. 2010.

M. Druckmüller so spoluautormi spracoval novou numerickou metódou snímky úplných zatmení Slnka z rokov 1994, 1995, 1998, 2001, 2002, 2006, 2009 a 2010, pričom ukázal, že zložením snímok z rôznych pozorovacích stanovišť možno postihnúť jemné časové zmeny v koróne.

S. Habbalová s kolegami získali pri zatmení 11. 6. 2010 na atole Takakota spektrálne snímky koróny (obr. 7).

Interpretovaním týchto pozorovaní (t.j. čiar H<sub>a</sub>, FeIX – FeXIV a NiXV) zistili, že väčšina koróny mala v tej dobe teplotu 1 MK, čo zodpovedá elektrónovej teplote určenej z priebehu magnetických siločiar v koróne.



Obr. 7: Bezštŕbinové spektrum koróny získané pri zatmení 11. 6. 2010.

Autor ďakuje prof. Dr. M. Druckmüllerovi za možnosť použiť snímky koróny, spracované jeho metódou.

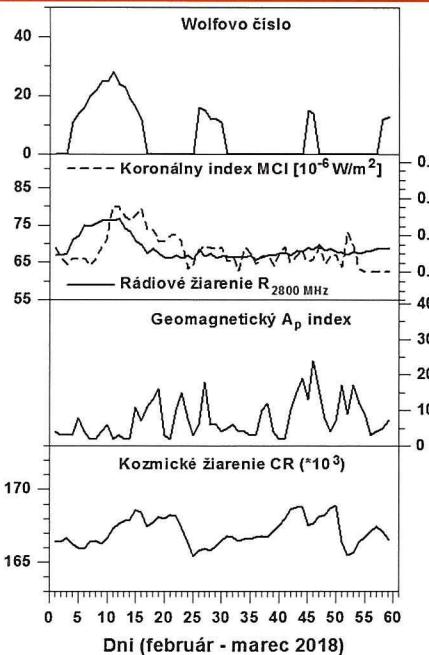
Milan Rybanský

## ASTROOBCHOD.sk

Pohlédněte do hlubin vesmíru vlastním dalekohledem!



## ASTROOBCHOD.cz



## Slnečná aktivita

V priebehu slnečnej aktivity (SA) nastal ďalší mierny pokles v porovnaní s predchádzajúcim dvojmesačným obdobím. Wolfovo číslo slnečných škvŕn sa pohybovalo v rozmedzí 0 – 28, pričom sme zaznamenali až 37 dní bez škvŕny na disku Slnka (v rovnakom období v roku 2017 bolo 16 takýchto dní). Erupčná aktivita sa mierne zvýšila, prebehlo niekoľko erupcií typu C v prvej polovici februára a potom začiatkom i koncom marca. V geomagnetickej aktivite sme však vôbec nezaznamenali výraznejšie zvýšenie hodnoty (>25) planetárneho A<sub>p</sub> indeksu, v celom období bola hodnota tohto indexu až počas 41 dní nižšia ako 10. Úroveň kozmickej žiarenia naopak mierne narastala.

Myšlienka, že výtrysk koronálnej hmoty (*Coronal Mass Ejection* – CME) zhromažduje pri svojom prechode cez korónu a heliosféru hmotu zo slnečného vetra, je široko akceptovaná. R. A. Howard a A. Vourlidas však ukázali, že to tak zrejme nie je pozdĺž celej dráhy postupu CME. V práci publikovanej v aprílovom čísle vedeckého časopisu *Solar Physics* skúmali zmienu objemovej elektrónovej hustoty so vzdialenosťou od povrchu Slnka v čelnej časti 13 CME, zaznamenanú pomocou koronografov LASCO C2 a C3 na družici SOHO v rokoch 1996 – 2001. Zistili, že vo všetkých prípadoch klesá objemová elektrónová hustota pri prechode CME cez zorné pole LASCO C2 a C3 vo vzdialostiach od 2,6 do 30 R<sub>ø</sub>. Pokles elektrónovej hustoty pritom zodpovedá jednoduchému radiálnemu rozpínaniu CME. Znamená to, že v tomto rozsahu výšok nad povrhom Slnka nie je preukázané nahromadenie hmoty zo slnečného vetra. Ak takýto jav existuje, musí sa odohrávať v nižších výškach, do 1,5 R<sub>ø</sub>, čo je mimo zorného pola koronografov LASCO. Autori článku tiež skonštatovali, že pozorovania pomocou prístroja SECCHI na palube dvojice vesmírnych sond STEREO obiehajúcich okolo Slnka vo vzdialosti Zeme a prístroja WISPR na palube sondy Parker Solar Probe s plánovaným štartom v júli 2018 priniesú nové poznatky pri skúmaní predpokladaného hromadenia hmoty na čele CME.

Ivan Dorotovič

# Astrofoto 2017

Koncom marca tohto roka sa uskutočnilo vyhodnotenie fotografií 40. ročníka medzinárodnej súťaže Astrofoto. Tak ako po iné roky, aj v tomto roku sa porota stretla v priestoroch redakcie časopisu Kozmos, aby si jej členovia vzájomne vymenili dojmy z jednotlivých prác, ktoré zaslali súťažiaci, a udelili ceny.

V tomto ročníku rozhodovala iba štvorčlenná porota, pričom jej piaty člen, ktorý sa nemohol osobne zúčastniť, poslal hodnotenie mailom. Do súťaže sa prihlásilo 19 súťažiacich, ktorí zaslali spolu 89 prác.

Na rozdiel od predchádzajúcich ročníkov štatút 40. ročníka obsahoval štyri súťažné kategórie. Základné tematické rozdelenie **Astronomické snímky** a **Variácie na tému obloha** zostalo zachované. Aby však mali svoju šancu aj začínajúci resp. málo pokročilí astrofotografi, pre tých skúsených bola v rámci tematických celkov vytvorená kategória **Astromaster**.

Pri hodnotení snímkov prišla reč aj na staršie ročníky súťaže, techniky, ktoré sa vtedy používali, spomenuli sa aj mená autorov, ktoré v oblasti astrofotografie zarezonovali.

Názory porotcov pri hodnotení niektorých prác boli jednoznačné, pri iných museli hľadať konsenzus. Každý mal svoje kritériá, podľa ktorých posudzoval snímky, očiam každého porotcu občas lahodilo čosi iné. Porotcovia brali do úvahy aj svoje skúsenosti, niekedy by v prípade saturácie fotografií autorom poradili, že menej je viac. Porotcov potešila aj jediná súťažná snímka zo zatmenia Slnka, ktoré bolo vlnaní v USA.



Miroslav Grnja: Parhelie. Fotografované 11. 6. 2017, 17:25 SEČ v Bratislave. Prístroje: iPhone 5s, back camera 4,15mm f/2,2. Fotografiu v kategórii Variácie na tému obloha ocenili 2. miestom.



