

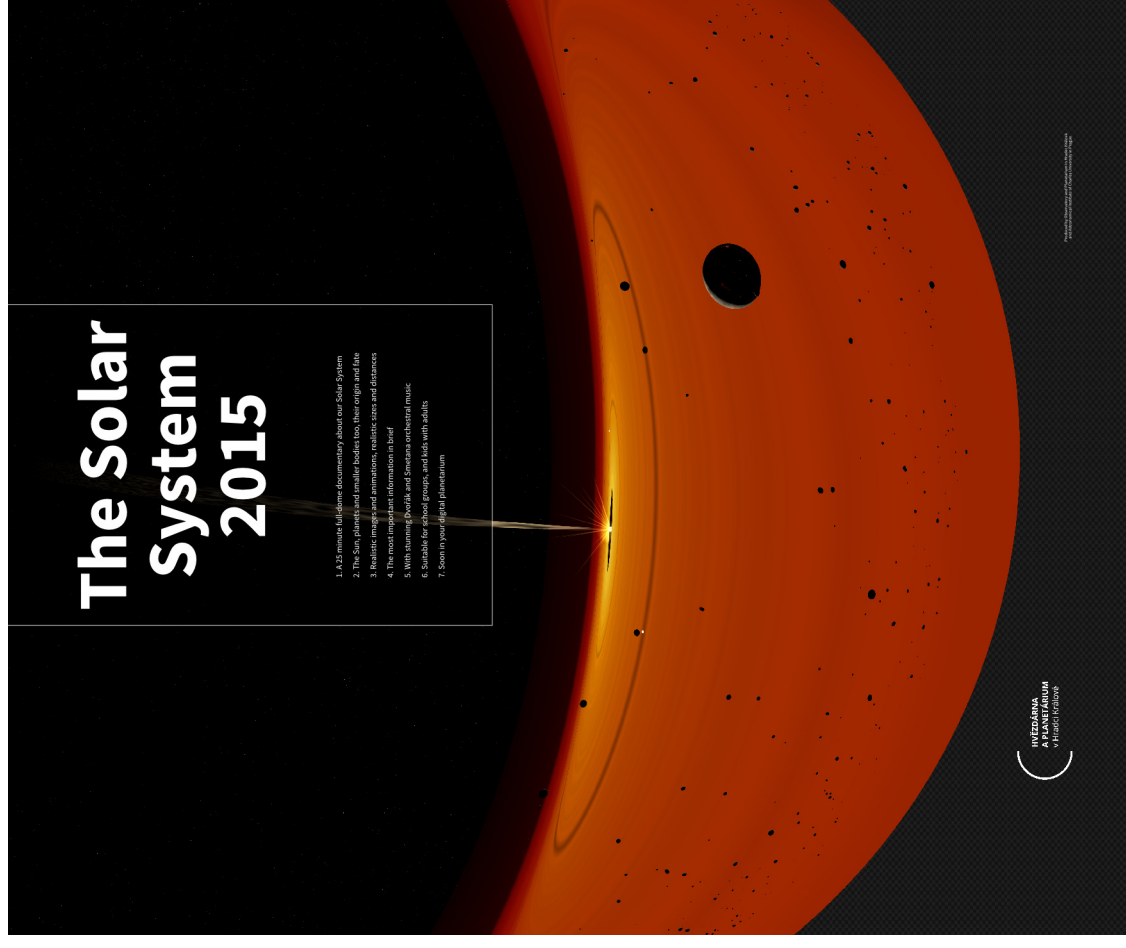
- [1] ARMITAGE, P. J. *Astrophysics of planet formation*. New York: Cambridge University Press, 2010. ISBN 9780511691362.
- [2] BALBUS, S. A., HAWLEY, J. F. *A powerful local shear instability in weakly magnetized disks. I – Linear analysis. II – Nonlinear evolution*. *Astrophys. J.*, **376**, 214–233, 1991.
- [3] BROŽ, M., ŠOLC, M. *Fyzika sluneční soustavy*. Praha: MatfyzPress, 2013. ISBN 97880-73782368. ([http://sirrah.troja.mff.cuni.cz/~mira/fyzika\\_malych\\_telos/](http://sirrah.troja.mff.cuni.cz/~mira/fyzika_malych_telos/)).
- [4] FLOCK, M., FROMANG, S., GONZÁLES, M., COMMERCÓN, B. *Radiation hydrodynamics in global simulations of protoplanetary disks*. *Astron. Astrophys.*, **560**, A43, 2013.
- [5] JOHANSEN, A., OISHI, J. S., MAC LOW, M.–M., KLAHR, H., HENNING, T., YOUNG, A. *Rapid planetesimal formation in turbulent circumstellar disks*. *Nature*, **448**, 1022–1025, 2007.
- [6] MASSET, F. *FARGO: A fast eulerian transport algorithm for differentially rotating disks*. *Astron. Astrophys. Suppl. S.*, **141**, 165–173, 2000.
- [7] MIGNONE, A., BODO, G., MASSAGLIA, S. AJ. *PLUTO: A numerical code for computational astrophysics*. *Astron. J. Suppl. S.*, **170**, 228, 2007.
- [8] SHAKURA, N. I., SUNYAEV, R. A. *Black holes in binary systems. Observational appearance*. *Astron. Astrophys.*, **24**, 337–355, 1973.
- [9] SHORE, S. N. *Astrophysical hydrodynamics*. Weinheim: Wiley-Vch, 2007. ISBN 97835-27406692.
- [10] TOOMRE, A. *On the gravitational stability of a disk of stars*. *Astrophys. J.*, **139**, 1217–1238, 1964.
- [11] *Wikipedia*. *Accretion disc* [online]. [cit. 2015-03-10]. ([http://en.wikipedia.org/wiki/Accretion\\_disc](http://en.wikipedia.org/wiki/Accretion_disc))
- [12] YOUNG, A., JOHANSEN, A. *Protoplanetary disk turbulence driven by the streaming instability: linear evolution and numerical methods*. *Astrophys. J.*, **662**, 613–626, 2007.

