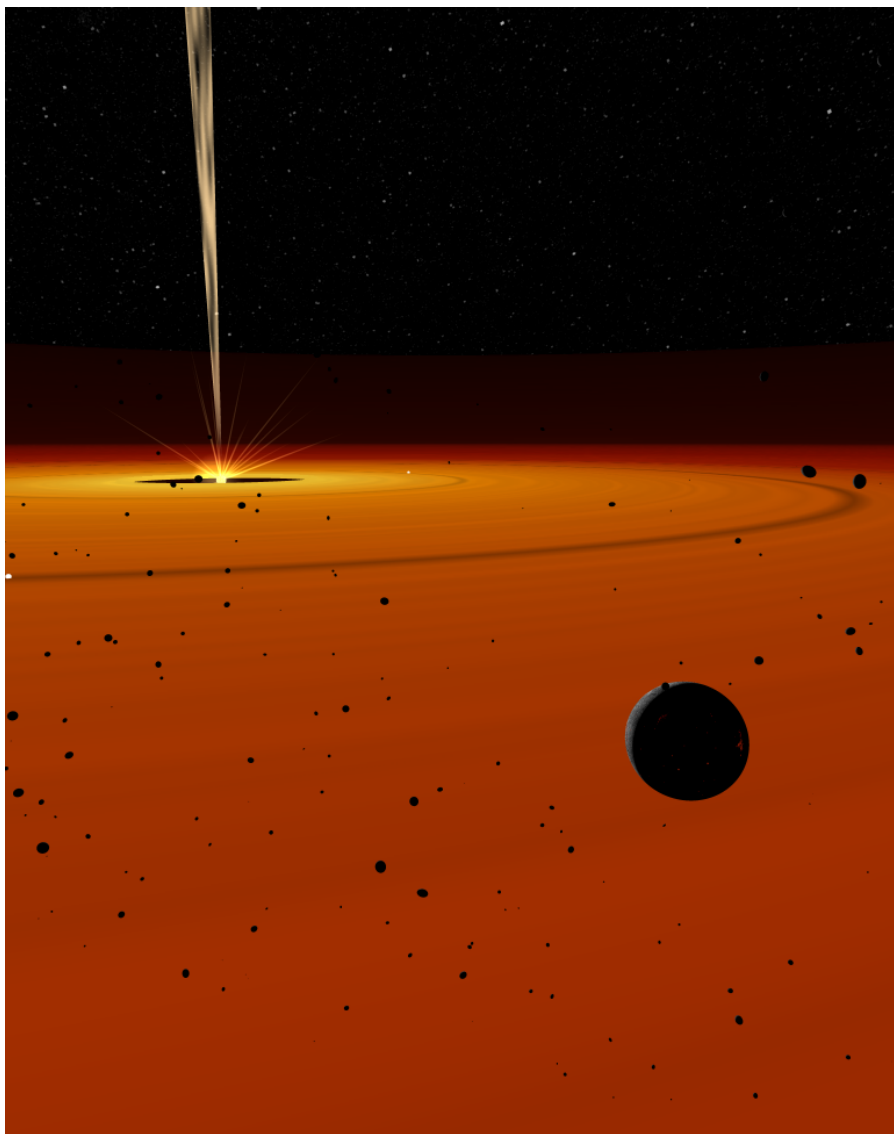


POVĚTROŇ

Královéhradecký astronomický časopis

číslo 4/2004
ročník 12



SLOVO ÚVODEM. Poprázdňinový Povětroň vychází s mírným zpožděním, neboť intenzivněji pracujeme na planetární stezce. Ostatně, 4. prosince uvidíte. . .

V tomto čísle najdete obsáhlejší článek o vzniku planetárních soustav; je jakýmsi „obrazem“ astronomického kurzu hradecké hvězdárny, určeného středoškolákům a vysokoškolákům. Navazuje upozornění na krátký dokumentární film *Sluneční soustava 2003*, který jsme na hvězdárně vyrobili a promítáme jej v rámci výukových programů pro školy i pro veřejnost. Richard Lacko přináší potěšující zprávu o astronomickém kroužku, který je jistě příjemnou a poučnou mimoškolní aktivitou.

V pravidelné rubrice *Přečtli jsme si* je stručně zmíněno dvacet pět pozoruhodných objevů, uveřejněných většinou v zahraničních odborných časopisech. Dva články jsou věnované pozorování — Petr Soukeník píše o právě minulém zatmění Měsíce a Martina Cholasta o budoucím dění na obloze — a další dva akcím, jichž se účastnili členové astronomické společnosti, tj. autogramiádě s Eugenem Cernanem a výstavě astronomických fotografií.

Miroslav Brož

Elektronická (plnobarevná) verze časopisu Povětroň ve formátech PDF, PostScript a HTML je k dispozici na adrese:

<http://www.astrohk.cz/ashk/povetron/>

Povětroň 4/2004; Hradec Králové, 2004.

Vydala: **Astronomická společnost v Hradci Králové** (6. 11. 2004 na 164. setkání ASHK)

ve spolupráci s **Hvězdárnou a planetáriem v Hradci Králové**

vydání 1., 32 stran, náklad 100 ks; dvouměsíčník, MK ČR E 13366, ISSN 1213-659X

Redakce: Martin Cholasta, Josef Kujal, Richard Lacko, Martin Lehký,

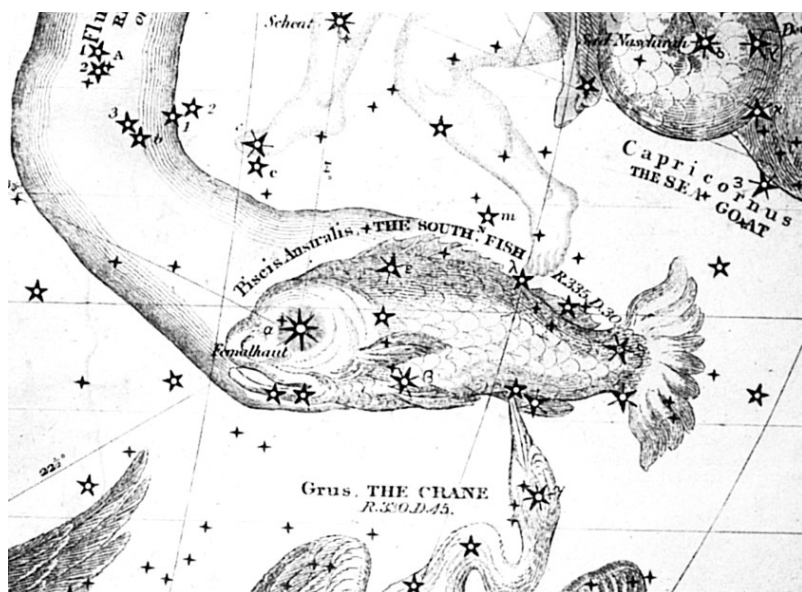
Miroslav Ouhrabka a Miroslav Brož

Předplatné tištěné verze: vyřizuje redakce, cena 35,- Kč za číslo (včetně poštovního)

Adresa: ASHK, Národních mučedníků 256, Hradec Králové 8, 500 08; IČO: 64810828

e-mail: ashk@astrohk.cz, web: <http://www.astrohk.cz/ashk/>

Miroslav Brož: <i>Astronomický kurz (1) — Protoplanetární disk</i>	4
Miroslav Brož: <i>Film Sluneční soustava 2003</i>	16
Petr Soukeník: <i>Sváteční zatmění Měsíce 28. října 2004</i>	18
Martin Cholasta: <i>Děni na obloze v listopadu a prosinci 2004</i>	19
Miroslav Brož, Ondřej Pejcha: <i>Přečetli jsme si</i>	21
Adriana Šmídová: <i>Setkání s posledním mužem na Měsíci</i>	26
Petr Soukeník: <i>Výstava astrofotografií na hvězdárně</i>	27
Richard Lacko: <i>Astronomický kroužek na hvězdárně opět běží</i>	28
<i>Program Hvězdárny a planetária v Hradci Králové</i>	29



Titulní strana: Protoplanetární disk okolo Slunce před 4,56 miliardami let, v oblasti vzniku terestrických planet. Ukázka z filmu *Sluneční soustava 2003*. K článku na str. 16.

Od roku 2003, vždy od října do června, první sobotu v měsíci od osmi hodin ráno, probíhá na hvězdárně v Hradci Králové astronomický kurz [2]. Je určen pro středoškolačky a vysokoškolačky se zájmem o astronomii, kteří se chtějí podrobněji dovědět nejen *jak* vesmír funguje, ale především *jakým způsobem jsme na to přišli*. Následující seriál článků je volným záznamem toho, co na kurzu probíráme. Obrázky v článku proto nejsou přesnými grafy anebo schémata, ale jsou to spíše kresby a náčrty „na tabuli“, snad vystihující podstatu věci.

Začneme hrubým scénářem vzniku sluneční soustavy:

- (1) Soustava vznikla před asi 4,56 miliardami let gravitačním kolapsem mezihvězdného plynoprachového oblaku.
- (2) Materiál obsahoval asi 2% prvků hmotnějších než helium, které předtím vznikly v nitru jiných hvězd; kolaps byl možná spuštěn blízkým výbuchem supernovy.
- (3) Střední část jednoho fragmentu oblaku se zhustila vlastní gravitací natolik, že v ní začaly termonukleární reakce produkující záření — vzniklo Slunce.
- (4) Vnější část se zploštila do disku. Došlo k přenosu většiny momentu hybnosti z rotujícího Slunce do oběžného pohybu disku.
- (5) Disk byl nejhustší ve středové rovině, gravitační i negravitační síly zde vedly k postupnému soustředění materiálu do větších těles.
- (6) Ve vnější části disku došlo k samostatným částečným kolapsům, jež daly vzniknout obřím plynným planetám a jejich satelitním systémům.
- (7) Jen relativně málo hmoty celého oblaku (asi 5%) se přeměnilo na hvězdy a planetární soustavy, zbytek byl hvězdným větrem rozfoukán zpět do mezihvězdného prostoru.

Původní teorie tohoto typu se nazývá *nebulární* (podle toho, že hvězda i planety vznikají z mlhoviny — nebuly) a pochází od IMMANUELA KANTA (1724–1804) a PIERRA-SIMONA LAPLACE (1749–1827). Úvahy těchto dvou myslitelů byly spíše kvalitativní; první výpočty struktury pramlhoviny provedli až v padesátých a šedesátých letech 20. století OTTO JULIJEVIČ ŠMIDT (1891–1956), VIKTOR SERGEJEVIČ SAFRONOV (†1917) a jejich spolupracovníci.¹

Extrasolární planety, objevované od poloviny 90. let dvacátého století, možná vyžadují jiné teorie vzniku, protože vlastnosti exoplanetárních soustav se podstatně liší od naší sluneční soustavy. Jedním z hlavních rozdílů je existence planet

¹ Ty, kteří by chtěli nahlédnout do původních prací (anebo do jakýchkoliv nových odborných článků), odkazujeme na http://adsabs.harvard.edu/abstract_service.html (NASA ADS Abstract Service), kde lze po zadání jmen autorů, a eventuálně po omezení na rok vydání, najít přesou referenci, abstrakt, a často lze stáhnout i celý článek v elektronické podobě. Některé časopisy, případně jejich nová čísla, jsou však přístupné pouze pro předplatitele.



Obr. 1 — Immanuel Kant a Peirre-Simon Laplace.

několikrát hmotnějších než Jupiter, které navíc mohou obíhat blízko mateřské hvězdy (velká poloosa jejich dráhy je menší než 1 AU) nebo po výstředné dráze (s excentricitou větší než 0,1).