# Výsledky súťaže Astrofoto 2017

## Astronomické snímky

1. Peter Jurista: NGC 6888 Bicolor Ha, OIII, RGB
2. Marek Mitter: Mesiac tesne po splne
3. Karol Kenessy: M33

## Variácie na tému obloha

1. Ľubomír Leňko: NLC Storm a Venuša
2. Miroslav Grnja: Parhelie
3. Michaela Haringová: Polárna žiara

## Astronomické snímky - Astromaster

1. Michal Bouček: NGC2237 (HST paleta)
2. Róbert Barsa: Úplné zatmenie Slnka v USA
3. Peter Pír: M64

## Variácie na tému obloha - Astromaster

1. Majo Chudý: Sen noci tatranskej
2. Róbert Barsa: Protisvit Slnka nad Canyonlands
3. Marián Dujnič: Brieždenie na Besníku
3. Josef Jíra: Bouřka

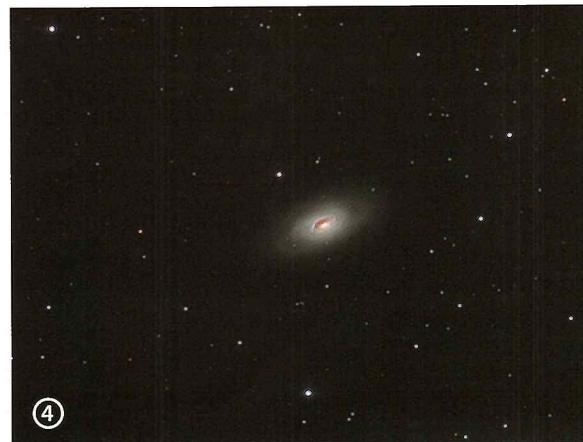
Všetkým autorom srdečne ďakujeme, oceňeným blahoželáme a tešíme sa na snímky v ďalšom, 41. ročníku súťaže Astrofoto.

*Michaela Haringová: Polárna žiara. Fotografované 18. 9. 2017, 22:16 v Moskenes, Nórsko. Prístroje: Pentax K3 II, HD PENTAX DA 16-85 mm f/3,5-5,6 ED DC WR. Fotografiu v kategórii Variácie na tému obloha ocenili 3. miestom.*

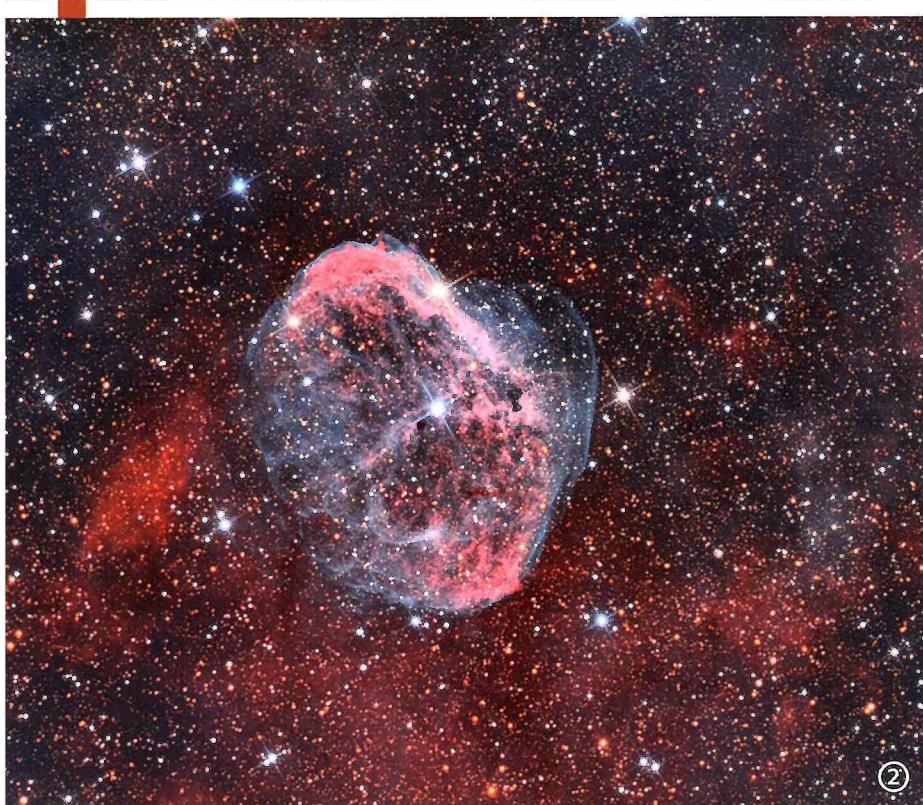
*Róbert Barsa: Úplné zatmenie Slnka v USA. Fotografované 21. 8. 2017, 17:34 UT v Idaho, USA. Prístroje: Thornton ED 80/600 + Canon EOS 6D, montáž EQ5. Expozícia: ISO 100, časy od 1/640 do 1,3 sekundy. Fotografiu v kategórii Astronomické snímky - Astromaster ocenili 2. miestom.*

*Porota pri hodnotení*





Fotografie na tejto strane:



1. Majo Chudý: Sen noci tatranskej. Fotografované 14. 8. 2017, 23:22 na Furkotskom štítu, Vysočé Tatry. Prístroje: Sony A7 + Tamron 24-70 f/2,8. Exponícia: ISO 6400, f/2,8, 15 sec, 28 mm. Fotografiu v kategórii Variácie na tému obloha - Astromaster ocenili 1. miestom.

2. Peter Jurista: NGC 6888 Bicolor Ha, OIII, RGB. Fotografované v októbri 2017 v Hornom Kalníku. Prístroje: ASA10, OAG, CCD Atik460mono, G53f, filtre astronomick Ha6nm, RGB, OIII astrodon. Exponícia: Ha-1180 min, OIII-1460 min, RGB po 105 min. na kanál, celkovo 49,3 hod. Fotografiu v kategórii Astronomické snímky ocenili 1. miestom.

3. Lubomír Leňko: NLC Storm a Venuša. Fotografované 2. 7. 2017, 03:22 hod. v Brehove – Zemplínska oblasť. Prístroje: Nikon D5100, Samyang 14 mm f/2,8 IF ED UMC Aspherical. Exponícia: ISO 100, f/4, 5 x 20 sec. Fotografiu v kategórii Variácie na tému obloha ocenili 1. miestom.

4. Peter Pír: M64. Fotografované 31. 3. 2017 v Lábe. Prístroje: Montáž EQ-6 SS, Newton 250x1200, korektor CCF5, CANON EOS 400 D modifikovaný. Exponícia: ISO 1600, 67x300 sec. Fotografiu v kategórii Astronomické snímky - Astromaster ocenili 3. miestom.

5. Karol Kenessy: M33. Fotografované 14. 11. 2017, 19:30-22:44 hod. v Šamoríne. Prístroje: Sky-Watcher Black diamond 100 ED, korektor pola - reduktor ohniska 0,85x, Lacerta M-gen autoguider, filter IDAS LPS-D1, Canon 700D modifikovaný. Exponícia: ISO 1600, 195 sec. Fotografiu v kategórii Astronomické snímky ocenili 3. miestom.



# Podmienky súťaže Astrofoto 2018

Slovenská ústredná hvezdáreň v Hurbanove vyhlasuje 41. ročník súťaže Astrofoto. Súťaž je určená všetkým amatérom a profesionálom v oblasti astronómie. Všetky kategórie sú bez vekového ohraničenia. Súťažné práce budú rozdelené do nasledovných tematických kategórií:

## 1. Astronomické snímky – Astromaster.

Do tejto kategórie patria astronomické snímky planét, komét, asteroidov, spektier astronomických objektov, bolidov, slnečnej fotosféry a chromosféry, detaily slnečných škvŕn, hviezdometry, galaxie, hmloviny, Mesiac, zatmenia a konjunkcie, snímky súhviedzí a pod.

## 2. Astronomické snímky.

Do tejto kategórie patria astronomické snímky planét, komét, asteroidov, spektier astronomických objektov, bolidov, slnečnej fotosféry a chromosféry, detaily slnečných škvŕn, hviezdometry, galaxie, hmloviny, Mesiac, zatmenia a konjunkcie, snímky súhviedzí a pod.

## 3. Variácie na tému obloha – Astromaster.

Táto kategória poskytuje autorom široké pole pôsobnosti. Patria sem snímky z mestského alebo prírodného prostredia, na ktorých je pôsobivo zachytený astronomický alebo atmosférický úkaz či objekt (konjunkcie nebeských telies, ich východy a západy, blesky, dúhy, halové javy a pod.), ako aj snímky dokumentujúce vzťah autora k astronomii (zábery z astronomických podujatí, astronomickej techniky a pod.).

