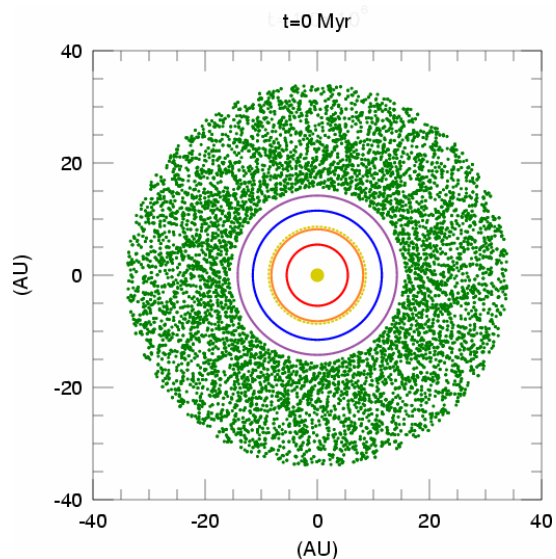


0.1 Migrace planet

0.1.1 Disk planetesimál

Po odfouknutí plynu a ukončení intenzivní akrece, řádově 100 Myr od vzniku Slunce, obíhaly terestrické i obří planety po prakticky kruhových a neskloněných dráhách ($e, I \simeq 10^{-3}$). Za Neptunem však zůstal masivní disk planetesimál, ze kterých se zatím žádná planeta nestačila vytvořit. Odhadujeme, že měl hmotnost 30 až 50 M_{\oplus} a končil asi na 30 AU od Slunce.

Slunce, planety i planetesimály na sebe vzájemně gravitačně působily, což mimo jiné vedlo ke změnám velikých poloos velkých planet — Jupiter se ke Slunci pomalu přibližoval, kdežto Saturn, Uran, Neptun se vzdalovaly.



Obr. 1 — Pravděpodobný vzhled planetesimálního disku za Neptunem. Převzato z Levison (2008).

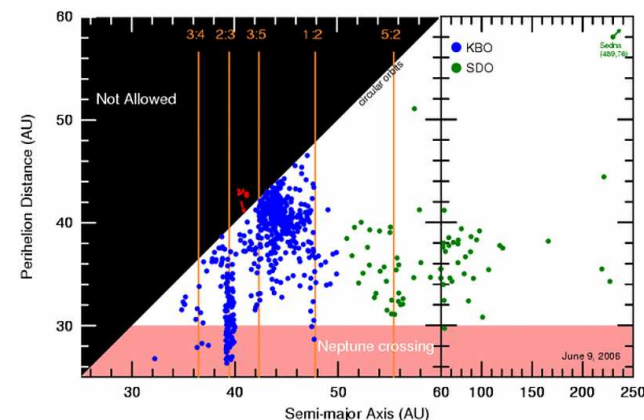
Adiabatické zachycení Plutina. O proběhnuvší migraci planet svědčí například pozorované struktury v transneptunické oblasti (obr. 2). Evidentní je například množství těles (Plutina) zachycených ve 3:2 rezonanci s Neptunem (na 39,4 AU), přičemž před i za je prázdné. Malhotra (1993) pozorování vysvětluje migrací Neptunu směrem od Slunce, při které se posouvala i 3:2 rezonance a tělesa „stojící v cestě“ mohla být zachycena. Nebeskomechanická teorie, využívající adiabatické přiblížení, nám říká:

1. k zachycení může dojít pro dráhy s $e \leq 0,05$;
2. zachycená tělesa se pohybují spolu s rezonancí;
3. přitom rostou jejich excentricity tak, že změna excentricity je úměrná změně velké poloosy Neptunu podle vztahu:

$$\Delta e^2 \simeq \frac{k}{j+k} \ln \frac{a_{\text{final}}}{a_{\text{initial}}},$$

kde $k : j + k$ odpovídá rezonanci 2:3.

Odtud není daleko k nápadu zjistit dnešní maximální excentricitu Plutina a vypočítat, o kolik Neptun migroval! Pro $\Delta e \simeq 0,25$ vychází $a_f - a_i \simeq 9$ AU, což je „neuvěřitelný“ kus! Na to, aby se Neptun tak výrazně pohнул, je potřeba disk planetesimál s hmotností okolo 50 M_{\oplus} .