## Film Sluneční soustava 2015

Miroslav Brož



Tento krátký dokumentární film pro digitální planetária pojednává o našem planetárním systému: o Slunci, planetách a malých tělesech, o jejich vzniku i zániku. Je určen zejména žákům základních nebo středních škol. Existuje v české a anglické jazykové verzi, jeho stopáž činí 25 minut. Film je připraven ve formátu full-dome 4K (tzn. rozlišení 4096 × 4096 pixelů) se snímkovou frekvencí 30 fps, což je nyní standard pro digitální planetária. Ke stažení je k dispozici archiv zip s jednotlivými obrazy (dome masters), které se posléze musejí konvertovat pro daný projekční systém. My používáme systém od firmy Carl Zeiss Jena, s pěticí projektorů Velvet — majících každý 2560 × 1600 pixelů, nativní kontrast 1 : 2,5 miliónu a speciální objektivy pro projekci na sférickou plochu. Podrobnější informace jsou na adrese (<http://www.astrohk.cz/ss2015/>).



SLOVO ÚVODEM. Třetí číslo je poněkud monotematické — zabýváme se v něm pouze hydrodynamikou, čili pohybem tekutin. Ač to vypadá jako úzce vymezený obor, umožňuje nám studovat *obrovské* množství jevů, mimo jiné protoplanetární disk a vznik planet. Nakonec zařazujeme poznámku o dokumentárním filmu Sluneční soustava 2015, který byl upraven pro digitální planetária.

Miroslav Brož

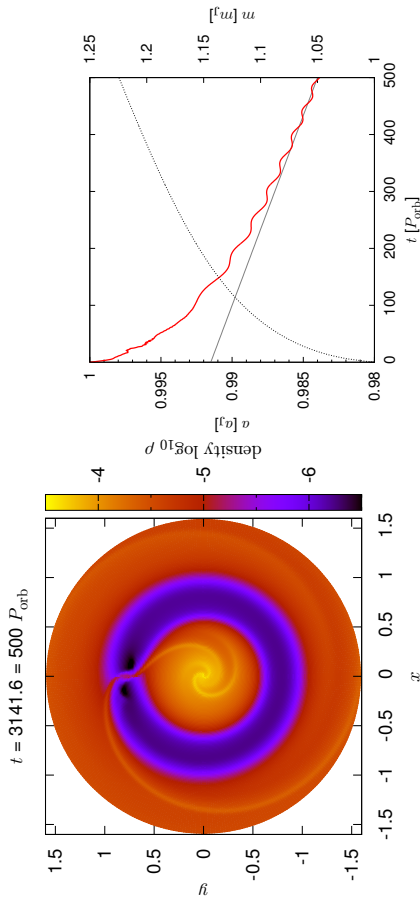
## Obsah

strana	
Miroslav Brož: <i>Hydrodynamika protoplanetárního disku</i> .....	4
Miroslav Brož: <i>Film Sluneční soustava 2015</i> .....	21