Zkusme nejprve rozmyslet odpovědi na nejzákladnější otázky: Proč se vůbec domníváme, že tu Slunce a planety nebyly věčně? Jak jsme mohli zjistit, kdy vznikly? A proč se domníváme, že vznikly z mlhoviny?

Nejstručnější možné odpovědi by snad mohly být: Slunce je konečně velká plynná koule, která evidentně září, a postupně tak zmenšuje energii. Je tedy zcela přirozené předpokládat, že nebude zářit ani nezářilo věčně. Planety vznikly asi spolu se Sluncem, protože jsou k němu gravitačně vázané a mají (až na těkavé prvky) skoro stejné chemické složení. Stáří různých částí Země, Měsíce, Marsu, některých planetek a meteoritů jsme mohli určit díky radioaktivitě — jádra nestabilních prvků se náhodně rozpadají, a jejich počet klesá exponenciálně s časem „krásně“ konstatní rychlostí. A mimochodem, stáří planet odpovídá energii ve Slunci obsažené. Hvězdy vznikají asi z mlhovin, protože v blízkosti mladých hvězd jsou vždy pozorována nějaká plyno-prachová oblaka, navíc stejného chemického složení jako povrch mladých hvězd, což těžko může být náhoda. Naštěstí lze poměrně snadno rozpoznat hvězdy mladé a staré — modely vývoje hvězd (tedy velkých horkých plyných koulí) říkají zhruba toto: hvězdy *velmi hmotné* svítí jasným namodralým světlem a žijí krátkou dobu (a naopak méně hmotné svítí slabě, načervenalé a žijí dlouho).² Čili, podle barvy, jasnosti a vzdálenosti hvězdy lze odhadnout její hmotnost; pokud jsou v nějaké hvězdokupě přítomné kromě méně hmotných hvězd i velmi hmotné, znamená to, že hvězdokupa nemůže být příliš stará.

² Kvantitativně vyjádřeno: hmotnosti hvězd se pohybují v intervalu $(0,02; 100) M_{\odot}$, povrchové teploty $(3\,000; 100\,000)$ K, zářivé výkony $(10^{-5}; 10^5) L_{\odot}$ a životní doby $(100\text{ Gy}; 1\text{ My})$.

Co je cílem? V následujících kapitolách nejprve podáme přehled základních vlastností velkých molekulárních oblaků a protoplanetárních disků, jak vyplývají z pozorování oblasti tvorby nových hvězd. Zmíníme podmínky, za kterých nastává gravitační kolaps. Podíváme se, co lze odvodit z dnešního obsahu radioaktivních prvků. Pak se pokusíme odhadnout parametry „našeho“ bývalého protoplanetárního disku, a to z hmotností současných planet a z jejich středních vzdáleností od Slunce, podle základních fyzikálních zákonů.³

Pozorování velkých molekulárních oblaků a protoplanetárních disků

Velká molekulární oblaka (GMC) mají podle pozorování hmotnosti přibližně 10^5 až $10^6 M_{\odot}$, jejich hustší jádra asi $1 M_{\odot}$. Teplota oblaků se pohybuje jen pár desítek stupňů nad absolutní nulou, mezi 10 až 30 K. Koncentrace jsou řádově 10^3 molekul/cm³, jádra oblaků mohou být i 100 až 1000 krát hustší. (Porovnejme to s hustotou vzduchu, který nás obklopuje: 1 kg/m³; hmotnost jedné molekuly N₂ nebo O₂ je asi $2 \cdot 15 \cdot 1,66 \cdot 10^{-27}$ kg, takže vychází koncentrace řádově 10^{19} molekul/cm³.)

V chemickém složení GMC převažuje molekulární vodík H₂, patrně je doprovázen heliem. Spektroskopicky zde najdeme i mnoho hmotnějších molekul — CO, CN, CS, SiO, OH, H₂O, HCN, SO₂, H₂S, NH₃, H₂CO — celkově však tvoří jen nepatrný díl hmotnosti celého GMC.

V oblastech tvorby hvězd, jakou je například mlhovina M42 v souhvězdí Orionu (obr. 15), jsou pozorovatelné plynoprachové obálky a disky (proplydy) obklopující velmi mladé hvězdy. Proplydy mají průměr řádově 100 astronomických jednotek, hmotnost se odhaduje mezi 10^{-3} a $0,1 M_{\odot}$; typicky existují pouhých 1 až 10 milionů let, výjimečně až 30 My.

Plynoprachové obálky mívají „široké“ spektrum v porovnání s planckovským spektrem $B_{\lambda}(T)$, což lze vysvětlit tak, že různé části obálky, v různé vzdálenosti, jsou centrální hvězdou zahřáté na různou teplotu. Můžeme si představit, že jednotlivé části obálky v této vzdálenosti jsou v *lokální* termodynamické rovnováze, mají tedy stejnou teplotu T , a jejich vyzařování je pak popsáno Planckovou funkcí. My však spektrografem pozorujeme celý oblak najednou, což odpovídá smísení mnoha funkcí $B_{\lambda}(T)$ odpovídajícím různým teplotám. Jejich maxima jsou vzájemně posunutá. Celková vyzařovaná energie tedy nemůže být popsána funkcí příslušející jediné teplotě T , ale průběh spektra je proti rovnovážnému spektru rozšířen, „rozmazán“ (obr. 2).

Na mnoha discích jsou patrné stopy po vnořených planetách (samotné planety zatím přímo pozorovat nelze). Jedná se např. o zakřivení disku (známým příkladem je hvězda β Pictoris), posun středu disku od centrální hvězdy (HR 4796A),

³ V textu užíváme následující označení: y pro rok, násobky se standardními předponami My nebo Gy; M_{\odot} pro hmotnost Slunce, M_{\oplus} pro hmotnost Země, podobné indexy i pro jiné veličiny; AU = $1,49597870691 \cdot 10^{11}$ m je astronomická jednotka.



Obr. 2 — Mísení Planckových funkcí a následné „rozma-zání“ spektra.

prachové pásy (β Pic, ε Eri), prstence vyvolané gravitačními rezonancemi nebo zhustky prachu v disku.

Gravitační kolaps

Aby z rozsáhlého, řídkého a elektricky neutrálního oblaku vznikla stabilní hvězda a planetární systém, musí se oblak smrštít. Gravitační kolaps velkého molekulárního oblaku začíná tehdy, je-li jeho hmotnost M dostatečně velká vzhledem k jeho hustotě ϱ a teplotě T . Pochopitelně, kdyby byla hustota příliš nízká a teplota příliš vysoká, spád (gradient) tlaku plynu (neboli odpudivé elektromagnetické síly mezi atomy a molekulami oblaku) by převážily nad přitažlivou gravitací a oblak by se spíše rozplýval než kolaboval. Podrobnější analýza ukazuje, že pro kolaps musí být splněno následující *Jeansovo kritérium* [džínsovo]:

$$M > M_J \simeq \left(\frac{kT}{G\mu_a m_u} \right)^{3/2} \frac{1}{\sqrt{\varrho}}, \quad (1)$$

kde M_J označuje Jeansovu (kritickou) hmotnost, k Boltzmannovu konstantu, G gravitační konstantu, μ_a průměrnou hmotnost molekul v atomových hmotnostních jednotkách m_u . Pro typický GMC pak vychází počáteční hmotnost kolabujícího oblaku o několik řádů větší než hmotnost Slunce. Jednotlivé hvězdy, o hmotnostech řádu M_\odot , vzniknou díky *fragmentaci* oblaku na menší části. Tím si také vysvětlujeme, proč vzniká mnoho hvězd najednou a proč tedy pozorujeme hvězdokupy.

Podle (1) nejprve kolabují nejhustší a nejchladnější jádra oblaků. Nejprve se tedy hroutí samotný střed zhuštění a teprve potom na ni padají ostatní vnější části fragmentu oblaku. Pro takový druh kolapsu, který postupuje „zevnitř ven“, se užívá anglický termín *inside-out* kolaps.

Zákon zachování momentu hybnosti vyžaduje, aby byla v jistém smyslu zachována rotace původního oblaku. Při fragmentaci se moment hybnosti částečně přeneše z otáčení celého oblaku do obíhání jednotlivých fragmentů kolem sebe. Fragmety se pak ze stejného důvodu přemění z kulových útvarů na diskové.

Složení a stáří protoplanetárního disku

Je velmi pravděpodobné, že sluneční pramlhovina měla obdobné chemické složení jako většina molekulárních oblaků (viz tab. 1).

¹ H	² He	⁶ O	⁸ C	²⁶ Fe	¹⁰ Ne	⁷ N	Si, Mg, S, ...
1	0,39	0,014	0,0043	0,0026	0,0025	0,0016	

Tab. 1 — Poměrné zastoupení prvků podle hmotnosti v molekulárních oblacích.

Zárodečný materiál byl obohacen radioaktivními izotopy prvků s krátkým poločasem přeměny, např. ²⁶Al, který se přeměňuje s $T_{1/2} = 0,72$ My na ²⁶Mg. Svědčí o tom například meteority: některé minerály mají v krystalových mřížkách atomy nekompatibilních prvků (původně byl sice v krystalu atom hliníku, ale ten se přeměnil na hořčík, který se do krystalu jaksi „nehodí“). Druhou indicií je přetavení Země, které vedlo k jejímu rozrůznění a poklesu hustších prvků do jejího jádra. Energie potřebná na přeměnu pevné látky v kapalinu pocházela jednak z radioaktivních přeměn, jednak ze srážek Protozemě s jinými tělesy. Silně radioaktivní materiál pravděpodobně pocházel z blízkého výbuchu supernovy (ten mohl navíc přispět ke startu gravitačního kolapsu) nebo z nějaké Wolfovy-Rayetovy hvězdy. Tyto hvězdy prvky syntetizují uvnitř, jsou schopné je vynést k povrchu a odtud je šířit silným hvězdným větrem.

Radiometrickou metodou můžeme určit okamžik, kdy tělesa utuhla, tedy kdy se atomy svázaly do krystalové mřížky. V tavenině se mohou stabilní i nestabilní atomy skoro volně pohybovat, ale v mřížce nikoli. Počet N nestabilních jader se pak může měnit pouze náhodnými radioaktivními rozpady, nikoli tím, že by někam „odplavaly“. Platí přitom

$$dN = -\lambda N dt, \quad (2)$$

čili počet dN přeměn za nějakou krátkou dobu dt je úměrný aktuálnímu počtu nestabilních jader. Rozpadová konstanta λ přitom určuje rychlost, jakou se jádra přeměňují. Asi těžko může být přeměnový zákon jednodušší. Integrováním rovnice (2) přes čas t s okrajovou podmínkou $N(t=0) = N_0$ získáme:

$$N(t) = N_0 e^{-\lambda t}. \quad (3)$$

Vidíme, že počet nestabilních jader klesá exponenciálně s časem. Počet N_d produktů přeměny pak pochopitelně roste:

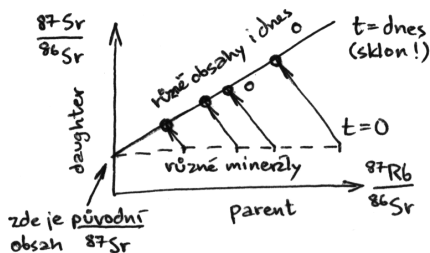
$$N_d(t) = N_{d0} + N_0(1 - e^{-\lambda t}). \quad (4)$$

Místo λ se často zavádí poločas přeměny $T_{1/2} = \frac{\ln 2}{\lambda}$, za který se rozpadne polovina jader, tedy $N = \frac{N_0}{2}$. Stačí pak porovnat současný poměr počtu nestabilních a stabilních jader s počátečním poměrem a odtud vypočítat dobu, která uplynula.

