

XXVIII. valné shromáždění Mezinárodní astronomické unie

Michal Krížek, Praha

1. Úvod

Je již dlouholetou tradicí, že valná shromáždění Mezinárodní astronomické unie (IAU, International Astronomical Union) se konají pravidelně každé 3 roky. V roce 2012 se shromáždění uskutečnilo od 20. do 31. srpna v Národním kongresovém centru CNCC v Pekingu, hned vedle olympijského stadionu a Astronomického ústavu Čínské akademie věd. Postupem času, jak rozvoj astronomie nabírá na rychlosti, se zvětšuje i rozsah těchto akcí. XXVIII. valného shromáždění IAU se zúčastnilo kolem 3 000 vědců z celého světa.

Valné shromáždění oficiálně zahájil Jinping Xi, budoucí prezident Čínské lidové republiky. Ve svém projevu zmínil, že Peking usiloval o konání této akce, aby důstojně oslavil 90. výročí založení¹ Čínské astronomické společnosti dne 30. října 1922 právě v Pekingu. Dále připomněl úspěchy starověké i novověké čínské astronomie a zdůraznil nezbytnou podporu základnímu výzkumu.

Poté objevitelka pulsarů Jocelyn Burnellová roz. Bellová pronesla přednášku: *Astronomy – amazing subject, amazing Universe*. V úvodu připomněla, co všechno astronomové neznali před 100 lety (stáří vesmíru, exoplanety, neutronové hvězdy, galaxie, kvasary, černé díry apod.) a předpověděla, že za 100 let budou astronomové umět vysvětlit podstatu temné hmoty a temné energie a objeví ve vzdáleném vesmíru život, i když ne nutně inteligentní.²

Během valného shromáždění se uskutečnily 4 zvané plenární přednášky, 8 symposií IAU, 18 speciálních sekcí, 7 společných diskusí, 2 zasedání IAU a celá řada doprovodných akcí. Hlasováním členů IAU byla zavedena nová definice astronomické jednotky pomocí vztahu³

$$1 \text{ au} = 149\,597\,870\,700 \text{ m},$$

z níž se odvozuje i velikost jednotky parsek (pc). Nová jednotka se označuje malými písmeny au, aby se odlišila od původní jednotky AU, která nebyla fixní. Gaussova gravitační konstanta $k = 0.01720209895$, jež předtím sloužila právě k definici AU pomocí 3. Keplerova zákona, byla ze seznamu astronomických konstant vyřazena. Nová astronomická jednotka i parsek nyní patří do vedlejších jednotek soustavy SI.

¹Pro srovnání uvedme, že Česká astronomická společnost byla založena během 1. světové války 8. prosince 1917.

²J. Burnellová mj. zmínila názvy Mléčné dráhy v různých jazycích, např. Řeka ohně (starohebrejsky), Zimní cesta (švédsky), Stříbrná řeka (korejsky), Cesta bílého slona (thajsky).

³Původně udávaná hodnota $1 \text{ AU} = 149\,597\,870\,691 \text{ m}$ byla tak zvětšena o 9 metrů.



Obr. 1. Galaxie NGC 5054 v souhvězdí Panny má 3 spirální ramena (v projekci je velikost úhlů mezi ramena jiná než ve skutečnosti).

2. Plenární přednášky

V úvodní přehledové přednášce *A zoo of galaxies* provedla Karen Mastersová přítomné prvním katalogem ručně kreslených tvarů galaxií od Williama Herschela a také katalogem mlhovin Charlese Messiera. Připomněla klasické Hubbleovo třídění galaxií na eliptické, čočkovité, spirální bez příčky, spirální s příčkou a nepravidelné. Malé galaxie (jako např. Magellanova mračna) jsou téměř všechny nepravidelné, zatímco silný gravitační potenciál obřích galaxií má tendenci vyrovnávat jakoukoliv excentricitu a vytvářet tak symetrické struktury. Zatím není známo, proč tomu tak je.⁴ Převážná většina velkých rotujících galaxií má dvě spirální ramena a zhruba vykazuje středovou symetrii. Výjimečně však existují galaxie se třemi rameny (viz obr. 1) i čtyřmi a více spirálními rameny. Čím hlouběji se do vesmíru díváme, tím jednodušší tvary galaxií pozorujeme, tj. čím blíže současnosti, tím složitější struktury se utvářejí. Galaxie mohou být slupkovité, prstencové, vločkovité apod. Podrobnosti jsou uvedeny na adresách www.galaxyzoo.org a www.zooniverse.org.