## 4. Variácie na tému obloha.

Táto kategória poskytuje autorom široké pole pôsobnosti. Patria sem snímky z mestského alebo prírodného prostredia, na ktorých je pôsobivo zachytený astronomický alebo atmosférický úkaz či objekt (konjunkcie nebeských telies, ich východy a západy, blesky, dúhy, halové javy a pod.), ako aj snímky

dokumentujúce vzťah autora k astronomii (zábery z astronomických podujatí, astronomickej techniky a pod.).

Kategória Astromaster je určená pre fotografov, pokročilých v spracovaní astronomických fotografií a so skúsenosťami s fotografickou a pozorovacou technikou.

### Podmienky súťaže:

- Do súťaže sa prijímajú len digitálne fotografie, alebo fotografie digitalizované (z filmu, diapositívu a pod.)
- Do súťaže sa prijímajú snímky získané resp. urobené v čase od 1. januára 2018 do 31. decembra 2018.
- Ku každej súťažnej práci musí byť priložený formulár. Názov súboru, snímky a formulára musí byť rovnaký. Názov nesmie obsahovať diakritiku. Formulár je možné stiahnuť aj na internetovej stránke: [www.suh.sk](http://www.suh.sk)
- Digitálne zábery musia byť zaslané v niektorom z formátov: JPG, TIF alebo BMP a musia mať pripojený súbor s požadovanými údajmi. Každá snímka musí byť zaslaná aj vo formáte JPG.
- Každá súťažná práca musí byť označená tematickou kategóriou, ktorej sa autor s prácou zúčastňuje.
- Fotografiu môže zaslať len autor snímky.
- Súťažná snímka nesmie obsahovať podpis, vodoznak ani text, ktorý obsahovo priamo nesúvisí so snímkou.
- Autor sa môže prihlásiť len do jednej kategórie Astronomické snímky a do jednej kategórie Variácie na tému obloha.
- V prípade oceniaenia snímky v inej nami organizovanej súťaži nebude snímka v tejto súťaži hodnotená.
- Zaslanním snímky autor automaticky súhlasí s pravidlami súťaže.

**Počet prác:** Každý autor môže do súťaže poslat 5 súťažných fotografií v každej kategórii.

**Ceny:** Vítazné práce budú ocenené finančnými cenami, a to v kategóriach 1. a 3. (Astromaster): za 1. miesto 200 eur, za 2. miesto 150 eur a za 3. miesto 100 eur. V kategóriách 2. a 4.: 1. miesto 150 eur, za 2. miesto 100 eur a za 3. miesto 50 eur. Snímka roka, v prípade, že bude táto cena udelená, bude navyše ohodnotená prémiou 200 eur. Porota si vyhradzuje právo udeliť špeciálnu cenu pre autora do 18 rokov. Porota si tiež vyhradzuje právo neudeliť cenu.

**Vyhodnotenie a výsledky:** Súťaž vyhodnotí odborná porota. Vyhodnotenie súťaže bude uverejnené v časopise Kozmos 3/2019.

### Všeobecné podmienky:

- Účastník súťaže vyhlasuje, že je autorom fotografie a má neobmedzené právo poskytovať ju ďalším osobám.
- Zaslannedé fotografie sa stávajú majetkom organizátora, ktorý si vyhradzuje právo zhodnotiť kópie prác pre archív súťaže a podľa vlastného uváženia použiť súťažné fotografie na nekomerčné účely bez ďalšieho súhlasu autora.
- Účastník súťaže súhlasí so zverejnením svojho mena v rámci vyhlásenia výsledkov súťaže.
- Účastník súťaže vyjadruje svoj súhlas so spracovaním jeho osobných údajov podľa zákona č. 18/2018 Z.z o ochrane osobných údajov.

Pre zaradenie do súťaže je rozhodujúci dátum podania zásielky, najneskôr 31.1.2019.

Práce označené heslom ASTROFOTO posielajte na adresu:

Slovenská ústredná hvezdáreň  
Komárňanská 134  
947 01 Hurbanovo  
Slovenská republika  
Alebo e-mailom: [astrofoto@suh.sk](mailto:astrofoto@suh.sk)



### Formulár pre jednotlivé práce

meno a priezvisko	
kontaktná adresa	
e-mail	
dátum narodenia	
číslo účtu (na prípadné zaslanie ceny)	
kategória	
názov práce	
dátum, čas expozície	
miesto	
parametre použitých prístrojov	
materiál	
špeciálne postupy a úpravy	

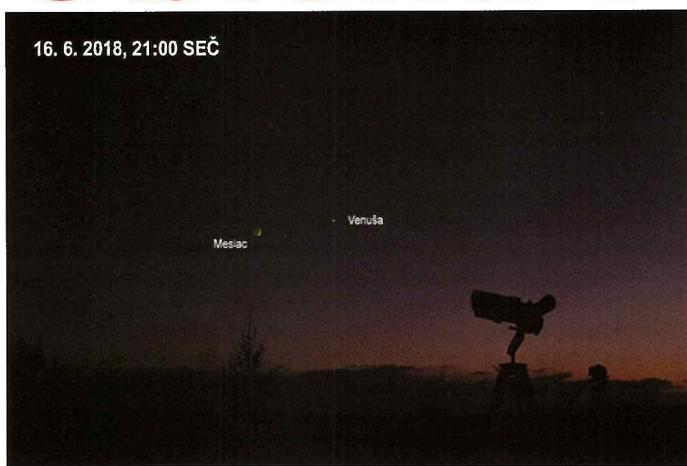
Róbert Barsa: Protisvit Slnka nad Canyonlands, Mliečna cesta a Airglow. Fotografované 23. 8. 2017, 08:13 UT v Canyonlands NP, Utah, USA. Prístroje: Canon EOS 6D, Samyang 24mm f/1,4. Expozícia panoráma zložená z 20 záberov; obloha - ISO 6400, f/2, 13 sec, popredie - ISO 3200, f/4, 90 sec. Fotografiu v kategórii Variácie na tému obloha - Astromaster ocenili 2. miestom.

Jún – júl 2018

Všetky časové údaje sú v SEČ

# Obloha v kalendári

16. 6. 2018, 21:00 SEČ



23. 6. 2018, 21:00 SEČ



Pred nami sú sice najkratšie noci v roku, no obloha si pripravila dostatok zaujímavých úkazov, a tak je pred nami skutočne krásne obdobie. Z planét, ak sa posnažíme, uvidíme všetky, Saturn je dokonca v opozícii. V každom prípade však zaujme Mars, ktorý bude vo svojej veľkej opozícii a v tento deň nastane aj úplné zatmenie Mesiaca, najdlhšie v tomto storočí. Ak si k tomu ešte pripočítame jasnú Vestu, kométy viditeľné v binokuliari a skutočnosť, že začína obdobie vyšších aktivít meteorov, môžeme sa tešiť na plodné dva mesiace pod hviezdnatou oblohou.

## Planéty

**Merkúr** bude v podpriemerných pozorovacích podmienkach, podobne ako v predošlych dvoch mesiacoch. Začiatkom júna je v hornej konjunkcii a od severného okraja slnečného disku bude len  $0,5^\circ$ .

Po nej sa presunie na večernú oblohu, no geometrické podmienky nie sú najvhodnejšie. V polovici júna je na konci občianskeho súmraku len tesne nad obzorom ako objekt  $-1,1$  mag a na prelome mesiacov  $-0,1$  mag. Uhlovo sa od Slnka vzdáluje, v najväčszej východnej elongácii ( $26^\circ$ ) bude  $12.7$ , no aj vtedy zapadne len počas nautického súmraku ako objekt  $0,4$  mag. Po elongácii sa postupne uholivo k Slnku približuje, jeho ekliptikálna šírka klesá a koncom mesiaca zapadne súčasne so Slnkom, aj keď je od neho  $14^\circ$  východne.