Například pro β rozpad $^{87}\text{Rb} \rightarrow ^{87}\text{Sr}$, který budeme poměřovat se stabilním ^{86}Sr , můžeme místo rovnice (4) psát:

$$\frac{[^{87}\text{Sr}]}{[^{86}\text{Sr}]} = \left(\frac{[^{87}\text{Sr}]}{[^{86}\text{Sr}]} \right)_0 + (e^{\lambda t} - 1) \frac{[^{87}\text{Rb}]}{[^{86}\text{Sr}]} \quad (5)$$

Je tu však jedna podstatná obtíž: nemůžeme přece měřit, kolik bylo nestabilních jader na začátku! Tuto neschopnost však můžeme elegantně obejít: vezmeme nejméně dva vzorky z *různých částí* horniny a hmotnostním spektrometrem změříme *různé poměry* koncentrací $^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$ a $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$. Vyneseme je do grafu (obr. 3) a spočteme regresní přímkou tvaru $y = a + bx$ (izochronu) metodou nejmenších čtverců. Obdržíme tak koeficienty $a = (^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr})_0$ i $b = e^{\lambda t} - 1$ a z nich již snadno vypočteme dobu t .



Obr. 3 — Příklad izochrony pro přeměnu $^{87}\text{Rb} \rightarrow ^{87}\text{Sr}$.

Pro horniny různých částí Země obdržíme různá radiometrická stáří: nejčastěji od nuly do ~ 1 Gy. Pro Měsíc jsou nejobvyklejší hodnoty mezi 3,8 a 3,1 Gy. Stáří povrchů jiných těles, z nichž nemáme vzorky, můžeme poměřovat počtem impaktních kráterů, který porovnáváme s počtem kráterů na Měsíci. Velmi zajímavý výsledek však obdržíme pro primitivní meteority — obyčejné chondrity, zvláště pro jejich části zvané vápnito–hlinité inkluze (CAI) a chondry: $(4,56 \pm 0,01)$ Gy. Právě proto, že *všechny* meteority tohoto druhu mají toto stáří a ve sluneční soustavě neexistuje nic staršího, říkáme, že sluneční soustava vznikla v této době.

Připomeňme, že radiometrické metody neurčují stáří materiálu jako takového, ale vznik krystalové mřížky, případně datují její další přeměny: částečná přetavení, průchody rázových vln při impaktech, doby expozice kosmickým zářením apod. Samotné protony, neutrony a elektrony jsou jistě starší než naše sluneční soustava, protože prakticky všechny vznikly při velkém třesku před $(13,7 \pm 0,2)$ Gy.

Struktura protoplanetárního disku

Odhadněme nejdříve, jakou měl disk teplotu. Zřejmě bude teplota se vzdáleností od Protoslunce klesat, neboť se vzdalujeme od zdroje energie. Když bude

nějaká část disku ve vzdálenosti r v lokální termodynamické rovnováze musí plazit rovnost mezi energií vyzařenou diskem podle Stefanova–Boltzmannova zákona a energií přijatou od Slunce:

$$4\sigma T^4 = (1 - A) \frac{L_{\odot}}{4\pi r^2}, \quad (6)$$

kde T označuje rovnovážnou teplotu části disku, σ Stefanovu–Boltzmannovu konstantu, A albedo a L_{\odot} zářivý výkon Slunce. (V některých fázích vývoje Protoslunce mohlo být L_{\odot} i desetkrát větší než dnes.) Po vyjádření T vidíme, že teplota klesá jako

$$T \propto r^{-1/2}. \quad (7)$$

Řádově se teplota disku pohybovala v rozmezí od 100 do 1 000 K. Samozřejmě však docházelo k odchýlkám od rovnováhy, např. při srážkách, elektrických výbojích, erupcích na Slunci a podobně.

Jak jednoduše odhadnout hmotnost protoplanetárního disku? Zřejmě bychom se měli podívat na jeho pozůstatek — na planety; menší smetí je co do hmotnosti zcela zanedbatelné. Hmotnost všech planet dohromady je řádově $10^{-3} M_{\odot}$. Jenomže tu je jeden problém, vzpomeňme, že značná část mlhoviny byla „rouzfoukána“ slunečním větrem! Přesněji, byly odfouknuty především těžké prvky, které byly díky ohřevu zářením v plynné fázi. Vítr totiž ovlivňuje hlavně plyn a má jen malý vliv na větší prachová zrnka.⁴ Abychom to vyřešili, použijeme následující trik: „doplňme“ planety o těžké prvky (především H, He) tak, aby se chemické složení planet shodovalo se Sluncem. Shrňme to:

terestrické planety	$\approx 10^{-5} M_{\odot}$	≈ 300
Jupiter a Saturn	mají hmotnost $\approx 10^{-3} M_{\odot}$	ale musíme ji násobit faktorem ≈ 10
Uran a Neptun	$\approx 10^{-4} M_{\odot}$	≈ 50

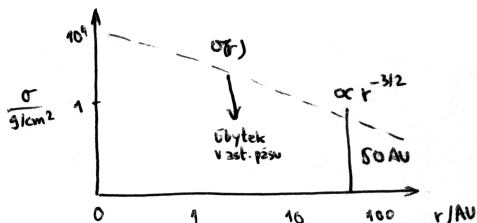
Celková hmotnost pak vychází řádově $10^{-2} M_{\odot}$.

Uvážíme-li navíc, jak jsou planety rozmístěné, a představíme-li si jejich hmotu „rozprostřenu“ podél jejich drah (obr. 4), můžeme zjistit, že sloupcová hustota disku klesala asi jako

$$\sigma \propto r^{-3/2}. \quad (8)$$

⁴ Síla, kterou působí částice slunečního větru na prachovou částičku, je (alespoň přibližně) úměrná průřezu částičky $S \propto R^2$, ale její zrychlení je dané druhým Newtonovým zákonem $a = \frac{F}{m}$ a hmotnost m je úměrná objemu $V \propto R^3$. Odtud plyne, že $a \propto R^{-1}$ a tedy efekt slunečního větru klesá s rozměrem. Taková úměra však platí i obecně pro jakékoli povrchové síly.

Ve vzdálenosti Jupitera vychází $\sigma_J \simeq 500 \text{ g/cm}^2$.⁵ Integrováním $\sigma(r)$ přes r od 0,1 do 50 AU vychází celková hmotnost disku $0,04 M_\odot$. Dolní mez odpovídá pozorováním, že disky nepřiléhají těsně ke hvězdám, ale díky silnému UV záření je okolo hvězdy vytvořena mezera. Horní mez jsme zvolili podle pozorování transneptunických těles, která zde skutečně rychle ubývají.



Obr. 4 — Plošná hustota σ protoplanetárního disku v závislosti na vzdálenosti r od Slunce.

Výše uvedený odhad hmotnosti je poněkud minimalistický, protože jsme předpokládali, že v disku zůstaly všechny refraktorní (netěkavé) prvky. Proto se tomuto modelu v anglické literatuře říká minimum-mass nebula. Také jsme předpokládali, že planety byly v minulosti vždy na svých současných vzdálenostech, ale podrobnější analýzy ukazují, že planety během existence disku výrazněji migrovaly, tj. měnily svoje velké poloosy.⁶

Jak odhadnout tloušťku disku? (Ta je dosti podstatná, protože zatím máme pouze odhad plošné hustoty σ , ale pro fyzikální procesy v disku je směrodatná objemová hustota ρ .) Udělejme to takto: zkusme napsat pohybovou rovnici pro pohyb nějaké malé částičky ve směru osy z , tj. kolmo k rovině disku. To není nijak neobvyklý přístup — chceme přece zjistit, jestli se takové částičky budou soustřeďovat těsně při rovině disku ($z = 0$), to by vedlo k tenkému disku s vysokou hustotou, nebo budou naopak odtlačovány, a disk tak vyjde řídký a tlustý. Vlastně, chceme-li zkoumat pouze disk v rovnováze, pak musí být velikost zrychlení působící na částičku rovna nule a pohybová rovnice ($F = ma$) se redukuje na rovnici vyjadřující rovnováhu sil ($F = 0$). Podstatné jsou zde dvě síly: gravitace Slunce a síla vznikající *gradientem tlaku*. Zanedbáme vlastní gravitaci disku, protože, jak jsme viděli, jeho celková hmotnost je o dva řády menší než M_\odot .

⁵ To řádově odpovídá sloupcové hustotě zemské atmosféry — vzduch má při povrchu hustotu $\rho \doteq 1 \text{ kg/m}^3$ a tato exponenciálně klesá s výškou; když si pro jednoduchost představíme sloupec vzduchu o konstantní hustotě ρ a vysoký $h = 5 \text{ km}$, dostaneme sloupcovou hustotu $\sigma = h\rho = 5000 \text{ kg/m}^2 = \sigma_J$.

⁶ Viz str. 22 o destabilizaci protoplanetárního disku při dočasném zachycení velkých planet v gravitačních rezonancích, které dobře vysvětluje období pozdního velkého bombardování a zachycení Trojanů.

Důležitá odbočka o gradientu tlaku: uvědomme si, že kdyby byl v disku všude stejný tlak plynu, žádné silové působení by nevznikalo! Teprve když se tlak mění v prostoru, vzniká nějaká síla. Představme si pro názornost malou krychličku mající rozměr dx , plošku stěny $dS = dx^2$, objem $dV = dx^3$, hmotnost dm a hustotu $\rho = \frac{dV}{dm}$. Vlevo a vpravo od ní (ve směru osy x) je plyn o stejném tlaku P . Pak tlaková síla působící na levou stěnu je PdS , na pravou stěnu $-PdS$ a jejich součet je nulový. A nyní si představme, že se tlak ve směru osy x mění, vlevo od krychličky je roven P a vpravo je o trošku větší $P + dP$. Výslednice sil je pak rovna

$$PdS - (P + dP)dS = -dPdS \quad (9)$$

a zrychlení působící na krychličku (podle 2. Newtonova zákona)

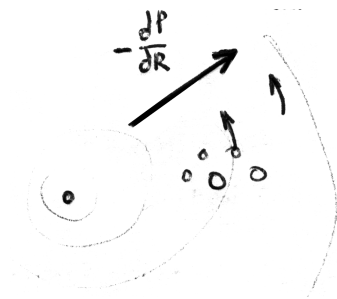
$$a = \frac{F}{dm} = \frac{-dPdS}{\rho dV} = \frac{-dPdS}{\rho dx dS} = -\frac{1}{\rho} \frac{dP}{dx}. \quad (10)$$

Odtud je pěkně vidět, že síla na jednotku objemu $\frac{F}{dm/\rho} = \frac{F}{dV}$ je rovna záporně počítané změně tlaku se vzdáleností, tj. záporně počítanému gradientu tlaku.