Ve druhé plenární přednášce *Supernovae, the accelerating cosmos, and dark energy* hovořil nositel Nobelovy ceny za fyziku za rok 2011 Brian Schmidt o okolnostech, které vedly k objevu zrychlujícího se rozpínání vesmíru (podrobnosti viz [9]). Na možnost měření vzdáleností pomocí supernov typu Ia upozorňoval už Charles Thomas Kowal [8] v roce 1968. Tyto supernovy vznikly patrně výbuchem bílých trpaslíků o průměrné

⁴Gravitace na velkých vzdálenostech díky konečné rychlosti svého šíření se chová jinak, než popisuje Newtonova teorie gravitace, na niž jsme zvyklí na krátkých časových škálách ve Sluneční soustavě. Např. průměr naší Galaxie je téměř 10^{10} au, a tak extrapolovat Newtonovu teorii gravitace na galaktická či dokonce kosmologická měřítka není zcela v pořádku. Je to podobné, jako kdybychom používali zákony kvantové fyziky, které se projevují na škálách $1 \text{ \AA} = 10^{-10} \text{ m}$, na objekty velikosti cca 1 m (např. Schrödingerovu kočku).

hustotě až 10^{11} kg/m³ složených z uhlíku, kyslíku a v centrální oblasti z neutronů. V maximu svítivosti vykazují spektrální čáry křemíku (Si II) a síry (S II), ale žádné čáry vodíku.⁵ Každý sledovaný výsek oblohy, v němž Schmidt a jeho kolegové hledali supernovy typu Ia, obsahoval kolem 5 000 galaxií. Tak objevili zejména hodně vzdálené supernovy s červeným posuvem $z \geq 0.2$. Čím je totiž větší z , tím více galaxií je v uvažovaném výseku, protože jejich počet roste přibližně se čtvercem vzdálenosti (pro hodně velká z to tak ale není). Pro malá z tak žádné supernovy neobjevili. Brian Schmidt⁶ představil řadu kandidátů na temnou energii, která způsobuje zrychlující se rozpínání vesmíru (viz též [13, s. 212]).

Pro určení kosmologických parametrů Schmidt⁷ a jeho kolegové předpokládali, že rozpínání vesmíru je popsáno Friedmannovou diferenciální rovnicí z roku 1922 (viz [9]) pro neznámý škálovací parametr $a = a(t) > 0$,

$$\dot{a}^2 = \frac{8\pi G\rho a^2}{3} - kc^2 + \frac{\Lambda c^2 a^2}{3}, \quad (1)$$

kde G je gravitační konstanta, $\rho = \rho(t)$ je průměrná hustota látky ve vesmíru v čase t , k/a^2 je idealizovaná prostorová křivost, $k \in \{-1, 0, 1\}$, c je rychlost světla ve vakuu a Λ je kosmologická konstanta (viz [3]). Schmidt se svým kolektivem odvodil, že $\Lambda \approx 1.2 \cdot 10^{-52}$ m⁻². Protože součin $\rho(t)a^3(t)$ je konstantní v čase,⁸ je poslední kvadratický člen v a na pravé straně rovnice (1) dominantní pro velká a .

Rozvineme-li škálovací parametr $a = a(t)$ do Taylorovy řady v čase $t = 0$, který odpovídá současnosti, obdržíme

$$a(t) = a(0) + \dot{a}(0)t + \frac{1}{2}\ddot{a}(0)t^2 + \dots = a(0)(1 + H_0t - \frac{1}{2}q_0H_0^2t^2 + \dots), \quad (2)$$

kde

$$H_0 = H(0) \approx 2.3 \cdot 10^{-18} \text{ s}^{-1} \quad (3)$$

je Hubbleova konstanta (tj. dnešní hodnota Hubbleova parametru $H(t) := \dot{a}/a$) a $q_0 = q(0) \approx -0.6$ je hodnota zpomalovacího parametru $q(t) := -\ddot{a}a/\dot{a}^2$ pro $t = 0$. Odtud je patrné, že se kvadratický člen začíná projevovat až v kosmologických vzdálenostech. I přesto však lineární člen v (2) výrazně dominuje nad členem kvadratickým pro všechna $|t| \leq H_0^{-1}$, protože $|H_0t| \geq \frac{1}{2}|q_0|H_0^2t^2$, jak plyne z (3). Zdůrazněme ale, že oba naměřené parametry H_0 a q_0 z Taylorova rozvoje (2) nikterak nepopisují chování škálovacího parametru $a = a(t)$ po Velkém třesku, ale jen v okolí bodu $t = 0$.

Třetí plenární přednášku *The Herschel view of star formation* pronesl Philippe André o současně největším kosmickém dalekohledu o průměru 3.5 m, který byl do

⁵Supernovy typu Ib mají v maximu svítivosti spektrální čáry helia (He I) a supernovy typu Ic obsahují čáry vápníku (Ca II) a kyslíku (O I).