Obr. 2 — Pozorované struktury v transneptunické oblasti. Převzato z Levison (2006).

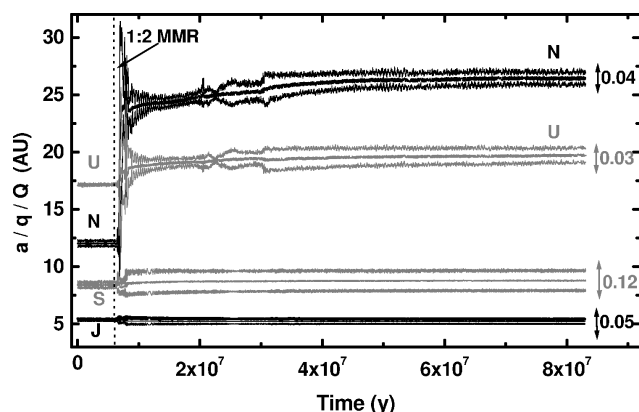
Podle novějších modelů („model z Nice“, Tsiganis aj., 2005) se však během prvních 700 Myr po vzniku Slunce poloosy změnily pomalou migrací jen o řádově 0,1 AU. K výraznější migraci došlo až poté.

0.1.2 Jupiter a Saturn v rezonanci 2:1

Při změnách velikých poloos se samozřejmě se odpovídajícím způsobem měnily i oběžné doby. Okolo 3,85 Gyr před současností Jupiter a Saturn prošly vzájemnou rezonancí 2:1; oběžná perioda Saturnu byla přesně dvakrát delší než Jupiterova. Následky? Tyto:

1. Konfigurace planet se stala nestabilní, rychle *vzrostly excentricity a sklony* drah všech velkých planet ($e, I \geq 0,1$); obzvláště sekulární perturbace Uranu, resp. prvního ledového obra, byly výrazné (obr. 3).

- Mezi Uranem, Neptunem, a možná i Saturnem, docházelo k *blízkým přiblížením*. Uran a Neptun si při nich mohly dokonce vyměnit pořadí!
- Neptun záhy vletěl přímo do planetesimálního disku, což byla pro planetesimály „katastrofa“. Více než 99 % jich bylo vymršťeno na excentrické dráhy, spadlo do Slunce nebo odletělo do vnějších částí sluneční soustavy. Jen nepatrná část zůstala v transneptunické oblasti (nebo byla zachycena ve vnitřní části sluneční soustavy).



Obr. 3 — Velká poloosa a , pericentrum q a apocentrum Q pro velké planety migrující v planetesimálním disku o hmotnosti $50 M_{\oplus}$. Po 700 Myr klidné migrace (zde není zobrazena celá) došlo k zachycení Jupiteru a Saturnu v rezonanci 2:1 středního pohybu, což mělo mimo jiné za následek posun Uranu a Neptunu do vnější části sluneční soustavy. Migrace Neptunu končí asi na 30 AU, což odpovídá vnější hranici disku. Převzato z Tsiganis aj. (2005).

Chaotické zachycení Trojanů. Okolí Jupiterových libračních bodů L_4 a L_5 bylo v období rezonance velmi nestabilní a spousta planetesimál se volně pohybovala z oblasti ven i dovnitř; po skončení rezonance se oblast stala náhle opět stabilní a všechny planetesimály, které tudy zrovna proplouly, zde zůstaly „uzamčeny“ — dnes jim říkáme Trojané a tvoří velmi početnou populaci asteroidů (čítající 10^7 těles větších než 1 km). Takové zachycení po skončení rezonance Jupiteru a Saturnu dobře vysvětluje i velký průměrný *sklon* drah Trojanů i značnou spektrální podobnost Trojanů a objektů TNO (obojí jsou taxonomické typy D).

Pozdní velké bombardování. S Měsícem se právě před 3,85 Gyr srazilo mnoho planetesimál a zanechalo jeho povrch zcela posetý krátery (říkáme tomuto období pozdního velkého bombardování, LHB);¹ radiometrická měření

¹ Velké impakty v závěru období velkého bombardování porušily kůru Měsíce, zpod které začala vytékat láva, a mezi 3,8 a 3,1 Gyr tak vznikla měsíční moře.

měsíčních hornin, přivezených loděmi Apollo, nám umožnila krátery přesně datovat, a zprostředkovaně tak víme, kdy vlastně došlo k oné rezonanci Jupiteru se Saturnem.