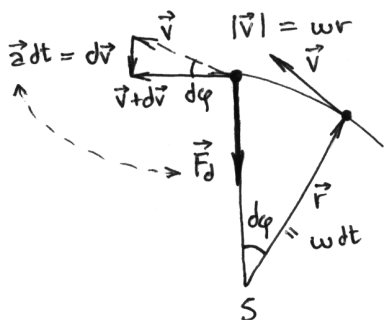
Ještě si dovolíme odbočku o rychlosti obíhání plynu v disku kolem Slunce. Bude-li tlak plynu klesat se vzdáleností od Slunce, pak podle toho, co jsme řekli výše, bude na částčky plynu působit síla ve směru od Slunce, proti směru jeho gravitace. Gradient tlaku tedy jakoby efektivně zmenšil hmotnost Slunce. Ale pozor! To pak musí znamenat, že plyn obíhá *pomaleji* než kdyby žádný gradient tlaku nepůsobil a pomaleji než třeba planetesimály (obr. 5).⁷ Proč tohle funguje pouze mezi atomy a molekulami plynu a nikoli mezi většími prachovými zrny, planetesimálami nebo planetami? Atomy, molekuly nebo jejich ionty se totiž mohou při vzájemných přiblíženích od sebe odpuzovat elektromagnetickými silami, a tím se jaksi „nadlehčovat“ v gravitačním poli Slunce. Planety ale nejsou elektricky nabitě, ani nemají na povrchu nerovnoměrně rozložený náboj, takže na sebe elektromagneticky působit nemohou. Pravda, malá zrníčka (o charakteristickém rozměru R) mohou být plynem (resp. gradientem jeho tlaku) trochu nadlehčována, ale protože tlaková síla je povrchová, tento efekt klesá jako $\frac{1}{R}$ (viz str. 10).

⁷ Vzpomeňte, že má-li se hmotný bod o hmotnosti m pohybovat rychlostí o velikosti v po kružnici o poloměru r musí na něj působit síla o vhodné velikosti $F_d = m \frac{v^2}{r}$ směřující do středu kružnice. To lze odvodit z docela jednoduché geometrické úvahy (obr. 6). Pokud je onou dostředivou silou F_d gravitace centra o hmotnosti M , tedy $F_g = \frac{GM_\odot m}{r^2}$, pak je pro daný poloměr přesně určena rychlost obíhání po kruhové dráze, tj. *keplerovská rychlost* nebo též 1. kosmická rychlost:

$$v_k = \sqrt{\frac{GM}{r}} \propto r^{-1/2}. \quad (11)$$



Obr. 5 — Silové působení gradientu tlaku v plynném oblaku a vnořené planetesimály obíhající rychleji než plyn.



Obr. 6 — Pohyb po kružnici a dostředivá síla.

Konec odboček. Posudíme rovnovážný setrvačný pohyb částičky podél osy z . Zetová složka gravitační síly Slunce na jednotku objemu plus záporně vzatý gradient tlaku ve směru osy z jsou tedy rovné nule, neboli

$$-\varrho g_z - \frac{dP}{dz} = 0 \quad (12)$$

Za zrychlení g_z můžeme dosadit z Newtonova gravitačního zákona a máme

$$\frac{dP}{dz} = -\varrho g_z = -\varrho \frac{GM_{\odot}}{r^2} \frac{z}{r} = -\varrho \omega_k^2 z, \quad (13)$$

kde člen $\frac{z}{r}$ je kvůli vyjádření z -složky gravitační síly a $\omega_k \propto r^{-3/2}$ je shodou okolností keplerovská úhlová rychlost. Rádi bychom z této rovnice vypočítali, jak závisí hustota ϱ na z . Ale jak, když se nám tam plete neznámý tlak P ?

Předpokládejme tedy, že se v disku nachází ideální plyn, tzn. splňující stavovou rovnici $\frac{PV}{T} = \text{konst.}$ (Ony se při nízkých tlacích a hustotách prakticky

všechny plyny chovají jako ideální, takže to není nesmyslný předpoklad.) Stavovou rovnici lze přepsat tak, že tlak P závisí na hustotě ρ a teplotě T , eventuálně můžeme teplotu nahradit termální rychlostí v_T , neboť teplota je zavedena jako míra vnitřní energie n molů plynu, $U = \frac{3}{2}nkT$, a ta je také úměrná kinetické energii atomů plynu $U \simeq \frac{1}{2}mv_T^2$. Pak $P = \frac{v_T^2 \rho}{3}$ a po derivování $\frac{dP}{dz} = \frac{v_T^2}{3} \frac{d\rho}{dz}$. (Zde jsme ještě předpokládali, že teplota T , a tudíž ani rychlost v_T , na z nezávisí.) Dosazením do (13) dostaneme jednoduchou diferenciální rovnici pro hustotu ρ :

$$\frac{d\rho}{dz} = -\frac{3\omega_k^2}{v_T^2} \rho z, \quad (14)$$

tedy rovnici, která nám určuje velikost *změny* hustoty v závislosti na hustotě, souřadnici z a nějakých veličinách, které se ve směru z nemění (ale mohou se měnit s r). My bychom však místo rovnice pro $\frac{d\rho}{dz}$ raději znali přímo funkci $\rho(z)$, ale to musíme rovnici (14) integrovat přes z . Naštěstí lze snadno uhádnout, že hledaná funkce bude mít tvar $\rho = A e^{Bz^2}$, protože pak $\frac{d\rho}{dz} = AB 2z e^{Bz^2} = 2Bz\rho$. Pokud hustotu v $z = 0$ označíme $\rho(r, 0)$, můžeme psát výsledek

$$\rho(r, z) = \rho(r, 0) e^{-\frac{3\omega_k^2}{2v_T^2} z^2}.$$

Maximální hustotu $\rho(r, 0)$ má disk ve středové rovině $z = 0$, směrem nahoru nebo dolů hustota exponenciálně klesá.

Když už známe průběh hustoty ve směru kolmém k rovině disku, je logické zavést tloušťku disku jako

$$H = \frac{\sigma}{\rho(r, 0)}, \quad (15)$$

kde σ je sloupcová hustota disku, tedy hustota počítaná ve směru z :

$$\sigma = \int_{-\infty}^{\infty} \rho(r, z) dz. \quad (16)$$

Jinými slovy, náš disk má sice proměnnou hustotu ve směru z , ale my se ptáme, jak tlustý by musel být disk s konstantní hustotou jako ve středové rovině, aby měl stejnou sloupcovou hustotu. Po integrování (16) a dosazení do (15) obdržíme

$$H = \sqrt{\frac{2\pi}{3}} \frac{v_T}{\omega_k(r)}. \quad (17)$$

Když si uvědomíme, že $v_T \propto T^{-1/2} \propto r^{-1/4}$ a $n_k \propto r^{-3}$, vychází, že tloušťka disku roste se vzdáleností jako $r^{5/4}$. Pro $r = 5$ AU, tj. v okolí Jupiteru, je poměr

$\frac{H}{r} \approx 0,1$ (viz obr. 7). Vyjádříme-li objemovou hustotu $\rho(r)$ z (15) a dosadíme-li z (17) a (8), zjistíme, že klesá se vzdáleností jako $r^{-11/4}$.



Obr. 7 — Tlouška disku H v závislosti na vzdálenosti r .

Jaký je závěr? Celková hmotnost protoplanetárního disku je asi $0,04 M_{\odot}$; disk je veliký asi 100 AU. V disku platí následující úměry:

$$T \propto r^{-1/2}, \quad (18)$$

$$\sigma \propto r^{-3/2}, \quad (19)$$

$$\rho \propto e^{-z^2}, \quad (20)$$

$$H \propto r^{5/4}, \quad (21)$$

$$\rho \propto r^{-11/4}. \quad (22)$$

Tyto vlastnosti disku jsme přitom odvodili poměrně jednoduše: (18) plyne ze zákona zachování energie, (19) je výsledkem pozorování (tj. hmotností, poloh a chemického složení planet), (20) a (21) jsme vypočetli z rovnováhy mezi gradientem tlaku ideálního plynu a gravitační silou, a (22) je důsledkem (19) a (21).

Anglický terminologický slovníček

Připojujeme slovníček některých termínů, s nimiž se můžete setkat při čtení anglické odborné literatury o vzniku sluneční soustavy.

abundance [ə'bandəns] — zastoupení prvků

collision [kə'liʒn] — srážka

equation of state [ikweiʃn ov steit] — stavová rovnice

extinct element [iks'tɪŋkt elimənt] — nestabilní prvek (nuklid) s krátkým poločasem přeměny, který již dnes ve sluneční soustavě nepozorujeme

extrasolar planet [eksrtəsoulə plænit] — extrasolární planeta

gas-dust cloud [gæs dast klaud] — plynoprachový oblak

giant molecular cloud (GMC) [dʒaɪənt mou'lekjʊlə klaud] — velký plynoprachový oblak

giant planets (Jupiter, Saturn, Uranus, Neptune) [dʒaɪənt plænɪts, dʒu:pɪtə, sætə:n, ju'rænəs, neptju:n] — velké planety (Jupiter až Neptun)

gravitational collapse [græviteiʃnəl kə'læps] — gravitační kolaps

isochron [aisəkrən] — izochrona, čára stejného stáří, užívaná v radiometrické analýze

Jeans criterion [dʒɪns kraɪ'tiəriən] — Jeansovo kritérium

Keplerian velocity [kepləriən vi'lositi] — keplerovská rychlost

metallicity [meta'lisiti] — podíl „kovů“ (prvků hmotnějších než helium)

meteorite [mi:tjərait] — meteorit

migration [mai'greiʃn] — migrace, změny velkých poloos planet

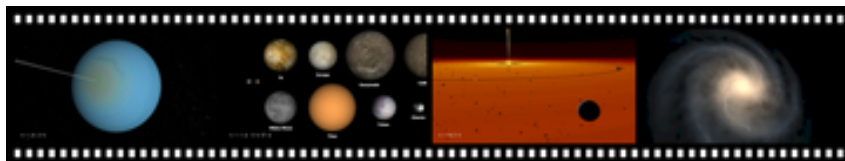
nebular theory [nebjulə θiəri] — mlhovinná teorie
ordinary chondrite [o:dnri kondrait] — obyčejný chondritický meteorit
pressure gradient [preʃə greidiənt] — gradient tlaku
protoplanetary disc (proplyd) [proutəplæniteri disk, proplyd] — protoplanetární disk
radioactive element [reidiou'æktiv elimənt] — radioaktivní prvek
Solar system [soulə sistəm] — sluneční soustava
star forming region (SFR) [sta: fo:miŋ ri:džn] — oblast tvorby hvězd
terrestrial planets (Mercury, Venus, the Earth, Mars) [terestriəl plænits, məkjuri: vi:nəs, ði: ə:θ, ma:s] — planety zemského typu (Merkur až Mars)
timescale [taimskeil] — typická doba, za jakou proběhne nějaký proces

- [1] BERTOTTI, B., FARINELLA, P., VOKROUHLICKÝ, D. *Physics of the Solar System*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 2003. ISBN 1402014287.
- [2] BROŽ, M. *Astronomický kurz Hvězdárny Hradec Králové* [online]. [cit. 2004-11-04]. (<http://www.astrohk.cz/kurz/>)
- [3] NORTON, O. R. *The Cambridge Encyclopedia of Meteorites*. Cambridge: Cambridge University Press, 2002. ISBN 052162143 7.
- [4] DE PATER, I., LISSAUER, J. J. *Planetary Sciences*. Cambridge: Cambridge University Press, 2001. ISBN 0521482194.