⁶Na otázku, zda v některém ze svých článků cituje výsledky práce *Accelerating Universe revisited* [17] Beatrice Tinsleyové, odpověděl: *No, since her data were not relevant*. Tinsleyová však odvodila, že pokud by škálovací parametr byl všude konkávní, pak by stáří vesmíru nepřesahovalo 13.6 miliard let (srov. obr. 4 v [9, s. 98]), což neodpovídá pozorováním.

⁷Na otázku, kolik je hodnota Hubbleova parametru pro $z = 1$, odpověděl, že je třeba použít metodu baryonových akustických oscilací (viz např. [5]).

⁸Rovnice (1) je vlastně obyčejná diferenciální rovnice $\dot{a}^2 = A/a + B + Ca^2$ s časově nezávislými konstantními koeficienty $A > 0$, B a $C > 0$. Tak jednoduchou rovnicí popisují kosmologové vývoj vesmíru, v němž látka dominuje nad zářením.



Obr. 2. Orlí mlhovina M16 v souhvězdí Hada. Gravitace má tendenci utvářet z prachových mračen dlouhá vlákna.

vesmíru dopraven v roce 2009 z kosmodromu Kourou ve Francouzské Guyaně. Dalekohled pracuje v infračerveném oboru spektra a je pojmenován po Williamu Herschelovi, který kromě planety Uran objevil právě infračervené záření. Hned první snímky ukázaly, že gravitace má tendenci utvářet dlouhá vlákna (filamenty) v mezihvězdných prachových mračnách, srov. obr. 2, (podobně jako vytváří dlouhá vlákna z mnoha galaxií na velkých prostorových škálách, spirální ramena či příčky galaxií, srov. obr. 3). Je zajímavé, že typický průměr těchto filamentů je kolem 0.1 pc a hustota hmoty je v nich o 3 řády vyšší než v bezprostředním okolí. Jen 15 % mračen vykazuje známky tvorby hvězd, zatímco ve zbývajících 85 % se hvězdy netvoří. Poznamenejme, že ke vzniku hvězd je třeba chladný molekulární vodík H_2 a nikoliv atomární vodík.

Čtvrtou zvanou plenární přednášku *Past, present and future of Chinese astronomy* pronesl Cheng Fang. V úvodu připomněl úspěchy starodávných čínských astronomů, kteří uměli předpovídat zatmění Slunce a Měsíce, věděli o slunečních skvrnách, vyvinuli více než 100 různých astronomických kalendářů, zaznamenávali průlety komet a meteorických rojů a zkonstruovali množství astronomických přístrojů pro přesnější pozorování. Fang dále vyzdvihl, že současná čínská vláda poskytuje 10krát více finančních prostředků na rozvoj astronomie než před deseti lety. V provincii Kuej-čou (angl. Guizhou) se buduje obří radioteleskop o průměru 500 m (viz [11]), který má být v provozu již v roce 2016. V Tibetu v nadmořské výšce přes 5000 m se začne stavět velký optický dalekohled. Buduje se i čínská astronomická observatoř Kunlun v Antarktidě (Dome A) v nadmořské výšce 4093 m, kde teplota klesá až na -83°C . V horách Ťan-šan na západě Číny v roce 2015 uvedou do provozu radioteleskop složený z 10287 antén na ploše $4 \times 6 \text{ km}^2$, které budou pracovat v rozsahu $50 \div 200 \text{ MHz}$, což umožňuje detekovat i známou vodíkovou HI čáru o vlnové délce 21 cm ve velmi vzdáleném vesmíru $z > 7$. Na závěr Fang připomněl touhu Číňanů vyslat lidskou posádku na Měsíc. Na rok 2013 se tam plánuje výsadek robotického vozítka.

3. Horké novinky

Ve speciální sekci SpS18 *Hot Topics* probral Michael McDonald vlastnosti jedné ze tří zatím největších známých kup galaxií SPT-CLJ 2344-4243 (Phoenix), která se nachází ve vzdálenosti $z = 0.6$. Má úctyhodnou hmotnost $2.5 \cdot 10^{15} M_{\odot}$, kde $M_{\odot} = 1.989 \cdot 10^{30}$ kg je hmotnost Slunce. V centrální galaxii probíhá tvorba hvězd rychlostí $740 M_{\odot}$ za rok (viz [12]).

V následujícím příspěvku Ran Wangová představila seznam více než 50 kvasarů s červeným posuvem $z \geq 6$ (např. J1148+5251, J1319+0950). Většina z nich byla nalezena pomocí soustavy submilimetrových interferometrů ALMA, která sice ještě není dokončena, ale již nyní pracuje s úctyhodnou přesností $0.6''$, což odpovídá 3 kpc ve vzdálenosti $z = 6$ pro současně přijímané hodnoty kosmologických parametrů. Největší zářivý výkon $1.8 \cdot 10^{13} L_{\odot}$ (kde $L_{\odot} = 3.846 \cdot 10^{26}$ W je luminosita Slunce) vykazuje kvasar J2310+1855, což je o dva řády více, než má běžná galaxie.