Júnová konjunkcia s Mesiacom pozorovateľná nebude, iba o niečo lepšie podmienky nastanú  $14.7$ , kedy Merkúr bude  $3^\circ$  vľavo od tenkého kosáčika Mesiaca, a tak pohľad triédrom snáď poteší.

**Venuša** (-3,9 až -4,3 mag) je na večernej oblohe a zaujme svojou jasnosťou. Zapadne až počas astronomického súmraku takmer 3 hodiny po Slnku, na konci júla o hodinu skôr. Uhlovo sa od Slnka mierne vzdáluje, geometrické podmienky sa však zhoršujú, sklon ekliptiky k obzoru sa zmenšuje. Keďže sa k nám približuje, jej jasnosť rastie, zdanlivý uhlový priemer sa zväčší z  $13$  na  $20''$  a fáza poklesne z  $0,8$  na  $0,6$ . V ďalekohľade si teda pri kludnom ovzduší užijeme zmenu jej vzhľadu.

Konjunkcie s Mesiacom nastanú  $16.6$  a  $16.7$ . Pri tej júnovej sa nám možno triédrom podarí nad obzorom nájsť aj Merkúr. V júli nastane konjunkcia pod obzorom, a tak zoskupenie zaujme už v predošlý večer. Pod kosáčikom Mesiaca si všimnime aj Regulus.

**Mars** (-1,2 až -2,8 mag) v Kozoročovi vychádza po  $22.$  hodine a jeho viditeľnosť sa zlepšuje, nakoľko  $27.7$  je v opozícii. Od začiatku júna do konca júla, keď k nám bude najbližšie, sa k nám priblíži z  $0,6123$  na  $0,3850$  AU. Jeho uhlový priemer sa zväčší z  $15,3$  až na  $24,3''$ , a tak aj neveľkým ďalekohľadom na ňom bude možné pozorovať jeho albedové útvary a južnú polárnu čiapočku.

Medzi hviezdami urobí elegantnú slučku,  $28.6$  je v zastávke a začne sa pohybovať späťne (západne).

$27.7$  bude Mars v opozícii a keďže je na svojej dráhe súčasne v blízkosti perihélia ( $16.9.$ ), hovoríme o „veľkej opozícii“. Najbližšie k Zemi, len  $57,6$  miliónov km, bude  $31.7.$  a od roku 2003, keď bol Mars od nás  $55,7$  mil. km, je to najmenšia vzdialenosť, ktorá nás bude deliť od tejto červenej planéty. Bližšie sa k Marsu priblížime až  $11.9.2035$ .

V deň opozície nastane aj úplné zatmenie Mesiaca, a tak na oblohe uvidíme obe telesá súčasne – len vo vzdialenosťi  $6^\circ$ . Každý sa tak bude môcť presvedčiť, že Mars nie je veľký ako Mesiac, ako tvrdia falošné maily, ktoré sú rozosielané už od roku 2003. Viac o opozícii Marsu sa dočítate v peknom článku P. Zimníková v tomto čísle Kozmosu.

Konjunkcia Marsu s Mesiacom pred poslednou štvrtou nastane  $3.6.$  popoludní, a tak obe telesá uvidíme až pred polnocou, no už vo vzdialenosťi vyše  $6^\circ$ . Vhodnejšie je ich vzájomné priblženie  $1.$  a  $27.7$ .

**Jupiter** (-2,5 až -2,1 mag) je vo Váhach a po májovej opozícii sa jeho viditeľnosť skracuje a jasnosť mierne klesá. Začiatkom júna zapadne až nadránom,  $3$  hodiny po polnoci, koncom nautického súmraku, no koncom júla už hodinu pred polnocou. Vzhľadom na svoju jasnosť však bude ozdobou nočnej oblohy. Už triédrom uvidíme jeho štyri najväčšie mesiace a v ďalekohľade zaujme mierne sploštený kotúčik s výraznými tmavšími rovníkovými pásmi a pri troške pozornosti zbadáme aj Veľkú červenú škvru.

Jeho vlastný pohyb medzi hviezdami sa spoľahlie,  $11.7.$  je v zastávke a začne sa pohybovať v priamom smere. Zmenu jeho polohy si všimneme porovnaním s  $\alpha$  Lib (2,7 mag), od ktorej bude vo vzdialenosťi  $1 - 2^\circ$ .

Konjunkcie s Mesiacom nastanú len vo vzdialenosťi  $3^\circ$   $23.6.$  a  $21.7.$ , no vzhľadom na jasnosť Jupitera zaujmú. O niečo vhodnejšia je tá júnová.

**Saturn** (0,1 až 0,2 mag) v Strelecovi je  $27.6.$  v opozícii, a teda nad obzorom počas celej noci. Kulminuje vo výške necelých  $20^\circ$  na po-

Merkúr



Venuša



Mars



Jupiter



Saturn



Urán



Neptún



1. 6. – 1. 7. – 1. 8.

1. 7. 2018

**Prechody Veľkej červenej škvŕny  
centrálnym poludníkom Jupitera**  
(Jupiterov systém II)

2.6.	2:19	14.6.	22:05	29.6.	19:31	18.7.	0:25
2.6.	22:10	15.6.	17:57	1.7.	1:18	18.7.	20:16
3.6.	18:02	16.6.	23:44	1.7.	21:10	20.7.	21:55
4.6.	3:57	17.6.	19:35	3.7.	22:49	21.7.	17:47
4.6.	23:49	19.6.	1:22	4.7.	18:40	22.7.	23:34
5.6.	19:40	19.6.	21:14	6.7.	0:27	23.7.	19:26
7.6.	1:27	21.6.	3:01	6.7.	20:19	25.7.	21:05
7.6.	21:18	21.6.	22:52	8.7.	21:58	27.7.	22:44
9.6.	3:06	22.6.	18:44	10.7.	23:37	28.7.	18:35
9.6.	22:57	24.6.	0:31	11.7.	19:28	30.7.	0:23
10.6.	18:48	24.6.	20:22	13.7.	1:15	30.7.	20:14
12.6.	0:35	26.6.	2:09	13.7.	21:07		
12.6.	20:27	26.6.	22:01	15.7.	22:46		
14.6.	2:14	28.6.	23:40	16.7.	18:37		

zadí najhustejsích častí Mliečnej cesty. Zaujme pokojným žltkastým svitom, v dalekohľade ho uvidíme s jeho mohutnými prstencami. Pozorujeme ich zo severnej strany, mierne sa roztvárajú, koncom júla budú mať šírku  $18,1'$  a rovníkový priemer  $41'$ . V deň opozície je k nám najbližšie (9,0488 AU). Za dobrých pozorovacích podmienok uvidíme aj tmavé Cassiniho delenie prstencov, v blízkosti Saturna aj jeho najväčší mesiac Titan (8,5 mag) a do 11 mag ešte aj Dione, Thetys, Rhea a Iapetus.

Konjunkcie s Mesiacom vo veľkej fáze nastanú 1. 6., 28. 6. a 25. 7. Najtesnejšia bude tá prvá, Saturn nájdeme len  $0,5^\circ$  od južného okraja Mesiacu krátko po splne.

**Urán** (5,9 – 5,8 mag) je v juhozápadnej časti Barana v oblasti pomerne chudobnej na jasnejšie hviezdy. Vychádza dve hodiny po polnoci koncom astronomického súmraku, no jeho možnosti pozorovania sa zlepšujú, koncom júla je nad obzorom už dve hodiny pred polnocou. Môžeme sa ho pokúsiť nájsť aj bez dalekohľadu, no bezpečne ho zidentifikujeme až triédrom. V dalekohľade ho uvidíme ako malý, pokoje svietiaci kotúčik s priemerom  $3,5'$ .