Film Sluneční soustava 2003

Miroslav Brož

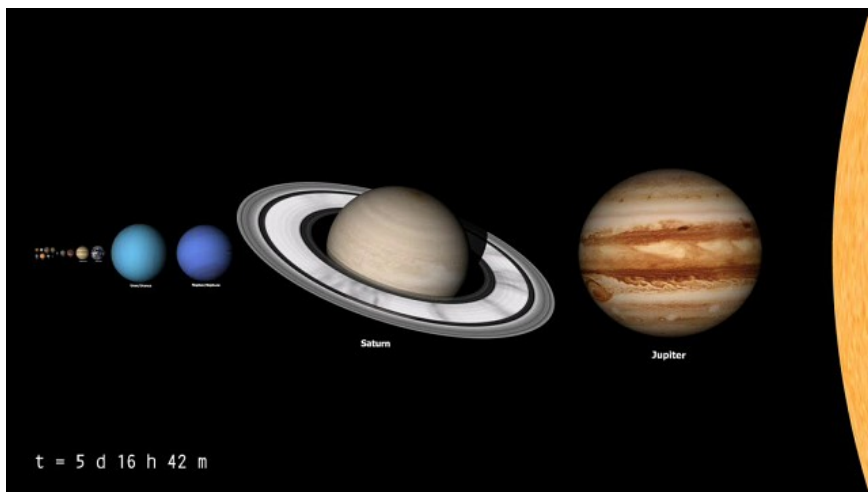
Film „Sluneční soustava 2003“ je pětadvacetiminutový dokument o našem planetárním systému. Vytvořili jsme jej tak, aby se divák přehledovým způsobem seznámil se Sluncem, planetami i menšími tělesy sluneční soustavy, a dozvěděl se o nich ty nejzajímavější informace, jež odpovídají poznání na začátku 21. století.



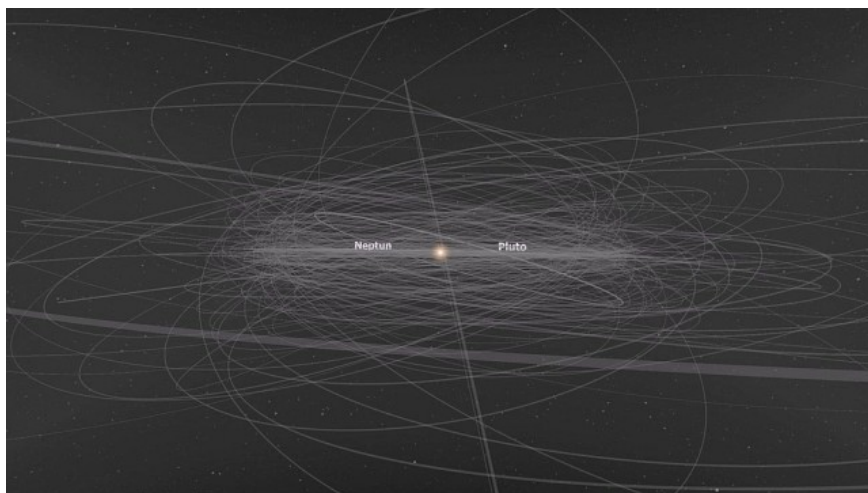
V jeho první části uvidíme dráhy planet, porovnáme vzdálenosti mezi tělesy, jejich velikosti; asteroidy (planetky), komety, měsíce, planety a Slunce budeme mít pěkně "seřazené vedle sebe" (obr. 8). Seznámíme se se silami, které působí mezi tělesy a v jejich nitrech.

Ve druhé části se vydáme na cestu jakousi meziplanetární sondou — jednotlivé planety si prohlédneme zblízka, dovíme se například o kráterech na Merkuru, skleníkovém jevu na Venuši, deskové tektonice na Zemi, vzniku Měsíce, sopkách na Jupiterově měsíci Io, Saturnových prstencích apod. Neopomeneme však ani vnější části sluneční soustavy (obr. 9), okolní hvězdy, extrasolární planety a polohu Slunce v Galaxii.

Třetí část filmu je věnována vzniku sluneční soustavy z plyno-prachového oblaku před 4 a půl miliardami let (obr. na titulní straně), budoucímu zániku Slunce a možnosti objevit život na vzdálených planetách.



Obr. 8 — Porovnání velikostí těles sluneční soustavy. Zleva: „velké“ měsíce planet, terestrické planety (Merkur, Mars, Venuše, Země), ledoví obři (Uran, Neptun), plynní obři (Saturn, Jupiter) a nakonec okraj Slunce.



Obr. 9 — Slunce uprostřed, okolo vyznačené trajektorie Neptunu, Pluta a stovky největších těles Kuiperova pásu.

Film je určen žákům druhého stupně základních škol,⁸ středoškolákům i zájemcům o astronomii z řad široké veřejnosti. Navštívíte-li hradeckou hvězdárnu, můžete film shlédnout při programech v kinosále. Domovská stránka filmu je

<http://www.astrohk.cz/ss2003/>

Zde můžete film stáhnout v různém rozlišení a kódování,⁹ sledovat jej on-line ze streamovacího serveru, najdete tu i statické ukázky, psaný scénář, podrobnější informace o filmu, jeho výrobě a projekci, případně zdrojové kódy všech animací.

Film vznikl počítačovou třírozměrnou animací v programu PovRay, přičemž jsme využili reálné snímky a data z kosmických sond. Pro zpracování filmu jsme mimo jiné použili volně šiřitelný software GNU/Linux, MOSIX, MPlayer, Gimp, CinePaint, AudaCity a DVDAuthor. Pouze spojení animací, mix hudby a mluveného slova byly provedeny komerčním programem Adobe Premiere.

Hvězdárna a planetárium v Hradci Králové vydala film na DVD-Video disku, opatřeném českou a anglickou jazykovou verzí, českými a anglickými titulky, doplněném několika 3-D animacemi ve formátu stereo/anaglyph (a příslušnými červeno-modrými brýlemi).¹⁰ Knížička, která je v krabičce, obsahuje na 16 stranách český a anglický text filmu a aktuální tabulkové údaje o tělesech sluneční soustavy. Budete-li mít o DVD zájem, můžete jej za 200,- Kč (plus 70,- Kč za dobírku) objednat na adrese: Hvězdárna a planetárium, Zámeček 456, 500 08 Hradec Králové, telefon +420-495264087, e-mail ekonom@astrohk.cz.



Sváteční zatmění Měsíce 28. října 2004

Petr Soukeník

A máme opět jedno zatmění za sebou. Pro tento rok už druhé a zároveň poslední. Podobně jako v květnu (viz *Povětroň 3/2004*, str. 4), i nyní, 28. října 2004 ráno, jsem nechtěl propást tuto jedinečnou astronomickou událost. Ještě večer vše vypadalo dost pesimisticky. Obloha úplně zatažená. Ale protože jsem od přírody optimista, připravil jsem si večer vše potřebné, nastavil budíka a šel spát s vírou, že po druhé hodině ranní tomu bude jinak, že se oblačnost naráz rozestoupí a bude možné celý úkaz shlédnout.

Jenže v půl druhé ráno to bylo úplně jinak. Obloha úplně zatažená. Víra a optimismus mě ale nenechali schovat se pod peřinu, nýbrž přinutili obléknout

⁸ Pro žáky prvního stupně ZŠ je vhodnější film doprovodit zjednodušeným komentářem.

⁹ Od vysoké kvality 1024×576 pxl., kodek M-JPEG, velikost ~2 GB; přes DVD-Video PAL 720×576 pxl., MPEG-2; po malý náhled 180×144 pxl., MPEG-4.

¹⁰ Aby byl 3-D efekt dobře patrný, je nutné mít vhodně nastavený jas, kontrast a barevné vyvážení. U počítačových monitorů přepněte režim na sRGB nebo barevnou teplotu na 5 500 K.

se a vyrazit. Měl jsem vyhlédnuté místo na západní straně kopce Svatého Jana, kde jsou pro toto pozorování příznivé podmínky. Kvůli zatažené obloze sice nebylo možné sledovat zcela počáteční fáze zatmění, ale ve 3 h 7 min SEČ, když se konečně vyjasnilo, jsem pořídil první snímek. To už probíhal vstup Měsíce do stínu Země. Obloha naštěstí zůstala jasná a já se mohl plně věnovat vizuálnímu sledování a hlavně fotografování.

Květnové zatmění jsem fotil kinofilmovým přístrojem Canon EOS 300. Nyní jsem ovšem „přezbrojil“ na digitální zrcadlovku Canon EOS 300D s 6,1 megapixelovým snímacím čipem. Teleobjektivem Rubinar s ohniskovou vzdáleností $f = 1000$ mm a clonovým číslem 10 byly pořízeny počáteční a konečné fáze zatmění. Při úplné fázi jsem však kvůli malé světelnosti Rubinaru musel použít objektiv Tamron AF 70–300 mm. Při nejdělsím ohnisku má světelnost 5,6. Protože čip v digitálu je o něco menší než políčko kinofilmu, vychází zorné pole tak veliké, jako kdybychom na kinofilm fotili s ohniskem 480 mm. Vše bylo exponováno v maximálním rozlišení 3072×2048 pixelů. Dost mě potrápilo rosení. Každých pár minut jsem musel otírat zamlžené objektivy. Hrozná práce, ale co by člověk neudělal pro hezkou fotku, že? Chvillemi mi připadalo, že celé své příslušenství vytahuju přímo z vody, jak bylo vše mokré. Hlavně k ránu, kdy se chvillemi vytvářela mlha a z Měsíce vyrobila „rybí oko“. Ráno jsem ale odjížděl spokojen. Podařilo se mi vše zaznamenat, a to je hlavní. S pocitem dobře odvedené práce jsem po osmé hodině usnul a dohnal noční spánkový deficit.

Několik fotografií je otištěno na obr. 14; další je možné shlédnout na mých WWW stránkách (<http://www.volny.cz/soukenikp/>).