Dan Stark se ve své přednášce soustředil na vlastnosti nejranějších galaxií. Dnes známe již 2 galaxie s červeným posuvem $z \sim 10$ (srov. [1]). Marie Martigová zjistila, že téměř žádné galaxie nemají příčku pro $z > 1$, zatímco téměř 80 % spirálních galaxií pro $z \approx 0$ příčku má (srov. obr. 3). Navíc jejich výduť pozvolna narůstá.



Obr. 3. Spirální galaxie NGC 1300 s příčkou

Řada zajímavostí zazněla i ve zvaných přehledových přednáškách jednotlivých symposií. Scott Ransom představil neutronové hvězdy⁹ jako kulové objekty o hmotnosti $1.2 \div 2 M_{\odot}$, které rotují s frekvencí až 716 Hz. Zdá se, že jejich střední hustota může být až dvakrát vyšší, než je hustota $8 \cdot 10^{17}$ kg/m³ samotného neutronu o průměru 1.6 fm a hmotnosti $1.672 \cdot 10^{-27}$ kg. Naštěstí je jaderná síla na krátkých vzdálenostech odpuzivá, což zabraňuje gravitačnímu kolapsu. Neutronové hvězdy mají v centrální oblasti patrně kvarkové-gluonové plazma. Jejich povrchová teplota je kolem 10^6 K a luminosita 10 000krát větší než Slunce a jejich rotační perioda se změní na 7. platném desetinném místě až za cca 1000 let. Byl také objeven trojnásobný systém pulsarů PSR J0337+1715.

⁹Hmotnost tedy mohou mít menší, než je známá dolní Chandrasekharova mez nestability $1.44 M_{\odot}$, jež však byla odvozena na základě přibližných astrofyzikálních modelů.

Nanda Reaová se zabývala speciálními typy neutronových hvězd – magnetary, jejichž magnetické pole má indukci $10^{10} \div 10^{11}$ T, zatímco běžné pulsary mají 10^8 T. Pro srovnání uvedme, že magnetické pole Země v oblasti severního pólu má indukci 0.000 06 T a supravodivé magnety na urychlovači LHC v CERNu mají 8 T. Magnetary jsou velice mladé objekty, které patrně vznikly kolapsem hvězd se silnými magnetickými poli (viz přehledový článek [14]).

Michael Kramer, který nedávno navštívil Prahu (viz PMFA 57 (2) (2012), 174), se zaměřil na studium relativistických efektů binárního pulsaru PSR J1738+0333, jehož složky obíhají po výstředných drahách s excentricitou $e = 0.6$. Při největším přiblížení jdou jejich hodiny (dané vysílanými pulsy) pomaleji, protože jsou v silnějším gravitačním poli. Naopak při největší vzdálenosti obou složek jdou hodiny rychleji. Dnes již známe přes 140 binárních pulsarů. Jejich dráhy však nelze popsat standardními šesti Keplerovými parametry, protože dochází k rychlému stáčení periastra, které u zmíněného binárního pulsaru oběhne plný úhel 360° za 17 let. Dochází i ke zkracování oběžné periody v důsledku vyzařování gravitačních vln, k Shapirovu jevu (snížení rychlosti světla v gravitačním poli) apod.

John Kormendy představil základní princip metody měření hmotností černých veleděr. Pomocí Dopplerova jevu se měří radiální složky rychlostí hvězd v blízkosti středu uvažované galaxie, z nichž se pak odhadne hmotnost centrální černé díry. Podle předkládaných dynamických modelů má černá veledíra uprostřed velké sousední galaxie M31 Schwarzschildův poloměr menší než 0.2 pc a hmotnost $M_\bullet \approx 1.4 \cdot 10^8 M_\odot$. Asi máme velké štěstí, že černá díra uprostřed naší Galaxie má hmotnost jen $M_\bullet \approx 3.7 \cdot 10^6 M_\odot$ a její vliv na Sluneční soustavu je tedy zanedbatelný. Galaxie M87 obsahuje dosud největší známou¹⁰ centrální černou veledíru o hmotnosti $M_\bullet \approx 7 \cdot 10^9 M_\odot$, jež produkuje ohromné výtrysky hmoty dobře pozorovatelné v rádiovém oboru spektra na frekvenci 90 MHz (viz obr. 4). Naproti tomu u další sousední galaxie M33 černá díra zatím detekována nebyla. Pokud existuje, bude její hmotnost patrně menší než $1500 M_\odot$. Ukazuje se, že čím má spirální galaxie větší výduť, tím je větší její centrální černá díra. Centrální černá veledíra byla také objevena již v 36 eliptických galaxiích. Odhaduje se, že černé díry uprostřed kulových hvězdokup mají hmotnosti $10^3 \div 10^4 M_\odot$, ale není to ještě definitivně potvrzeno.