Dynamické tření. Interakce Jupiteru a Saturnu s planetesimálami neustávaly a zhruba po 1 Myr rezonanční stav skončil. Excentricity a sklony Uranu a Neptunu byly posléze tlumeny dynamickým třením okolních planetesimál, takže se ustálily na dnešních hodnotách $e, I \simeq 0,05$.

Od té doby byl orbitální vývoj ve sluneční soustavě už klidnější, soustava měla v hrubých rysech dnešní podobu.

0.1.3 Vliv planet na primordiální populace malých těles

Na dnešní malá tělesa ve sluneční soustavě můžeme nahlížet jako na pouhé zbytky po formování planet. Vždyť odhadovaný *úbytek materiálu* v hlavním pásu i transneptunické oblasti činí přes $\sim 99\%$. Nejdůležitějšími mechanismy, které se tomto úbytku podílely, jsou:

- excitace* (dnes už neexistujícími) planetárními embryi (zde mohl úbytek v hlavním pásu činit $\sim 90\%$);
- posun rezonancí* při migraci planet; zejména rezonance středního pohybu 3:1, 5:2, 2:1 s Jupiterem se posouvaly stejně jako Jupiter ke Slunci, skrz primordiální hlavní pás, a zvyšovaly excentricity planetek až se staly „křížiči“ drah planet. Sekulární rezonance ν_6 , jejíž poloha je určena sekulárními frekvencemi v planetárním systému, se při vzdalování Saturnu pohybovala směrem ke Slunci.
- blízká přiblížení* k planetám (kterými „trpěly“ transneptunické planetesimály); Zvláště opakovaná přiblížení mohou malá tělesa vymrštit z vnitřní části sluneční soustavy do velkých heliocentrických vzdáleností.

Pro názornost sestavme tabulku porovnávající původní a současné hmotnosti populací malých těles:

hmotnosti	primordiální	současné
hlavní pás	$\simeq 1M_{\oplus}$	$5 \cdot 10^{-4} M_{\oplus}$
Trojané	?	$10^{-5} M_{\oplus}$
transneptunické objekty	30 až $50 M_{\oplus}$	$0,1 M_{\oplus}$
Oortův oblak	nula	1 až $10 M_{\oplus}$

Tab. 1 — Porovnání primordiálních a současných hmotností populací malých těles. Transneptunické objekty zahrnují klasický Kuiperův pás (KBO), rozptýlený disk (SDO) a oddělený disk (detached SDO; sem patří Sedna).

Oortův oblak. Každý si všimne, že někde tělesa ubývala, ale někde naopak přibývala! Tím místem je Oortův oblak. Jeho zdrojem jsou zejména pri-

mordiální transneptunické planetesimály. Transport do vzdáleností 30 000 až 50 000 AU proběhl ve dvou krocích:

1. *vymrštění* těles planetami při blízkých přiblíženích, čímž ovšem vznikly extrémně *excentrické* dráhy mající pericentrum poblíž planety (odletující těleso musí mít trajektorii směřující od místa setkání, jinak by to odporovalo principu kauzality);
2. *externími vlivy*, ať už slapy Galaxie, přiblíženími cizích hvězd nebo velkých molekulárních oblaků, které postupně změň dráhy na kruhové, s *izotropně* rozloženými sklony. Typická doba, za kterou se Oortův oblak vytvoří, je 0,1 až 0,5 Gyr.

Není pak divu, že dlouhoperiodické komety, přilétající z Oortova oblaku, mají podobná spektra jako transneptunická tělesa.