Konjunkcie s Mesiacom 10. 6. a 7. 7. sú nevýrazné, len vo vzdialenosťi vyše  $5^\circ$ .

**Neptún** (7,9 – 7,8 mag) je vo Vodnárovi, vychádza hodinu po polnoci, koncom júla však už večer na konci nautického súmraku. Na jeho pozorovanie už potrebujeme triéder

alebo malý dalekohľad. Nájdeme ho stupeň západne od φ Aqr (4,2 mag). 19. 6. je v zástavke a začne sa pohybovať späťne. Vo výkonnejšom prístroji ho uvidíme ako malinký kotúčik s priemerom len  $2,3'$ .

Konjunkcie s Mesiacom 6. 6., 4. 7., 31. 7. budú vo vzdialenosťi vyše  $3^\circ$ .

21. 6. o 11:08 nastane letný slnovrat, začiatok astronomického leta. Slnko vstupuje do znamenia Raka, no je v súhvezdí Blížencov. Poludňajšia výška Slnka dosiahne  $65^\circ$  a je počas roka najvyššia, noc je najkratšia.

6. 7. je **Zem v odslní**, vo vzdialosti od Slnka 152 mil. km, a zdanlivý uhlový priemer Slnka je v tento deň v roku najmenší, len  $31,5'$ .

13. 7. nastane čiastočné zatmenie Slnka, ktoré od nás však pozorovateľné nebude. Veľkosť zatmenia bude 0,34 (v jednotkach slnečného priemeru) a z pevniny bude viditeľne len z najjužnejšej časti Austrálie, Tasmánie a severnej časti Antarktídy.

27. 7. nás čaká úplné zatmenie Mesiacu, ktoré uvidíme takmer v celom priebehu. Ide o najdlhšie zatmenie v tomto storočí. Viac o zatmení si prečítate v samostatnom príspevku.

#### Trpasličie planéty

(134340) Pluto (14,2 mag) v Strelcovi má najlepšie pozorovacie podmienky v tomto roku, napokolko 12. 7. je v opozícii a o dva dni skôr k nám aj najbližšie (32,5823 AU). Pri kulminácii sa dostane do výšky  $20^\circ$ . 3. 7. bude len  $0,3^\circ$  severne od hviezdy 50 Sgr (5,6 mag).

(1) Ceres (8,7 – 8,8 mag) v Levovi má zhorešujúce sa podmienky pozorovateľnosti, uholovo sa približuje k Slnku, vzdáluje sa od nás a mierne slabne. Začiatkom júna zapadne ešte hodinu po polnoci, no koncom júla už o 21:30. 4. 6. bude tesne pod ε Leo (3,0 mag) a 28. 6. nad γ Leo (2,2 mag).

#### Asteroidy

V opozícii budú jasnejšie ako 11 mag: (192) Nausikaa (10.6.; 10,5 mag), (29) Amphitrite (16.6.; 9,5 mag), (9) Metis (17.6.; 9,7 mag), (4) Vesta (22.6.; 5,3 mag), (26) Proserpina (7.7.; 10,5 mag), (144) Vibilia (7.7.; 10,9 mag), (198) Ampella (9.7.; 10,6 mag), (52) Europa (19.7.; 11,0 mag), (88) Thisbe (19.7.; 9,7 mag), (14) Irene (24.7.; 10,0 mag), (140) Siwa (28.7.; 10,4 mag).

## Zákryty hviezd Mesiacom (jún – júl 2018)

Dátum	UT	f	XZ	mag	CA	PA	a	b		
	h	m	s		°	°	s/°	s/°		
24.6.	23	59	53	D	21629	5,6	+85N	103	53	-100
28.6.	22	6	40	D	26345	3,9	-39S	128	93	-7
28.6.	23	14	33	R	26345	3,9	+64S	231	108	46
3.7.	0	26	51	R	30649	5,9	+72S	233	83	95
8.7.	1	48	21	D	3322	4,3	-32N	11	-6	173
26.7.	0	24	58	D	26051	5,8	+41N	41	33	-4
30.7.	1	13	47	R	30463	6,2	+87N	259	103	-12

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 vzťahu  $t = t_0 + a(\lambda - \lambda_0) + b(\phi - \phi_0)$ , kde koeficienty a, b sú uvedené pri každom zákytre.

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 = uhlový meraný od severného (N) alebo južného (S) rohu Mesiacu k hviezde; PA = pozičný uhlový meraný od severného okraja Mesiacu v kladnom smere.

#### Fázy Mesiacu

posledná štvrt'	6.6.; 19:32	6.7.; 8:51
nov	13.6.; 20:43	13.7.; 3:48
prvá štvrt'	20.6.; 11:51	19.7.; 20:52
spln	28.6.; 5:53	27.7.; 21:20



Najjasnejšia (4) Vesta bude 19. 6. v opozícii a dosiahne jasnosť 5,3 mag, a tak ju bude možné nájsť aj bez dalekohľadu. Nebude to však jednoduché, napokolko sa bude premiechať na pozadie Mliečnej cesty v Strelcovi a Hadonosovi. V polovici júna sa bude presúvať  $0,5^\circ$  popod otvorenú hviezdokopu M 23 (5,5 mag), 23. 6. popred malú planetárnu hmlovinnu NGC 6445 (11,2 mag) a  $0,25^\circ$  nad guľovou hviezdokopou NGC 6440 (9,3 mag).

Niekoľko asteroidov sa bude pohybovať na zaujímavom hviezdnom pozadí, (3) Juno (9,7 mag) nájdeme 4. 7. necelé  $3^\circ$  pod Uránom.

#### Kométy

Kométy sú sice nevyspytateľné, no ak sa predpoveď tentokrát splnia, mohli by sme vidieť tri aj v binokulároch.

PANSTARRS (C/2017 S3) bola objavená 23. 9. v Drakovi ako objekt 21,5 mag dalekohľadom Pan-STARRS 1 (Haleakala Observatory). Pod 12 mag sa dostane začiatkom júla, bude cirkulopárná s najlepšími pozorovacími podmienkami ráno. Príjemne zjasaňuje, do dosahu aj menších dalekohľadov sa dostane už v polovici júla, keď zrejme dosiahne až 7 mag.

Periodická kométa 21P/Giacobini-Zinner s obežnou dobou 6,55 r prejde perihéliom 10. 9., pohybuje sa z Labute do Cefeia. Podľa predpovede jej jasnosť bude príjemne stúpať,

**Efemerida asteroidu (4) Vesta**

Dátum	RA(2000)	D(2000)	mag	el.
1. 6.	18h10,1m	-18°35,7'	5,8	157,3
11. 6.	18h01,4m	-19°11,5'	5,5	168,6
21. 6.	17h51,3m	-19°52,3'	5,3	176,2
1. 7.	17h41,4m	-20°35,6'	5,6	166,5
11. 7.	17h32,9m	-21°19,0'	5,8	155,2
21. 7.	17h27,2m	-22°01,5'	6,1	144,4
31. 7.	17h24,8m	-22°42,4'	6,3	134,4