Rychard Bouwens objevil, že samotné galaxie expandují zejména v intervalu $z \sim 4$ až $z \sim 2$. Přitom rychlost tvorby nových hvězd je úměrná $(1+z)^{1.9 \pm 0.1}$. Nocho Trujillo zjistil, že relativní poloměr galaxie $R(z)/R(0)$ klesá zhruba lineárně s rostoucím $z \nearrow 1$, tj. poloměr roste s časem (viz [18], [19]). Přitom si kladl otázku, jaký mechanismus způsobuje, že rozměry galaxií rostou. Navíc hustota některých galaxií byla pro $z \geq 1$ srovnatelná s hustotou dnešních kulových hvězdokup (viz [2]). V našem okolí je pouze 0.03 % masivních kompaktních galaxií. Jde o velice mladé galaxie, jež jsou naprosto výjimečné. Jejich vznik a existence je velkou záhadou. Všechny výše uvedené argumenty svědčí pro to, že samotné galaxie byly kdysi hustší¹¹ [4], [6], [16], [20].

Claudia Maratsoňová uvedla, že nejstarší hvězdy v kulových hvězdokupách jsou staré 13.6 miliard let nezávisle na kosmologických modelech. Současné kosmologické modely však uvádějí, že stáří vesmíru je 13.75 miliard let (na 4 platné cifry!). Alespoň

¹⁰Soudí se, že eliptická galaxie NGC 4889 v souhvězdí Vlasy Bereniky by mohla mít ještě větší černou díru o hmotnosti $10^{10} M_\odot$.

¹¹Jejich expanzi lze patrně vysvětlit všudypřítomnou temnou energií, viz [10].



Obr. 4. Galaxie M87 obsahuje ve svém středu největší známou černou díru o hmotnosti 7 miliard hmotností Slunce. Všimněte si značné nesymetrie výtrysků z okolí této veledíry. Jejich délka je cca 5 tisíc světelných let. (Foto družice Chandra)

jeden z těchto údajů tedy patrně není v pořádku, protože první galaxie vznikly cca 450 milionů let po Velkém třesku, tj. pro $z \sim 10$. Oblaka molekulárního vodíku totiž musela nejprve zchladnout na teplotu cca 10 K, která je zapotřebí k tvorbě hvězd.

Antonio P. Milone a další astronomové objevili, že kulové hvězdokupy se skládají ze tří populací hvězd, které se liší poměry prvků H/Fe, He/Fe, N/Fe, O/Fe, Na/Fe, ... Pomocí různých infračervených a ultrafialových filtrů se např. zjišťovalo relativní zastoupení helia Y . Nejpočetnější skupina hvězd (asi 62 %) obsahuje většinou prvotní helium a platí pro ni $Y = 0.25$. Druhá skupina hvězd (asi 24 %) má už helia více, $Y = 0.32$, a třetí skupina (asi 14 %) je na helium nejbohatší, $Y = 0.35$. Tyto hodnoty vykazují takřka všechny kulové hvězdokupy, což je další velká záhada.

Jorick S. Vink našel v blízkém okolí naší Galaxie hvězdy, jejichž hmotnost je až $300 M_{\odot}$ a jež září 10^7 krát více než naše Slunce. Původně se astronomové domnívali, že obří hvězdy s hmotností větší než $100 M_{\odot}$ nemohou existovat, protože by je vnitřní tlak jejich vlastního záření roztrhal. Vesmír nás tedy stále překvapuje. Pokud se podaří nezávislými metodami potvrdit výše uvedené hmotnosti, bude třeba revidovat soudobé modely tvorby supermasivních hvězd.

Wendy Freemanová představila ve své přehledové přednášce 21 nejužívanějších metod určování vzdáleností ve vesmíru, které jsou založeny na měření paralaxy, změn svítivosti cefeid, krátkoperiodických cefeid (RR Lyrae), dlouhoperiodických proměnných hvězd zvaných miridy, zákrytových dvojhvězd, nárůstu svítivosti supernov, Tullyově-Fisherově vztahu¹² apod.

¹²Čím je absolutní svítivost spirální galaxie větší, tím rychleji rotuje.

Stefan Gillessen použil speciální statistické metody a velice mladé hvězdy S1, S2, . . . , které obíhají černou díru Sgr A* ve středu naší Galaxie, k určení její vzdálenosti na 8.5 kpc.