Děni na obloze v listopadu a prosinci 2004

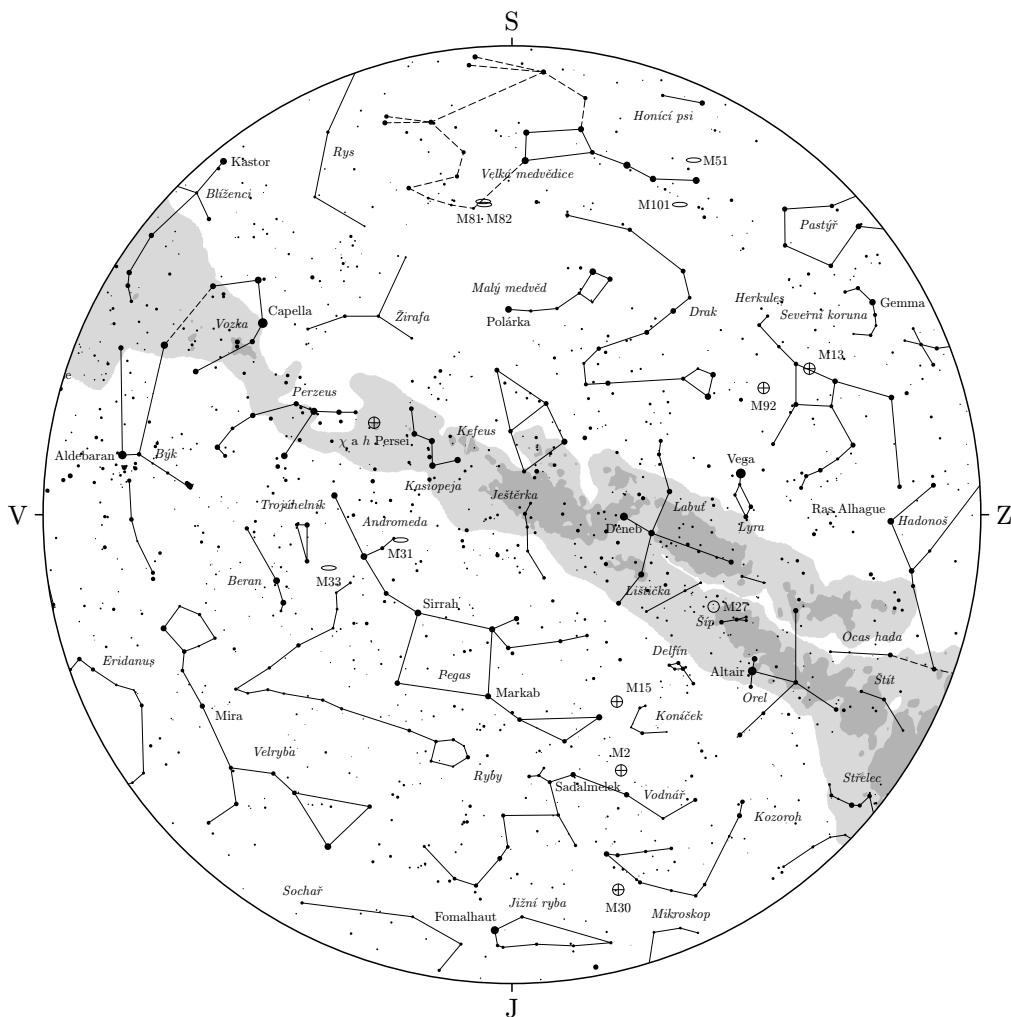
Martin Cholasta

Je podzim. Počasí spíše nevlídné a ponuré, takzvaný dušičkový čas, ale když Slunce vysvitne krajina hraje nádhernými barvami, které jindy během roku nemůžeme spatřit. Takový den je předzvěstí i krásné dlouhé noci s průzračnou oblohou. Na obloze samozřejmě vládnu souhvězdí podzimní oblohy jako je například Pegas. Zvečera však můžeme ještě spatřit několik souhvězdí letních a v druhé polovině noci se nám začínají ukazovat souhvězdí zimní oblohy, kterým vévodí Býk a Orion. I přes výrazný chlad stojí za to strávit nějakou chvilku pod hvězdnou oblohou, zvláště ve chvílích zajímavých úkazů, na které chci upozornit.

Již 5. listopadu ráno je možné spatřit blízkou konjunkci Venuše s Jupiterem. Planety budou od sebe vzdáleny jen $0,5^\circ$. Další fotogenická seskupení planet a Měsíce nastanou 9. 11. a 10. 11., kdy na ranní obloze proběhne postupně konjunkce Měsíce s Jupiterem, Měsíce s Venuší a Měsíce s Marsem. 1. 12. bude k vidění konjunkce Měsíce se Saturnem. O několik dní později, 6. 12., nastane konjunkce Venuše s Marsem poblíž hvězdy α^2 Librae a hned následujícího dne 7. 12. nastane těsná denní konjunkce Měsíce s Jupiterem; Jupiter bude od Měsíce vzdálen $0,6^\circ$.

Je tedy možné poměrně snadno planetu vyhledat a pozorovat ji za dne. Koncem prosince, 29. 12. ráno, můžete zkusit fotografovat seskupení Merkuru, Venuše, Marsu a Antara.

Podzim je také obdobím meteorických rojů — vzpomeňte na maximum meteorického roje Leonid, které připadá na 17. 11. večer. Letos však již nebude dosahovat takové intenzity jako v minulých letech. Maximum Geminid připadá na 13. 12. odpoledne, po setmění budeme moci pozorovat alespoň zvýšenou činnost.



Obr. 10 — Mapka oblohy pro 1. listopad, 20 hodin SEČ.

Z pozorovatelných komet upozorněme na kometu C/2004 Q2 (Machholz), která má stále nízkou deklinaci, ale její jasnost se zlepšuje a bude jistě okrasou noční oblohy na konci roku.

Přečetli jsme si

Miroslav Brož, Ondřej Pejcha

D. A. Fischer aj. publikovali objev exoplanety u hvězdy HD 88133 (se spektrem G5IV), která se „prozradila“ změnami radiálních rychlostí. Planeta oběhne kolem mateřské hvězdy za 3,41 dne a její hmotnost je $M \sin i = 0,75M_J$. Fotometrická pozorování ukazují, že nedochází k zákrytům hlubším než asi 0,0005 mag. (astro-ph/0409107)

S. D. Points aj. analyzovali strukturu mezihvězdné hmoty směrem ke dvojitě hvězdokupě χ a h Persei spektroskopickým pozorováním mezihvězdné absorpční čáry Na I D u 172 hvězd. Zjištěny byly významné změny profilů čáry i na nejmenších škálách 0,35 pc, což naznačuje, že mezihvězdná hmota se v tomto směru skládá z tenkých pruhů plynu. (astro-ph/0409158)

A. C. Becker aj. předkládají první výsledky prohlídky SuperMACHO, která využívá 4 m teleskopu na Cerro Tololo a mozaikové CCD kamery (s 8000×8000 pixely a zorným polem 0,33 čtverečného stupně) pro hledání gravitačních mikročoček ve směru k Velkému Magellanovu mračnu. Hlavním cílem této prohlídky je vysvětlit přebytek gravitačních mikročoček pozorovaných při projektu předchozí generace — MACHO. Jeden z řešených problémů je, jak odlišit supernovy v pozadí LMC od skutečných gravitačních mikročoček. (astro-ph/0409167)

N. R. Walborn aj. upozorňují na pekulární hvězdu HD 191612 spektrálního typu O. Spektroskopická pozorování za posledních několik let vykazují periodické změny spektrálního typu z O6 na O8, které jsou doprovázené změnami profilů a intenzit několika pekulárních spektrálních čar a fotometrickými změnami s amplitudou asi 0,03 mag. Perioda všech těchto změn je 540 dnů, což představuje závažný problém pro všechny dosud známé mechanismy, které by mohly podobnou proměnnost vyvolat. (astro-ph/0409199)

J. D. Neillovi aj. se podařilo objevit 6 nov v prostoru mezi galaxiemi v kupě Fornax. Z těchto měření vyplývá, že 16 až 41 % veškerého záření z kupy Fornax přichází z mezegalaktického prostoru. Tento odhad je konzistentní s měřením intergalaktických planetárních mlhovin v kupách Fornax a Virgo. (astro-ph/0409265)

J. W. Barnes a J. J. Fortney předkládají teoretickou studii o možnosti detekce prstenců u exoplanet pomocí fotometrie. Dle jejich závěrů by bylo možné zachytit výrazné prstence Saturnova typu fotometrií s přesností 0,001 až 0,003 mag a časovým rozlišením lepším než 15 minut. Prstence by se měly projevit hlavně během vstupu a výstupu ze zákrytu. (astro-ph/0409506)

P. A. Woudt a D. Steeghs pořídili spektrum novy V445 Pup (2000), která je pokládána za první pozorovaný případ heliové novy. Ve spektru byly zjištěny

emisní čáry helia a kyslíku, ale naprosto žádné stopy po vodíku (u běžných nov jsou ve spektru nejsilnější emisní vodíkové čáry). (astro-ph/0409525)

V článku *Winking-Star Mystery Solved*. Sky & Telescope, July 2004, s. 16 je zmíněna zákrytová dvojhvězda KH 15D v souhvězdí Mon, u které dochází k podivným proměnám doby zákrytů. Podařilo se je vysvětlit tak, že dvojhvězda je postupně zakrývána hranou prachového oblaku.

Na kolokviu IAU č. 197 „Dynamika populací planetárních systémů“, které se konalo v Bělehradě od 31. 8. do 4. 9. 2004, zazněl mimo jiné přehledový příspěvek W. Bottkeho aj. o původu a transportu meteoritů. Podle [3] se zdá, že desetitisíce meteoritů nalezených na Zemi pochází z pouhých 35 různých mateřských těles. Autoři se snaží toto číslo získat z dynamického modelu hlavního asteroidálního pásu [2], který je ověřen podle pozorovaného rozdělení velikostí těles hlavního pásu, i blízkozemních asteroidů. Tělesa o velikosti řádu 1 m, která nejsou přímo pozorovatelná, ale která potenciálně mohou být prekurzory meteoritů, jsou podle modelu z hlavního pásu záhy po svém kolizním vzniku „vymetena“ — jejich počet poklesne o dva řády za 130 My — působením Jarkovského jevu a gravitačních rezonancí. Z toho je možno spočítat, že k Zemi se dostávají jen fragmenty z relativně nedávných srážek, a že bychom měli pozorovat jejich původ z asi 45 mateřských těles, což je v dobré shodě s výše uvedeným pozorováním.

M. Tsiganis aj. prezentovali významné zlepšení svého modelu migrace planet v planetesimálním disku [2]. Jeho předchozí verze ukazovala, že migrace byla nejprve pomalá a asi po 600 milionech let se mohla zrychlit poté, co se planety Jupiter a Saturn dočasně zachytily ve 2:1 rezonanci středních pohybů. V tomto období je však velmi nestabilní oblast Trojanů, což se zdálo být v příkrém rozporu s pozorováním — vždyť dnes jsou Trojané velmi početní. Nyní objevili, že oblast je sice při 2:1 rezonanci destabilizovaná, ale zároveň se v této oblasti střídá mnoho těles na excentrických a skloněných drahách při tom, jak se pohybují v planetesimálním disku. Když se planety po asi 100 My posunou a rezonance najednou pomine, stane se oblast Trojanů opět stabilní, všechna tělesa, která se tam zrovna nacházela zůstanou „uvězněna“ a vytvoří tak dnešní populaci Trojanů. Rozdělení sklonů drah takových těles odpovídá sklonům Trojanů, což lze považovat za významný argument pro tuto teorii.

Okamoto, Y. K. aj., *Nature*, 2004, **431**, s. 660 pojednává o hvězdě β Pictoris, která je známá tím, že ji obklopuje rozsáhlý prachový disk. Nová pozorování ve středním infračerveném pásu odhalila sub-mikrometrová amorfní silikátová zrnka, koncentrující se ve vzdálenostech 6, 16 a 30 AU od β Pic. Protože tak malá zrnka bývají velmi rychle odvanuta hvězdným větrem, „označují“ zmíněné koncentrace ta místa, kde prach přímo vzniká, pravděpodobně při srážkách v pásech planetesimál.

Lawrence, J. S. aj., *Nature*, 2004, **431**, s. 278 referuje o překvapivě vynikajícím seeingu na observatoři Dome C v Antarktidě, na 75° j. š.: mediánová hodnota

je 0,27", 25 % doby je dokonce pod 0,15". Porovnejme tyto hodnoty s nejlepšími stanovišti ve středních zeměpisných šířkách — 0,5" až 1" — nebo se základnou Amundsen-Scott na jižním pólu — 1,8".

Squyres, S. W. aj., *Science*, 2004, **305**, 5685, s. 794 se věnuje výzkumu kráteru Gusev na Marsu vozítkem Spirit (stejně jako dalších deset článků v tomto zvláštním vydání časopisu *Science*). Gusev je pokládán za místo, kde v minulosti mohlo být jezero, ale doposud se zde nenašly žádné jasné stopy po jezerní sedimentaci. Naopak, převažující horniny jsou bazaltické (tj. sopečného původu) a dvěma hlavními geologickými procesy jsou dopady kosmických těles a přenos větrem. Na mnohých balavanech je vidět povlaky, které mohou být znakem mírného ovlivnění vodním prostředím. Usazené horniny jsou tak snad skryty pod impaktně rozlámanými lávami.