**Efemerida kométy PANSTARRS (C/2017 S3)**

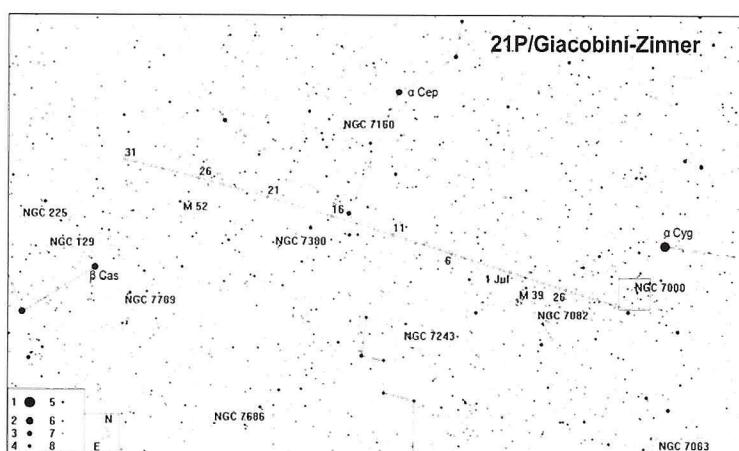
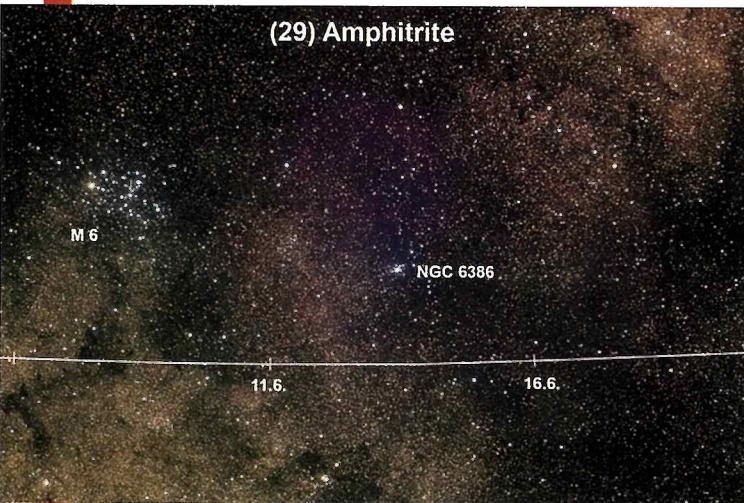
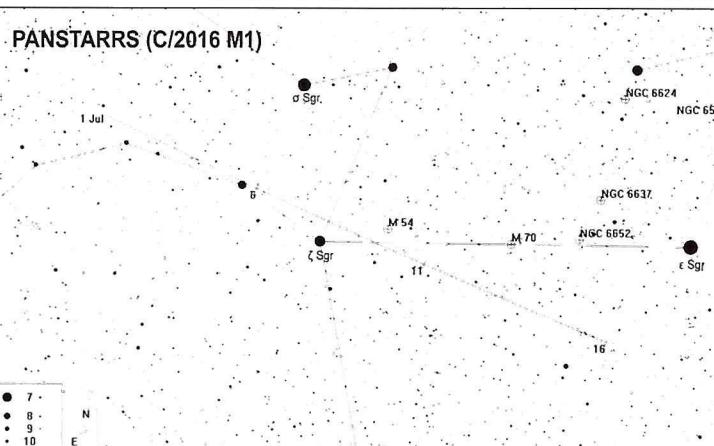
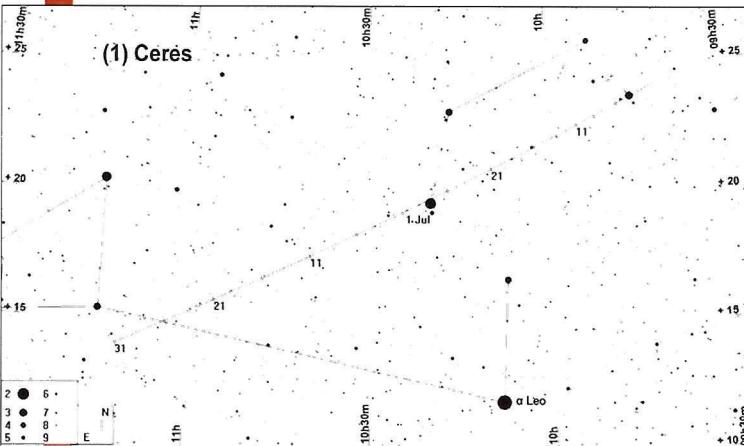
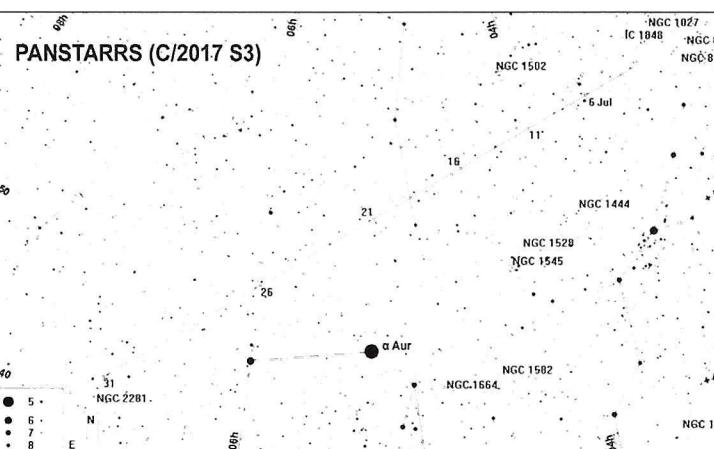
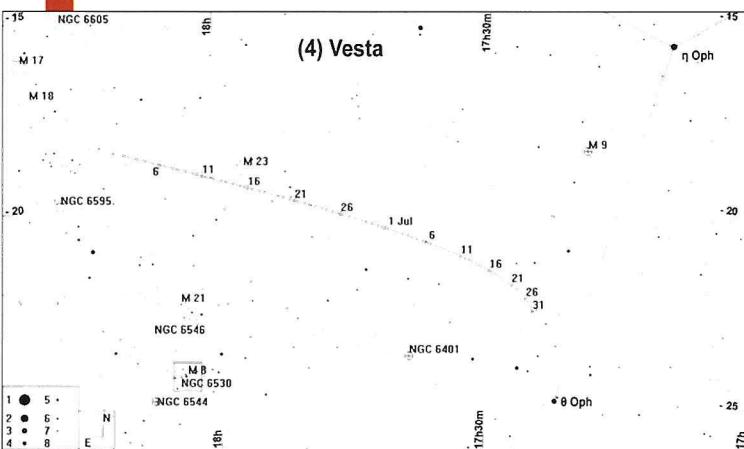
Dátum	RA(2000)	D(2000)	mag	el.
1. 7.	03h01,7m	+59°24,5'	11,9	52,3
6. 7.	03h28,7m	+59°09,0'	11,3	51,8
11. 7.	03h59,5m	+58°25,8'	10,7	50,8
16. 7.	04h34,8m	+56°58,0'	10,0	48,9
21. 7.	05h14,9m	+54°18,0'	9,2	45,9
26. 7.	05h59,5m	+49°41,5'	8,2	41,1
31. 7.	06h47,5m	+42°05,1'	7,1	33,6

**Efemerida (1) Ceres**

Dátum	RA(2000)	D(2000)	mag	el.
1. 6.	09h41,3m	+24°14,9'	8,7	69,6
11. 6.	09h55,2m	+22°44,4'	8,7	63,7
21. 6.	10h09,7m	+21°08,7'	8,8	58,0
1. 7.	10h24,7m	+19°28,4'	8,8	52,4
11. 7.	10h39,9m	+17°43,9'	8,8	47,0
21. 7.	10h55,5m	+15°55,8'	8,8	41,8
31. 7.	11h11,2m	+14°04,8'	8,8	36,6

**Meteorické roje (jún – júl)**

roj	aktivita	maximum	$\lambda_{\text{sol}}$	$\alpha$	$\delta$	$v_{\text{inf}}$	r	ZHR
antiheličionový zdroj (ANT)	10. 12. – 10. 9.					30	3,0	4
júnové Bootidy (JBO)	22. 6. – 2. 7.	27,6.	95,7°	224°	+48°	18	2,2	var
Piscis Austrinidy (PAU)	15. 7. – 10. 8.	28,7.	125°	341°	-30°	35	3,2	5
južné ô Akvaridy (SDA)	12. 7. – 23. 8.	30,7.	127°	340°	-16°	41	2,5	25
ô Kaprikornidy (CAP)	3. 7. – 15. 8.	30,7.	127°	307°	-10°	23	2,5	5
Perzeidy (PER)	17. 7. – 24. 8.	12,8.	140,0°	48°	+58°	59	2,2	110





# Úplné zatmenie Mesiaca 27. 7. 2018

Zatmenie Mesiaca 27. 7. 2018 je 38. zatmením série saros 129, ktorá začala 10. 6. 1351 a skončí 24. 7. 2613. Najdlhšie zatmenie tejto súrie bolo 16. 7. 2000 (01 h 47 min), od nás však pozorovateľné nebolo.