Zvláštní pozornost byla věnována objektům NEO (Near-Earth Object). To jsou tělesa, jejichž perihelium nepřesahuje 1.3 au. Odhaduje se, že cca 1100 takových objektů má průměr přes 1 km a alespoň milion jich má průměr přes 40 m. Protože v blízké budoucnosti mohou tato tělesa potenciálně ohrozit Zemi, je nutno jejich dráhy počítat s vysokou přesností. Andrea Milani představil modifikovanou Rungeovu-Kuttovu metodu 15. řádu přesnosti,¹³ která speciálně ošetřuje velice blízká přiblížení dvou těles, kdy dochází k velkým zaokrouhlovacím chybám (viz PMFA 56 (4) (2011), 295). Např. planetka č. 99942 Apophis o průměru 270 metrů se přiblíží k Zemi v pátek 13. dubna 2029 na vzdálenost pouhých 38 353 km od středu Země. Zatím nelze spolehlivě odhadnout nejmenší vzdálenost Apophisu při jeho dalším přiblížení k Zemi v roce 2036.

Bylo představeno 6 nezávislých metod určování vzdálenosti otevřené hvězdokupy M 45 Plejády (Kuřátka), které všechny dávají hodnotu kolem 133 pc, zatímco družice Hipparcos naměřila vzdálenost 120 pc. Petr Hadrava představil vylepšenou metodu určování vzdálenosti Magellanových mračen pomocí fotometrických a spektroskopických měření těsných dvojhvězd, která umožňuje zpřesnit současnou hodnotu Hubbleovy konstanty. Sherry Suyu podrobně popsala novou metodu určování Hubbleovy konstanty pomocí gravitačního čočkování vzdálených galaxií (viz [15]). V průběhu konference bylo prezentováno několik desítek odhadů Hubbleovy konstanty, které se většinou pohybovaly v intervalu $60 \div 80 \text{ km s}^{-1} \text{ Mpc}^{-1}$.

V oblasti kosmografie se usilovně pracuje na 3D atlasu rozložení galaxií v našem okolí. Daniel Pomarede představil *The Cosmic Flow Project*, kde se kromě souřadnic jednotlivých galaxií navíc uchovávají i hodnoty jejich rychlostí. Radiální složka rychlosti galaxií se zjišťuje pomocí Dopplerova efektu. Protože tangenciální složku není možno změřit, získává se pomocným výpočtem z gradientu známé hustoty rozložení galaxií. Tímto způsobem Pomarede vytvořil rychlostní pole cca 30 000 galaxií v našem okolí a promítl film, jak se galaxie pohybují. Ukazuje se, že pole má několik atraktorů i repelentů. Největší dosud známý atraktor je ve shluku galaxií v souhvězdí Kentaura. K němu směřuje i naše Galaxie. Sestavováním 3D atlasů hodně vzdálených galaktických kup a nadkup se zabývá *kosmopaleontologie*.

4. Různé

Gruberovu cenu za kosmologii spojenou s odměnou 500 000 USD získal v roce 2012 Charles Bennett, vedoucí projektu WMAP (Wilkinson Microwave Anisotropy Probe), za detailní změření anizotropie reliktního záření odpovídajícího rudému posuvu $z = 1091$, tj. zhruba 378 000 let po velkém třesku [7]. Bennett odhaduje, že v té době neexistovala téměř žádná temná energie, ale bylo 63 % temné hmoty, 15 % fotonů, 10 % neutrin a zbylých 12 % tvořily atomy [22].

V období 2014–2021 se má na sopce Mauna Kea na Havajských ostrovech postavit dalekohled o průměru 30 m. Předpokládá se, že bude vytvářet 10krát detailnější snímky než Hubbleův kosmický teleskop. Jedná se o společné dílo univerzit USA, Kanady, Japonska, Indie a Číny.

¹³Lokální chyba aproximace se chová jako $O(h^{15})$, kde $h \ll 1$ je délka integračního kroku.

Během tzv. „lunch break lectures“ seznámil Xiaochun Sun přítomné se starodávnou astronomií za Velkou čínskou zdí. Podrobně popsal půlkruhovou kamennou astronomickou observatoř Taosi site¹⁴ v provincii Šan-si (angl. Shanxi) z roku 2100 př. n. l. Bylo zde nalezeno železné ozubené kolečko s 29 zubů (což zhruba odpovídá synodickému oběhu Měsíce kolem Země). Dále připomněl staročínské objevy polárních září, vodních hodin (1000 př. n. l.) a hlavně výbuch supernovy (která vytvořila známou Krabí mlhovinu) z roku 1054. Na závěr si položil otázku, proč staří čínští astronomové neobjevili Keplerovy zákony, když znali klíčky planet a měli podrobné tabulky poloh planet již od 7. století n. l., tj. již tisíc let před Keplerem! Sun se domnívá, že staročínští astronomové se až příliš soustřeďovali na předpovědi zatmění Slunce a Měsíce, což bylo spojováno s katastrofami, než na vysvětlení pohybu planet.¹⁵