Literatura

- [1] ALVAREZ, L. W., ALVAREZ, W., ASARO, F., MICHEL, H. V.: *Extraterrestrial cause for the Cretaceous Tertiary extinction*. *Science*, **208**, s. 1095, 1980.
- [2] ARTEMIEVA, N., PIERAZZO, E., STÖEFFLER, D.: *Numerical modeling of tektite origin in oblique impacts: Implications to Ries-Moldavites strewn field*. *Bull. of the Czech Geological Survey*, **77**, 4, s. 303–311, 2002.
- [3] BEATTY, J. K., PETERSEN, C. C., CHAIKIN, A.: *The New Solar System*. Cambridge University Press, Cambridge, 1999.
- [4] BERNARD, J. H., ROST, R. aj.: *Encyklopedický přehled minerálů*. Praha: Academia, 1992.
- [5] BERTOTTI, B., FARINELLA, P., VOKROUHLICKÝ, D.: *Physics of the Solar System*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 2003. ISBN 1402014287.
- [6] BOČEK, M.: *Petrologické složení povrchu a kůry Měsíce. Povětroň*, **14**, S1, 3, 2006.
- [7] BOTTKE, W. F., CELLINO, A., PAOLICCHI, P., BINZEL, R. P. (editoři): *Asteroids III*. Tuscon: The University of Arizona Press, 2002. ISBN 0816522812.
- [8] BOTTKE, W. F., RUBINCAM, D. P., BURNS, J. A.: *Dynamical evolution of main belt meteoroids: Numerical simulations incorporating planetary perturbations and Yarkovsky thermal forces*. *Icarus*, **145**, s. 301–331, 2000.
- [9] BOTTKE, W. F., VOKROUHLICKÝ, D., NESVORNÝ, D.: *An asteroid breakup 160 Myr ago as the probable source of the K/T impactor*. *Nature*, **449**, 7158, s. 48–53.
- [10] BOTTKE, W. F. aj.: *Debiased orbital and absolute magnitude distribution of the near-Earth objects*. *Icarus*, **156**, 2, s. 399–433, 2002.
- [11] BOWELL, T.: *AstOrb* [online]. [cit. 2008-09-30]. <ftp://ftp.lowell.edu/pub/elgb/astorb.html>.
- [12] BROŽ, M.: *Impaktní kráter Steinheim*. *Povětroň* S1/2003, s. 3–10.
- [13] BROŽ, M.: *Impaktní krátery (2) — Ries*. *Povětroň* 5/2001, s. 6–13.
- [14] BROŽ, M.: *Yarkovsky Effect and the Dynamics of the Solar System*. Dizertační práce, Karlova univerzita, Praha, 2006.
- [15] BROŽ, M.: *Yarko-site* [online]. [cit. 2008-09-30]. <http://sirrah.troja.mff.cuni.cz/yarko-site/>.
- [16] BROŽ, M. aj.: *Planetární stezka v Hradci Králové* [online]. [cit. 2008-12-10]. http://www.astrohk.cz/planetarni_stezka/.
- [17] BROŽ, M., NOSEK, M., TREBICHAVSKÝ, J., PECINOVÁ, D. Editoři : *Sluneční hodiny na pevných stanovištích. Čechy, Morava, Slezsko a Slovensko*. Praha: Academia, 2004. ISBN 80-200-1204-4.
- [18] BRUNS, H., *Acta Math.*, **11**, s. 25, 1887.
- [19] BURBINE, T. H. aj.: *Meteoritic parent bodies: their number and identification*. in *Asteroids III*, W. F. Bottke Jr., A. Cellino, P. Paolicchi, a R. P. Binzel (eds), Tuscon: University of Arizona Press, 2002, s. 653–667.
- [20] BURNS, J. A., SAFRONOV, V. S.: *Asteroid nutation angles*. *Mon. Not. R. Astr. Soc.*, **165**, 403, 1973.
- [21] CALLIGAN, D. P., BAGGALEY, W. J.: *The radiant distribution of AMOR radar meteors*. *Mon. Not. R. Astron. Soc.*, **359**, s. 551–560, 2005.
- [22] ČEPLCHA, Z.: *Geometric, dynamic, orbital and photometric data on meteoroids from photographic fireball networks*. *Bull. Astron. Inst. Czechosl.*, **38**, s. 222–234, 1987.
- [23] ČEPLCHA, Z. aj.: *Meteor phenomena and bolides*. *Space Science Reviews*, **84**, s. 327–471, 1998.
- [24] *Cryovolcanism and Geologic Analogies* [online]. [cit. 2009-04-30]. <http://mivo-sys.tripod.com/cryo.html>.