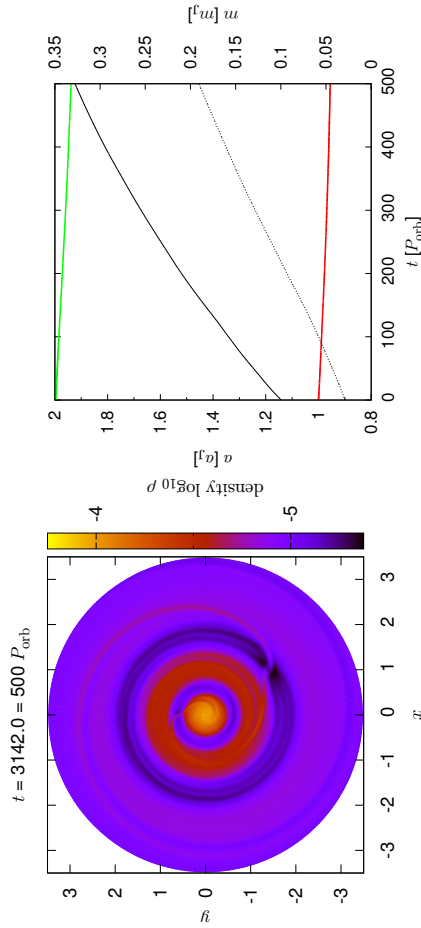
**Titulní strana** — Obraz protoplanetárního disku z filmu Sluneční soustava 2015. V planetáriu se obraz promítá na celou polokouli (180°). Objekty se zde mohou jevit zkreslené, ale pokud divák sedí v našem planetáriu uprostřed hledíště, geometrie výsledného obrazu je perfektní, bez zkreslení. Vzhledem k tomu, že taková projekce zajišťuje i periferní vidění a navíc je kopule skloněna pod úhlem 17°, mívá divák pocit, že se vznáší ve volném prostoru.

---

Vydala: **Povětroň 3/2015**; Hradec Králové, 2015.  
ve spolupráci s **Hvězdárnou a planetáriem v Hradci Králové** (2. 1. 2016 na 299. setkání ASHK)  
vydání 1., 20 stran, náklad 100 ks; dvouměsíčník, MK ČR E 13366, ISSN 1213-659X  
Redakce: Miroslav Brož, Miloš Boček, Martin Cholasta, Josef Kujal,  
Martin Lehký, Lenka Trojanová a Miroslav Ouhrabka  
Předplatné tištěné verze: vyřizuje redakce, cena 35,- Kč za číslo (včetně poštovného)  
Adresa: ASHK, Národních mučedníků 256, Hradec Králové 8, 500 08; IČO: 64810828  
e-mail: (ashk@ashk.cz), web: (<http://www.ashk.cz>)



**Obr. 6** — Plynný disk a jedna vnořená planeta, vlevo plošná hustota disku  $\sigma(x, y)$ , vpravo časový vývoj velké poloosy  $a(t)$  (znázorněn červeně) a hmotnosti  $m(t)$  planety (tečkované). Pro porovnání je znázorněn i pokles  $a$  dle rovnice ??, která platí poté, co se v disku vytvoří mezera. Parametry simulace byly voleny takto: hmotnost centra  $M = 1$ , poměr  $H/r = 0,05$ , plošná hustota  $\sigma = 6,37 \cdot 10^{-9} r^{-1,5}$ , kinematická viskozita  $\nu = 10^{-5}$ , planeta s počáteční velkou poloosou  $a = 1$ , orbitální periodou  $P_{\text{orb}} = 2\pi$  a hmotností  $m = 0,001$ . Rozsah poloměrů byl  $r \in (0,4; 1,6)$ , dvourozměrnou síť  $(r, \phi)$  tvořilo 128 krát 384 bodů a časový krok  $\Delta t = 0,31416$ . Simulace programem Fargo (Masset 2000).



**Obr. 7** — Disk a dvě planety. Obdobné nastavení parametrů jako u obr. ??, s výjimkou  $r \in (0,4; 3,5)$ , 1-rozměrná síť sahající do  $r' = 20$ , planety  $a_1 = 1$ ,  $m_1 = 10^{-4}$ ,  $a_2 = 2$ ,  $m_2 = 2,9 \cdot 10^{-5}$ . Simulace programem Fargo.

\*