Družice Kepler nalezla exoplanetu Kepler-20e, která je dokonce menší než Země. Jiná exoplaneta Kepler-22b má zase průměrnou teplotu 262 K blízkou bodu mrazu. Ukazuje se, že nejvíce známých exoplanet má hmotnost mezi hmotnostmi Země a Neptunu. Tzv. horcí Jupiteri jsou tedy mezi exoplanetami spíše výjimkou. Jejich existence byla odhalena vlastně výběrovým efektem zvolené metody [21], neboť jsou velice hmotní a obíhají blízko své mateřské hvězdy.

V roce 2006 byly vypuštěny dvě družice STEREO A a B. V současnosti jsou poblíž zemské dráhy posunuty o cca $\pm 120^\circ$, ale jejich poloha vzhledem k Zemi se velice pozvolna mění. Společně s pozemskými přístroji obě družice umožňují sledovat sluneční protuberance stereoskopicky. Máme také dobrý přehled o slunečních skvrnách na odvrácené straně Slunce. Protože se Slunce otočí kolem své osy jednou za 25.5 dní, můžeme se závčas připravit na případnou zvýšenou sluneční aktivitu, což předtím nebylo možné.

Družice DAWN kroužila kolem planety Vesta (viz obr. 5) v období 2011–2012 a v únoru 2015 by měla doletět k Ceresu. Jiná družice Rosetta by se v roce 2014 měla přiblížit ke Churyumově-Gerasimenkově kometě. Výsadkový modul bude na povrchu komety sledovat procesy probíhající, když se kometa bude blížit ke Slunci.

V průběhu sympozií IAU byla prezentována řada různých simulací vývoje galaxií vesměs založených na newtonovském problému N těles, která na sebe vzájemně gravitačně působí. Jejich autoři bohužel neprováděli žádné odhady chyby modelu či diskretizační chyby a soustředili se hlavně na estetický dojem. Jak již bylo řečeno, gravitace se na galaktických měřítkách projevuje zcela jinak než ve Sluneční soustavě. Kdybychom např. sestavili zmenšený model spirální galaxie s příčkou z obr. 3 jen o průměru 1 au, kde by hvězdy byly nahrazeny asteroidy, pak by takový objekt nerotoval jako galaxie pro žádné počáteční podmínky. Ani podobný model eliptické galaxie by nebyl stabilní.

Carlos Frenk varoval, že bychom neměli přeceňovat numerické simulace a vykládat si je způsobem, který se nám hodí. Posluchačům kladl na srdce: Don't overinterpret

¹⁴Taosi site hodně připomíná britský 5 000 let starý Stonehenge.

¹⁵Důvody byly i jiné. Např. Číňané neměli dobrý geometrický model fungování Sluneční soustavy a jejich měření poloh planet byla o řád méně přesná než měření Tychona Brahe pomocí otočného kvadrantu s transverzálkami. Je nutno též vzít v úvahu, že zde velkou roli jistě sehrála Keplerova genialita. K odhalení prvních dvou zákonů Keplerovi pomohla relativně velká excentricita $e \doteq 0.1$ dráhy Marsu. Třetí Keplerův zákon $T^2 = ka^3$ objevil později díky používání Būrgiových tabulek. Všiml si totiž jednoduché závislosti mezi logaritmy $2 \log T = 3 \log a + \log k$ naměřených hodnot periody T a délky hlavní poloosy a .



Obr. 5. Planetka Vesta má v rovníkové oblasti stovky km dlouhé rovné rýhy, jejichž vznik zatím není uspokojivě vysvětlen (podobné rýhy mají i některé měsíce ve Sluneční soustavě). (Foto družice DAWN)

simulations!. Skoro vždy lze totiž zvolit různá vstupní data tak, abychom dostali právě to, co si přejeme.

Účastníci valného shromáždění měli možnost si každého dne přečíst sjezdové noviny *Inquiries of Heaven*. Název si vypůjčily z knihy básní od Yuana Qu, který žil před 2300 lety.

5. Závěr

Je potěšitelné, že prof. Jan Palouš z Astronomického ústavu AV ČR bude pokračovat ve funkci viceprezidenta IAU v dalším tříletém období. Paní ing. Jana Tichá z Hvězdárny a planetária v Českých Budějovicích bude i nadále předsedkyní komise IAU pro nomenklaturu malých těles Sluneční soustavy.