Sky & Telescope, July 2004, s. 18 přináší zprávu o prvním objevu extrasolární planety z gravitační mikročocky (předtím byly objevy uskutečněny výhradně měřením radiálních rychlostí). V projektech OGLE III a MOA, při nichž se sleduje asi 200 milionů hvězd v centrální galaktické výduti, zatím pozorovali asi 200 událostí, z toho 50 dvojitých. Ale tato je první, ze které lze odvodit malou hmotnost soupутníka. V budoucnu by se tímto způsobem mohly objevit exoplanety o hmotnosti Země.

Abe, F. aj., *Science*, 2004, **305**, 5688, s. 1024 oznamuje pozorování gravitační mikročocky MOA 2003-BLG-32/OGLE 2003-BLG-219, která měla špičkové zjasnění více než 500 krát. Při nárůstu a poklesu jasnosti nebyla pozorována žádná sekundární zjasnění, čímž se podařilo vyloučit existenci planet s těmito limity: planety hmotnější než 1,3 M_{\oplus} v oblasti mezi 2,3 až 3,6 AU od mateřské hvězdy, planety hmotnější než Uran mezi 0,9 až 8,7 AU, a planety hmotnější než Saturn mezi 0,2 až 60 AU. Jedná se tak o gravitační mikročocku s dosud největší citlivostí pro detekci extrasolárních planet.

Jedicke, R., Nesvorný, D., Whiteley, R., Ivezić, Ž., Jurić, M. *An age-colour relationship for main-belt S-complex asteroids*. *Nature*, 2004, **429**, s. 275 zjišťovali závislost mezi stářím asteroidálních rodin spektrálního typu S a jejich barvou, která je zřejmě postupem času ovlivňována kosmickým zvětráváním (např. dopadajícími kosmickými paprsky, mikrometeoroidy), a stává se tak červenější. Stáří rodin lze odhadnout z rychlosti jejich dynamického vývoje, barvy asteroidů byly měřeny přehlídkou Sloan Digital Sky Survey. Úlomky ze srážek asteroidů v hlavním pásu mohou dopadnout na Zem jako meteority. Ostatně asteroidy typu S jsou pokládány za zdroj nejrozšířenějších meteoritů — obyčejných chondritů (OC). Až doposud se nedařilo najít rodinu, která by meteoritům OC byla spektrálně velmi podobná. Pokud však využijeme výše uvedenou závislost stáří–barva a podíváme se, jakou barvu asteroidy měly těsně po svém vzniku, zjistíme, že se dobře shoduje s čerstvými odřezky meteoritů OC. Jedná se tak o první průkazné měření rychlosti kosmického zvětrávání pro asteroidy hlavního pásu.

Jenniskens, P., *Astron. J.*, 2004, **127**, s. 3018 identifikoval mateřský objekt meteorického roje Kvadrantid — na základě orbitálních dat je jí planetka 2003 EH₁, nedávno objevená přehlídkou LONEOS. Dříve se předpokládalo, že Kvadrantidy jsou starý a rozptýlený roj, jehož mateřské těleso buď zaniklo, nebo přešlo na odlišnou dráhu. Zatím se nepodařilo prokázat spojitost mezi 2003 EH₁ a kometou C/1490 Y1, jejíž rozpad by mohl Kvadrantidy vytvořit.

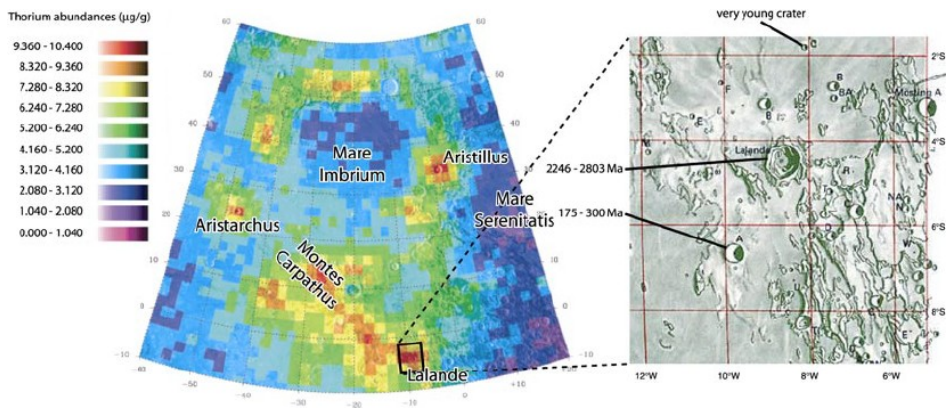
Hsieh, H. H. aj., *Astron. J.*, 2004, **127**, s. 2997 referuje o pozoruhodné kometě 133P/Elst-Pizarro, která má asteroidální dráhu (podobnou rodině Themis) a v roce 1996 vykazovala anomálně úzký ohon, o kterém se spekulovalo, že by mohl být způsoben náhodným impaktem malého objektu. Nové snímky z roku 2002, na kterých je úzký ohon rovněž viditelný, však tuto hypotézu vyvrací. Možná se tedy původně jedná o málo aktivní kometu Jupiterovy rodiny. Dráha komety se vyvinula pod vlivem nesymetrických negravitačních sil tak, že se dnes podobá drahám asteroidů rodiny Themis. Anebo by mohlo jít původně o planetku, na které byl impaktem odkryt led.

Bizzarro, M. aj., *Nature*, 2004, **431**, s. 275 zkoumají primitivní meteorit Allende. Na základě obsahu izotopu ²⁶Mg (který vzniká rozpadem radioaktivního ²⁶Al s poločasem rozpadu 0,73 Myr) odvozuji, že vápnito-hlinité částice (CAIs) a silikátové chondry začaly vznikat současně, období vzniku CAIs přitom trvalo jen asi 50 000 roků a období vzniku chonder pak pokračovalo další 2 až 3 My. (Pro vznik CAIs a chonder je třeba zahřátí materiálu na ~1 000 K během několika minut a ochlazení během několika desítek minut.) Zřejmě se jedná o důležité měření, omezující modely vzniku sluneční soustavy.

Gnos, E. aj., *Science*, 2004, **305**, 5684, s. 657 určili místo, odkud pochází měsíční meteorit Sayh al Uhaymir 169. Ten je tvořen impaktní brekcií velmi obohacenou draslíkem, prvky vzácných zemin a fosforem. Podrobná izotopová analýza odhalila čtyři impaktní přeměny, kterými meteorit prošel: před $(3\,909 \pm 13)$ My, ~ 2 800 My, ~ 200 My a $< 0,34$ My; kolize se Zemí pak nastala asi před $(9,7 \pm 1,3)$ ky. Materiál pochází z okolí Mare Imbrium, nejpravděpodobněji z malého čerstvého kráteru severně od kráteru Lalande (obr. 11).

Rose, Ch., Wright, G., *Nature*, 2004, **431**, s. 47 uvádějí, že „podepsaná hmota“ je efektivnější způsob komunikace s mimozemskými civilizacemi než elektromagnetické vlny: je energeticky podstatně výhodnější a také trvanlivější — vzkaz lze přečíst i dávno poté, co civilizace přestane existovat. Ostatně, pokud vyspělé civilizace trvají pouze krátkou dobu a míjejí se v čase, je pravděpodobnější, že se kontakt s mimozemskou civilizací skutečným prostřednictvím fyzických artefaktů než rádiových vln.

Chini, R. aj., *Nature*, 2004, **429**, 6988, s. 155 objevili v mlhovině Omega (M17) protohvězdu o hmotnosti asi $20 M_{\odot}$, která přitom stále nabírá hmotu z okolního akrečního disku, jehož hmotnost je větší než $100 M_{\odot}$. To je překvapivý objev, protože teoretické modely předpovídaly, že kvůli tlaku záření protohvězdy



Ob. 11 — Mapa zastoupení thoria v povrchových vrstvách Měsíce a detail okolí kráteru Lalande s malým čerstvým kráterem poblíž.

by neměla celková hmotnost překročit $40 M_{\odot}$, a existence hmotnějších hvězd se vysvětlovala splynutím několika hvězd střední hmotnosti.

Podle Standardního modelu nelze sice vysvětlit původ hmotností jednotlivých fundamentálních částic, ale na základě interakcí mezi částicemi umožňuje popsat závislosti mezi hmotnostmi některých částic. Tým DØ Collaboration, *Nature*, **429**, s. 638 pomocí nové techniky zpřesnil hmotnost top kvarku na $M_t = (178,0 \pm 4,3) \text{ GeV}/c^2$. Pak z M_t a ze známé hmotnosti bosonu W spočetl nejpravděpodobnější hmotnost teoreticky přepovězeného Higgsova bosonu na $117 \text{ GeV}/c^2$; to je bohužel nad možnostmi současných urychlovačů (a bude tak nutné počkat na experimenty LHC asi do roku 2010).

Příbyl, T., *Letectví a kosmonautika*, 2004, 4, s. 87 přináší informace o čínském nosiči Kaituizhe-1 (KT-1), na pevná paliva, což je první nosič tohoto typu v Číně.

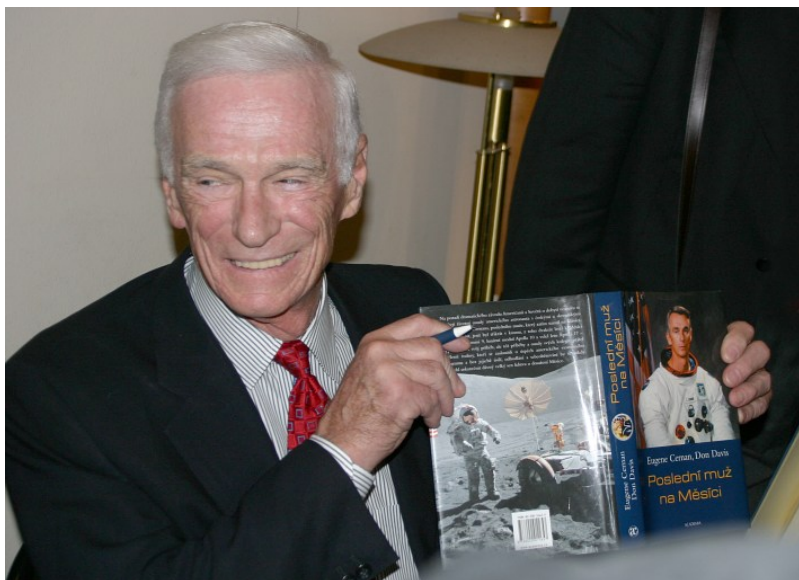
Lejček, L., *Letectví a kosmonautika*, 2004, 5, s. 13 píše o supersonickém náporovém motoru Scramjet, který se od jiných náporových motorů liší spalováním při nadzvukové rychlosti. Bezpilotní experimentální letoun X-43A s tímto motorem je vynášený Boeingem NB-52B a raketou Pegasus; dosahuje rychlosti Mach 7.

- [1] *IAU Colloquium No. 197. Dynamics of Populations of Planetary Systems. Book of Abstracts.* Beograd: Astronomical Observatory, 2004.
- [2] BROŽ, M. *Dynamická astronomie v roce 2004.* *Povětroň* **3/2004**, s. 4–18.
- [3] BURBINE, T. H., MCCOY, T. J., MEIBOM, A., GLADMAN, B., KEIL, K., in *Asteroids III*, W. F. Bottke Jr., A. Cellino, P. Paolicchi, and R. P. Binzel (eds). Tuscon: University of Arizona Press, 2002. s. 653–667. ISBN 0-8165-2281-2.