Tohtoročné zatmenie bude najdlhším zatmením v tomto storočí, jeho čiastočná fáza bude trvať 3 h 55 min a úplná 1 h 43 min, veľkosť dosiahne 1,609 (v jednotkách mesačného priemeru). Mesiac bude prechádzať tesne nad stredom zemského tieňa, a tak počas úplnej fázy sa na jeho povrch bude premieňať tmavá hnedastá škvRNA. Takéto stredové zatmenie sme naposledy videli 15. 6. 2011.

Zatmenie bude od nás viditeľné takmer v celom priebehu, okrem začiatku polotieňovej fázy, ktorá však aj tak nie je pozorovateľná. Slabé stmavnutie východnej časti Mesiaca si všimneme už počas polotieňovej fázy, asi polhodinu po začiatku zatmenia. Od začiatku čiastočnej fázy uvidíme v dalekohľade pomaly postupujúci mierne neostrý zemský tieň. V minulosti sa merania kontaktov tie-

ňa s vhodnými útvarmi na Mesiaci používali na určovanie vlastností atmosféry Zeme.

Počas úplnej fázy bude mať Mesiac hnedočervené sfarbenie, ktoré je spôsobené lomom slnečných lúčov v zemskej atmosfére. Vzhľad zatmenia je závislý na momentálnom stave atmosféry a v roku 1921 ich popísal André-Louis Danjon:

L 0 – veľmi tmavé zatmenie, Mesiac takmer nie je viditeľný

L 1 – tmavé zatmenie šedej alebo hnedej farby, detaily sú ľahko rozlíšiteľné

L 2 – tmavočervené alebo hrdzavočervené zatmenie, zvlášť v strede, vonkajšie okraje tieňa sú svetlejšie

L 3 – tehlovočervené zatmenie, na okrajoch svetlejšie so žltkastým okrajom

L 4 – veľmi jasné zatmenie červenej až oranžovej farby, okrajové časti sú svetlé s modrastým nádychom

Akousi čerešničkou na torte je skutočnosť, že len vo vzdialosti 6° južne od Mesiaca bude Mars, ktorý je v opozícii, s jasnosťou -2,8 mag.

Takto sa bude môcť každý na vlastné oči presvedčiť, že Mars nie je veľký ako Mesiac, čo tvrdia falošné e-maily už od veľkej opozície Marsu v roku 2003. Zdanlivý uhlový priemer Marsu bude totiž viac ako 70-krát menší ako Mesiac.

S pribúdajúcou fázou zatmenia bude obloha tmavnúť, objavovať sa čoraz viac hviezdy a na miestach bez svetelného znečistenia zaujme aj striebriatá Mliečna cesta. Mesiac bude v Kozorožcovi na tmavom hviezdnom pozadí ako veľký červený klenot, vpravo uvidíme Saturn, jasný Jupiter a zvečera nízko nad západným obzorom aj Venušu.

Ostatné úplné zatmenie Mesiaca sme od nás videli 28. 9. 2015, ďalšie nás čaká 21. 1. 2019.

Neveľká výška Mesiaca nad obzorom počas zatmenia dáva príležitosť fotografom, okrem snímkov cez teleobjektív či dalekohľady, aj na sériu invenčných fotografií s vhodným horizontom.

Pavol Rapavý

## Pribeh zatmenia

	SEČ	PA [°]
začiatok polotieňového zatmenia	18:14	86
začiatok čiastočného zatmenia	19:24	89
začiatok úplného zatmenia	20:30	277
stred zatmenia (najväčšia fáza)	21:22	-
koniec úplného zatmenia	22:13	67
koniec čiastočného zatmenia	23:19	255
výstup Mesiaca z polotieňa	00:29	258



Úplné zatmenie 28. 9. 2015 s modrastým okrajom tieňa (tyrkysový jav), ktorý spôsobuje vrstva ozónu v zemskej atmosféri. (foto P. Rapavý)

Schéma zatmenia



svadba z iného pohľadu

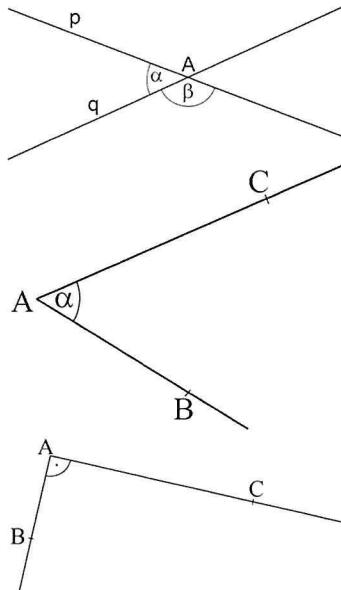
[www.martinfarkas.sk](http://www.martinfarkas.sk)

# Jednoduché astronomické výpočty

3. diel

V tejto časti cyklu pre druhý stupeň ZŠ sa budeme venovať geometrii. Preto si zjednodušene ale dosťatočne presne definujeme niektoré základné pojmy.

Prvým pojmom je bod. Jednoducho povedané je to jedno veľmi maličké (presnejšie povedané nekonečne malé) miesto v rovine alebo priestore. Body zvyčajne označujeme veľkými tlačenými písmenami napríklad A, B, C... Priamka je množina bodov, ktoré sú usporiadane na rovnej čiare idúcej od nekonečna z jednej strany do nekonečna na strane druhej. Priamky označujeme malými písmenami. Úsečka, ako už samotný názov naznačuje, je úsek priamky. Predstavte si priamku na ktorej vyberieme dva rôzne ľuboľovné body, napríklad A, B. Vzdialenosť bodov (zmeraná napríklad pravítkom) sa nazýva dĺžka úsečky. Úsečky označujeme niekedy koncovými bodmi, napríklad úsečku medzi bodmi A a B označujeme ako  $\overline{AB}$ , ale niekedy (napríklad pri označovaní strán mnohoholníkov) aj malými písmenami a, b, c... podobne ako priamky. Ak priamku rozdelíme bodom vznikne nám polpriamka. Tú označujeme dvoma bodmi napr.  $\overrightarrow{AB}$ . Značí to, že bod A je počiatocným bodom polpriamky, ktorá prechádza bodom B. Teraz si predstavte dve priamky – p, q – ktoré sa navzájom pretínajú. Ich prienik, teda bod, ktorý je spoločný aj pre priamku p aj priamku q, nazveme A. Samozrejme, môžeme nakresliť priamky p a q rôznym spôsobom.