Příští XXIX. valné shromáždění IAU bude organizovat Americká astronomická společnost (www.aas.org) v Honolulu na Havajských ostrovech ve dnech 3.–14. srpna 2015 (srov. PMFA 54 (3) (2009), 256). Tehdy snad již budeme mít detailní snímky Pluta a jeho alespoň pěti měsíců z americké sondy New Horizons, která se k němu přiblíží 14. července 2015. Bylo dohodnuto, že XXX. valné shromáždění v roce 2018 bude hostit pro nás nedaleká Vídeň.

Poděkování. Autor děkuje RNDr. J. Grygarovi, CSc., doc. RNDr. A. Mészárosovi, DrSc., a RNDr. Vojtechu Rušinovi, DrSc., za cenné připomínky. Práce byla podpořena výzkumným záměrem RVO 67985840.

L i t e r a t u r a

- [1] BOUWENS, R. J., et al.: *A candidate redshift $z \approx 10$ galaxy and rapid changes in that population at an age of 500 Myr.* Nature 469 (2011), 504–507.
- [2] BUITRAGO, F., et al.: *Shaping massive galaxies: their morphology and kinematics at $z = 1-3$.* In: Highlights of Spanish Astrophysics VI, Proc. of the IX Sci. Meeting of the Spanish Astronom. Soc., Madrid (ed. M. R. Zapatero et al.), 2010, 154–160.
- [3] CARROLL, S. M., PRESS, W. H., TURNER, E. L.: *The cosmological constant.* Annu. Rev. Astron. Astrophys. 30 (1992), 499–542.
- [4] DAMJANOV, I., et al.: *Red nuggets at high redshift: structural evolution of quiescent galaxies over 10 Gyr of cosmic history.* Astrophys. J. Lett. 739 (2011), L44.
- [5] EISENSTEIN, D. J., BENNETT, C. L.: *Cosmic sound waves rule.* Physics Today 61 (2008), 44–50.
- [6] GONZÁLES, V., et al.: *Evolution of galaxy stellar mass functions, mass densities, and mass to light ratios from $z \sim 7$ to $z \sim 4$.* Astrophys. J. Lett. 735 (2011), L34.
- [7] HINSHAW, G., LARSON, D., KOMATSU, E., SPERGEL, D. N., BENNETT, C. L., et al.: *Nine-year Wilkinson microwave anisotropy probe (WMAP) observations: cosmological parameter results.* Preprint 2012, 1–31.
- [8] KOWAL, C. T.: *Absolute magnitudes of supernovae.* Astronom. J. 73 (1968), 1021–1024.
- [9] KRÍŽEK, M.: *Nobelova cena za fyziku v roce 2011 udělena za objev zrychlujícího se rozpínání vesmíru.* PMFA 57 (2012), 89–101.
- [10] KRÍŽEK, M.: *Antigravitace a její projevy, aneb platí zákon zachování energie?* Čs. čas. fyz. 62 (2013), č. 2 a 3.
- [11] KULHÁNEK, P.: *V Číně budují největší radioteleskop světa.* PMFA 55 (2010), 177–183.
- [12] McDONALD, P., et al.: *A massive, cooling-flow-induced starburst in the core of a luminous cluster of galaxies.* Nature 488 (2012), 349–352.
- [13] PANEK, R.: *Čtyřprocentní vesmír. Temná hmota, temná energie a hledání zbytku reality.* Argo/Dokořán, Praha 2012.
- [14] REA, N., ESPOSITO, P.: *Magnetar outbursts: an observational review.* Astrophys. Space Sci. Proc. (2011), 247–273.
- [15] SUYU, S. H., et al.: *Two accurate time-delay distances from strong lensing: Implications for cosmology.* arXiv: 1208.6010v1, Aug. 2012, 1–21.
- [16] SWINBANK, A. M., et al.: *Intense star formation within resolved compact regions in a galaxy at $z = 2.3$.* Nature 464 (2010), 733–736.
- [17] TINSLEY, B.: *Accelerating Universe revisited.* Nature 273 (1978), 208–211.
- [18] TRUJILLO, I., et al.: *Strong size evolution of the most massive galaxies since $z \sim 2$.* Mon. Not. R. Astron. Soc. 382 (2007), 109–120.
- [19] TRUJILLO, I.: *Origin and fate of the most massive galaxies.* In: Highlights of Spanish Astrophysics VI, Proc. of the IX Sci. Meeting of the Spanish Astronom. Soc., Madrid (ed. M. R. Zapatero et al.), 2010, 120–130.
- [20] VAN DE SANDE, J.: *The stellar velocity dispersion of a compact massive galaxy at $z = 1.80$ using X-shooter: Confirmation of the evolution in the mass-size and mass-dispersion relations.* To appear in Astrophys. J. Lett., arXiv: 1104.3860v2, 1 Jun 2011.
- [21] WOLF, M.: *Extrasolární planety.* PMFA 50 (2005), 44–61.
- [22] <http://wmap.gsfc.nasa.gov>