Ve středu 29. září 2004 jsme měli vzácnou příležitost se osobně setkat s kapitánem Eugenem A. Cernanem, slovy letáku „hrdinou dobývání kosmu“, astronautem s československými předky (prarodiče z otcovy strany pocházeli z Vysoké nad Kysucou a rodiče jeho matky pocházeli od Tábora). Setkání probíhalo v Praze na Václavském náměstí v knihkupectví Academia, zahájení bylo plánováno na pátou hodinu odpolední, ale již dobrou hodinu před tím se v druhém patře nedočkavě hemžilo na padesát lidí. Po tu dobu bylo astronauta vidět pouze zezadu, obklopeného novináři a fotografy. Konečně udeřila pátá a my, kdo nejsme fotografové ani novináři, jsem ho konečně mohli spatřit. Ne příliš velký prostor, naplněn teď již asi stovkou lidí, ztichl.



Paní Helena Illnerová, předsedkyně Akademie věd České republiky, na úvod představila jeho knihu *Poslední muž na Měsíci* (jejímiž autory jsou Eugen Cernan a Don Davis). Pak se dostal ke slovu autoritativní krásný člověk, samotný kapitán Cernan. My všichni jsme sem přijeli, abychom viděli astronauta, a bělovlasý sedmdesátiletý muž nás opravdu nezklamal. Pronesl poděkování paní Illnerové a řekl pár slov o jeho vztahu k naší zemi. Následovala samotná autogramiáda, která skončila až v sedm hodin. Dovolte mi jen trochu připomenout slavnou historii: Eugen Cernan letěl do vesmíru poprvé 3. 6. 1966 v lodi Gemini 9A, a pak 18. 5. 1969 v Apollu 10. Vrcholem jeho kariéry by však jeho let v Apollu 17, a to 7. 12. 1972, v posádce s Harrisonem Schmittem, lunárním geologem, a Ronaldem Evansem, pilotem velitelského modulu. Cernan se Schmittem tehdy podnikli tři výstupy s celkovým trváním 22 hodin. Ale více než fakta, která tu zůstanou navždy, jsem při autogramiádě (a především při krátkém rozhovoru) poznala, že je to neuvěřitelně milá velká osobnost s úsměvem pro každého.



Výstava astrofotografií na hvězdárně

Petr Soukeník

V měsíci říjnu 2004 probíhala na hradecké hvězdárně výstava fotografických prací astronomů z východních Čech, mimo jiné i členů naší společnosti. Samozřejmě s jakým jiným, než astronomickým zaměřením. Konala se již před několika měsíci a nyní je to její volné pokračování. Je obohacena dalšími novými fotografiemi. Instalace probíhala 2. října po skončení pravidelného setkání naší společnosti. Sešlo se zde mnoho dobrovolníků, řekl bych možná až příliš, a tudíž jsme o sebe občas trochu zakopávali. Ale nakonec to vzalo do ruky pár odborníků a specialistů, a vytvořili slušné dílko. I já, ač jsem vše fotograficky dokumentoval, podílel jsem se velmi specializovanou funkcí „sklonosiče“. Pokud chcete shlédnout další záběry z přípravy této výstavy, stačí v internetovém prohlížeči zadat adresu:

<http://www.volny.cz/soukenikp/vystava.htm>.





Astronomický kroužek na hvězdárně opět běží Richard Lacko

Patříte-li mezi pravidelné čtenáře *Povětroně*, možná si vzpomenete na článek z čísla 2/2004 s názvem *Fylogeneze astronomického kroužku*, jehož autorem je Josef Bartoška, dlouholetý vedoucí astronomického kroužku na Hvězdárně a planetáriu v Hradci Králové. Autor rekapituluje historii astronomického kroužku, který byl založen na královéhradecké hvězdárně v polovině padesátých let 20. století, a jehož činnost trvala do roku 2001. V následujícím roce, jak autor sám uvádí, se již mladí astronomové na hvězdárně neukázali. Cituji z článku Josefa Bartošky: „Buďto byla provedena špatná propagace nebo mají tolik jiných možností, že si mohou sehnat informace jinde. Z encyklopedií, internetu nebo vlastní dalekohledy díky majetnějším rodičům. Také mohlo dojít k nějaké duchovní havárii mezi mládeží, a ta již astronomii vůbec k životu nepotřebuje.“ A přece, od otisknutí článku uplynulo několik měsíců a můžeme říci, že poslední věta určitě není pravdivá.

Od začátku měsíce října navštěvuje každou středu v 16 hodin královéhradeckou hvězdárnu několik mladých lidí ve věku 13 až 15 let. Jedná se o nové členy astronomického kroužku, který po několikaleté odmlce opět zahájil svoji činnost. Vedoucími jsou pracovníci hvězdárny Josef Bartoška a Richard Lacko, občasnou spolupráci přislíbili též Karel Bejček (v oboru kosmonautiky) a Miroslav Brož, který mimo jiné nabídl zprostředkování exkurze na některé z vědeckých astronomických pracovišť v České republice.

Na pravidelných středečních setkáních seznamujeme děti s vybranými tématy z astronomie a příbuzných oborů, které jim předkládáme formou přijatelnou jejich věku a schopnostem. Při vytváření tématického plánu jsme též přihlédlí k osnovám předmětů fyzika a matematika pro základní školy. Komunikace v kroužku ale nemůže být jednostranná, naší snahou je vyvolávat aktivitu samotných dětí. To lze například tak, že si sami občas připraví nějaký referát, který budou prezentovat svým kamarádům. Pokud bychom podali teorii příliš suše, posluchače těžko pro astronomii nadchneme; dny se však znatelně krátí a budeme tedy pořádat i večerní pozorování oblohy, což je činnost pro astronomický kroužek zcela nezbytná.

Naše (prý vyspělá) lidská společnost nabízí mládeži i „jiné volnočasové aktivity“. Naneštěstí jsou jimi často alkohol, drogy, drobné krádeže, potulka po ulicích. Hlavním cílem kroužku je nabídnout dětem ve volném čase jinou, poněkud ušlechtilější zábavu, která zároveň přináší i značný podíl poučení.

Program Hvězdárny a planetária v Hradci Králové — listopad 2004

Otvírací dny pro veřejnost jsou středa, pátek a sobota. Od 19:00 se koná večerní program, ve 20:30 začíná večerní pozorování. V sobotu je pak navíc od 14:00 pozorování Slunce a od 15:00 program pro děti. Podrobnosti o jednotlivých programech jsou uvedeny níže. Vstupné 10,- až 45,- Kč podle druhu programu a věku návštěvníka. Změna programu vyhrazena.

Pozorování Slunce soboty v 14:00
projekce Slunce dalekohledem, sluneční skvrny, protuberance, sluneční aktivita, při nepříznivém počasí ze záznamu

Program pro děti soboty v 15:00
zimní hvězdná obloha s astronomickou pohádkou **Perseus** v planetáriu, starší dětské filmy, ukázka dalekohledu, při jasné obloze pozorování Slunce

Večerní program středy, pátky a soboty v 19:00
zimní hvězdná obloha v planetáriu, výstava, film, ukázka dalekohledu, aktuální informace s využitím velkoplošné videoprojekce

Večerní pozorování středy, pátky a soboty ve 20:30
ukázky zajímavých objektů večerní oblohy, *jen při jasné obloze!*

Přednášky

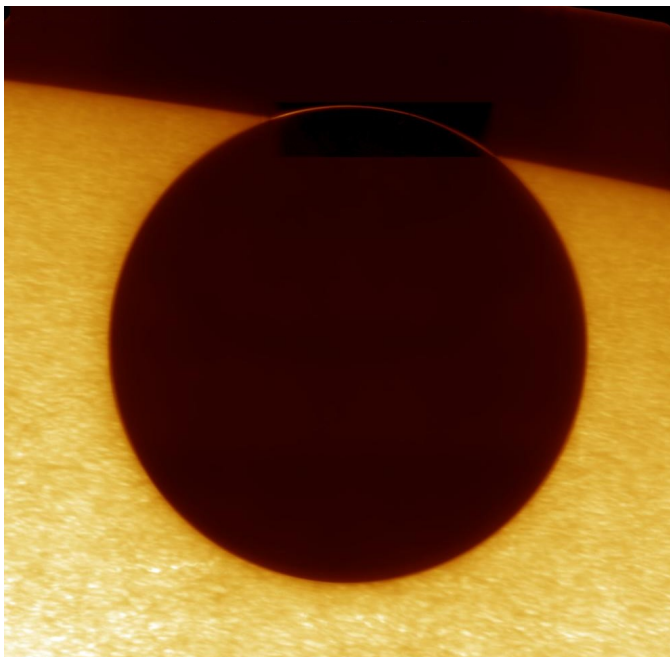
sobota 6. 11. v 17:00 — **Radarová pozorování meteorického roje Leonid** — RNDr. Petr Pecina, CSc., AsÚ AV ČR Ondřejov

sobota 20. 11. v 17:00 — **Thajsko a Barma** — p. Juraj Kaman, cestovatel, fotograf a publicista

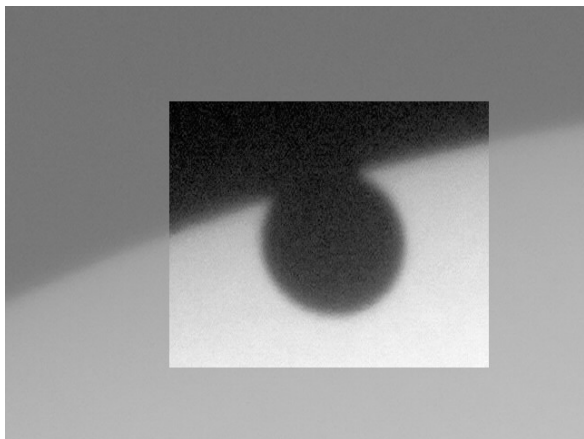
Výstava od 8. 11. po – pá 9–12 a 13–15, st a pá též 19, so 15 a 19
Formule 1 — papírové modely vozů a přileb

Přednášky v prosinci 2004

sobota 4. 12. v 17:00 — **Meteority Morávka a Neuschwanstein** — RNDr. Jiří Borovička, CSc., AsÚ AV ČR Ondřejov



Obr. 12 — Několika obrázky se vracíme k přechodu Venuše přes Slunce 8. června 2004. Švédský dalekohled SST takto zachytil zářící atmosféru Venuše mezi 3. a 4. kontaktem. © RSAS.



Obr. 13 — (a) Výstup Venuše na stínítku v hlavní kopuli hradecké hvězdárny v 11 h 5 min UT. Ve středu obrázku byl uměle zvýšen kontrast. (b) Pracovník hvězdárny Josef Bartoška zajišťuje pro přechod pěkné počasí. Další snímky i krátký filmový sestřih dění na hvězdárně najdete na internetové adrese (<http://www.astrohk.cz>). Foto Miroslav Brož a Luděk Dlabola.



Obr. 14 — Zatmění Měsíce 28. října 2004. Foto Petr Soukeník. K článku na str. 18.

Obr. 15 — Snímky Herbigova–Harova objektu 111 (vlevo nahoře), oblasti tvorby hvězd v mlhovině M 42 (vpravo nahoře) a protoplanetárních disků (dole) pořízené Hubblovým kosmickým dalekohledem v rozmezí let 1995 až 2001. Disk na obrázku vpravo dole je obklopen plynnou obálkou, která je zahřívána absorpcí ultrafialového záření blízké horké hvězdy; odhadujeme, že disk v takových nehostinných podmínkách může existovat jen poměrně krátkou dobu — asi sto tisíc roků. K článku na str. 4.