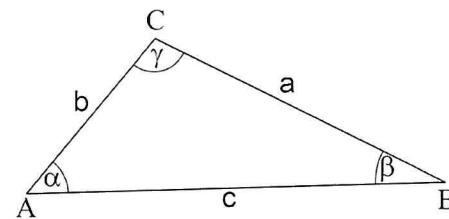


(obr. 1, obr. 2) Pretínajúce sa priamky p a q.  
(obr. 2) Polpriamky  $\overrightarrow{AB}$  a  $\overrightarrow{AC}$  zvierajúce uhol  $\alpha$ .  
(obr. 3) Polpriamky  $\overrightarrow{AB}$  a  $\overrightarrow{AC}$  zvierajúce pravý uhol (je označený pri vrchole A)

Spôsob ako sa priamky pretínajú sa nazýva uhol. Aby sa nám neplietli priamky od bodu A na obidva smery budeme používať iba polpriamky. Teraz môžeme ešte ľahšie pochopíť, čo pojem uhol znamená. Je to odklon jednej polpriamky od druhej. Ak obidve polpriamky nakreslíme na seba, teda jedným smerom hovoríme, že ich uhol je  $0^\circ$  (čítame nula stup-

nov). Ak budeme odkládať jednu polpriamku od druhej jedným alebo druhým smerom, bude sa ich uhol zväčšovať. Uhol bude rást až dosiahne  $180^\circ$ , nazývame ho priamy uhol. Je to v tom okamihu, keď polpriamka  $\overrightarrow{AB}$  a polpriamka  $\overrightarrow{AC}$  ležia presne opätove spolu tvoria priamku. Ďalej môžeme uhol zväčšovať až po  $360^\circ$ . Je to vtedy, ak otočenie polpriamky  $\overrightarrow{AB}$  oproti polpriamke  $\overrightarrow{AC}$  je také veľké, že polpriamky sa opäť prekryjú rovnakým smerom (uhol  $0^\circ$ ). Úplné otočenie dookola má  $360^\circ$ , tento uhol nazývame plný. Ešte veľmi dôležitou hodnotou uha je uhol pravý. Je to uhol, ktorého veľkosť je polovicou priameho uha ( $180^\circ/2$ ), teda  $90^\circ$ . Uhly medzi  $0^\circ$  a  $90^\circ$  nazývame ostré. Tie medzi  $90^\circ$  a  $180^\circ$  tupé. Uhly menšie ako priamy uhol súhrne označujeme ako konvexné a uhly väčšie ako konkávne. Uhly označujeme zvyčajne malými písmenami gréckej abecedy  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ ,  $\delta$ ...

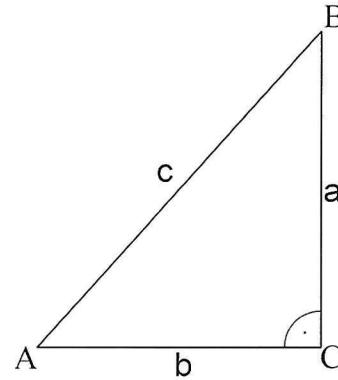
Narysujme si tri priamky, ktoré sa pretínajú v troch rôznych bodech A, B, C. Body A, B, C nazývame aj vrcholy trojuholníka. Útvor ohrazený úsečkami  $\overline{AB}$ ,  $\overline{BC}$  a  $\overline{CA}$  nám tvorí trojuholník. Samotný názov nám hovorí, že má tri uhly napr.  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ . Uhol  $\alpha$  má svoj vrchol pri bode A. Uhol  $\beta$  pri bode B a podobne  $\gamma$  má vrchol pri bode C. Trojuholník označujeme názvom vrcholov ABC. Úsečky  $\overline{AB}$ ,  $\overline{BC}$ ,  $\overline{CA}$  nazývame stranami trojuholníka, a zvyčajne ich označujeme rovnakým názvom, ale malým písmenom, ako má bod protiľahlý.



Pre naše výpočty sú veľmi dôležité trojuholníky, ktoré majú jeden uhol pravý. Je to preto, že učenec Pythagoras (žil okolo roku 500 pred našim letopočtom) a zistil, že v pravouhlom trojuholníku platí rovnosť  $a^2 + b^2 = c^2$ , pričom strana c je vždy oproti pravému uhlu. Toto pravidlo nazývame Pythagorova veta. Najdlhšia strana (c) pravouhlého trojuholníka sa nazýva prepona a zvyšné (a, b) sa nazývajú odvesny. Pythagorova veta nám umožňuje vykonať množstvo výpočtov. Napríklad si môžeme určiť, ako ďaleko je planéta Mars od Zeme v okamihu, keď je v takzanej kvadratúre so Slnkom, čo znamená, že uhol (elongácia) medzi Slnkom, Zemou a Marsom je  $90^\circ$ . Uhol, ktorý vzhľadom na pozorovateľa zo Zeme vyjadruje uhlovú vzdialenosť nejakej planéty od Slnka, voláme elongácia.

Označme Slnko ako A, Mars ako B a Zem ako C. Dostaneme trojuholník ABC so stranami a, b, c. Stranu b poznáme – je to vzdialenosť Slnko-Zem teda 1 au. Vzdialenosť c je vzdialenosť Slnko-Mars. Jej hodnotu poznáme vďaka znalosti obežnej doby Marsu, 3. Keplerovoho zákona a faktu, že excentricity dráh planét sú také malé, že pre naše výpočty môžeme

pokladať dráhy za kruhové s polomerom rovným veľkej polosi.



Jedinou neznámou je vzdialosť Zem-Mars teda strana a. Vďaka Pytagorovej vete môžeme napísť  $a^2 + b^2 = c^2$ .

Po dosadení hodnôt  $c = 1,5$  a  $b = 1$  dostávame  $a^2 + 1^2 = 1,5^2$ . Vypočítajme  $a^2 + 1 = 2,25$ .

Urobíme ekvivalentné úpravy odčítania a odmocnenia na oboch stranach rovnice (pozri 1. diel).

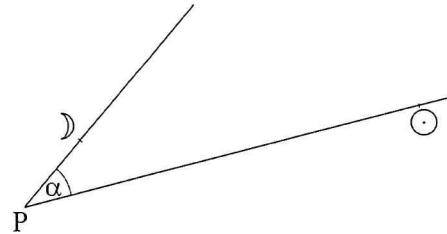
$$\begin{aligned} a^2 + 1 - 1 &= 2,25 - 1 \\ a^2 &= 1,25 \\ a &= \sqrt{1,25} \\ a &= 1,118 \text{ au} \end{aligned}$$

Vzdialosť Zeme a Marsu, ak je Mars v kvadratúre ( $90^\circ$ ) so Slnkom, je 1,118 astronomickej jednotky (au).

Na doplnenie pomenujeme niektoré dôležité polohy telies na oblohe, takzvané aspekty (konštelácie):

Názov aspektu	Uhol	Symbol
Konjunkcia	$0^\circ$	$\odot$
Kvadratúra	$90^\circ$	$\square$
Opozícia	$180^\circ$	$\varnothing$

Ked' raz hovoríme o uhloch medzi dvoma polpriamkami a inokedy medzi dvoma telesami (bodmi) na oblohe, hovoríme stále o tom istom. Tretím bodom (vrcholom uha) je sám pozorovateľ (zvyčajne na Zemi). Predstavte si na oblohe napríklad Slnko a Mesiac, potom sa uhlom medzi dvoma telesami na oblohe myslí uhol dvoch polpriamok a to polpriamky Pozorovateľ-1. teleso a polpriamky Pozorovateľ-2. teleso. V našom prípade Pozorovateľ-Mesiac ( $\overrightarrow{PM}$ ) a Pozorovateľ-Slnko ( $\overrightarrow{PS}$ ).



Vzdialosti bodov na obrázku nie sú v mierke.

To, ako sa pracuje s uhlami menšími ako  $1^\circ$  a ako použiť tzv. živý uhlomer, si vysvetlime nabudúce.

Eduard Koči, SÚH Hurbanovo