- [25] ČÁPEK, D., VOKROUHLICKÝ, D.: *The YORP effect with finite thermal conductivity*. *Icarus*, **172**, s. 526–536, 2004.
- [26] FARINELLA, P., VOKROUHLICKÝ, D., HARTMANN, W. K.: *Meteorite delivery via Yarkovsky orbital drift*. *Icarus*, **132**, s. 378–387, 1998.
- [27] FERNÁNDEZ, J. A.: *Comets. Nature, dynamics, origin and their cosmogonical relevance*. Dordrecht: Springer, 2005.
- [28] FESTOU, M. C., KELLER, H. U., WEAVER, H. A. (ed.): *Comets II*. Tuscon: The University of Arizona Press, 2004.
- [29] FRANKEL, C.: *Volcanoes of the Solar System*. Cambridge: Cambridge Univ. Press, 1996. ISBN 0521477700.
- [30] GABZDYL, P.: *Prohlídka Měsíce* [online]. [cit. 2009-02-05]. <http://www.moon.astronomy.cz/>.
- [31] *Geologischer Wanderweg im Steinheimer Becken* [online]. [cit. 2003-1-1]. <http://www.pg.aa.bw.schule.de/aktiv/geoproj/sbecken/wanderfr.htm>
- [32] GRADY, M. M.: *Catalogue of meteorites*. Cambridge: Cambridge University Press, 2000. ISBN 0521663032.
- [33] GROSCHOFF, P., REIFF, W.: *Der geologische Wanderweg im Steinheimer Becken*. Steinheim am Albuch, 1993.
- [34] HAGIHARA, Y.: *Celestial Mechanics I*. Cambridge: MIT Press, 1970.
- [35] HALODA, J.: *Meteority a jejich význam pro studium procesů vzniku a vývoje těles sluneční soustavy* [online]. [cit. 2009-01-29]. <http://astro.mff.cuni.cz/vyuka/AST021/index.html>.
- [36] HIRAYAMA, K.: *Groups of asteroids probably of common origin*. *Astron. J.*, **31**, 743, s. 185–188, 1918.
- [37] HOLMES, N.: *‘Shocking’ gas-gun experiments* [online]. [cit. 2008-11-13]. <https://www.llnl.gov/str/Holmes.html>.
- [38] HOLSAPPLE, K. aj.: *Asteroid spin data: no evidence of rubble-pile structures*. 36th Lunar and Planetary Science Conference, League City, Texas, 2005.
- [39] HUTCHISON, R.: *Meteorites: A Petrologic, Chemical and Isotopic Synthesis*. Cambridge: Cambridge University Press, 2006. ISBN 0521035392.
- [40] CHESLEY, S. R., aj.: *Direct detection of the Yarkovsky effect by radar ranging to asteroid 6489 Golevka*. *Science*, **302**, s. 1739–1742, 2003.
- [41] CHLUPÁČ, I. aj.: *Geologická minulost České republiky*. Praha: Academia, 2002.
- [42] *International Earth Rotation and Reference Systems Service* [online]. [cit. 2008-11-13]. <http://www.iers.org/>.
- [43] IVEZIČ, Ž. aj.: *Solar System objects observed in the Sloan Digital Sky Survey commissioning data*. *Astron. J.*, **122**, 5, s. 2749–2784, 2001.
- [44] JENNISKENS, P.: *Meteor showers and their parent comets*. Cambridge: Cambridge University Press, 2006. ISBN 0521853491
- [45] JOHANSENN, A. aj.: *Rapid planetesimal formation in turbulent circumstellar disks*. *Nature*, **448**, 7157, s. 1022–1025, 2007.
- [46] JOHNSON, C.: *Precession of a gyroscope and precession of the Earth’s axis* [online]. [cit. 2008-09-10]. <http://www.mb-soft.com/public/precess.html>.
- [47] *JPL Horizons system* [online]. [cit. 2008-09-30]. <http://ssd.jpl.nasa.gov/?horizons>.
- [48] *JPL planetary and lunar ephemerides, DE405* [online]. [cit. 2008-09-30]. <ftp://ssd.jpl.nasa.gov/pub/eph/planets/>.

- [49] KAASALAINEN, M. aj.: *Acceleration of the rotation of asteroid 1862 Apollo by radiation torques*. *Nature*, **446**, 7134, s. 420–422, 2007.
- [50] KAVASCH, J.: *The Ries Meteorite Crater. A geological guide*. Donauwörth: Ludwig Auer GmbH, 1985.
- [51] KELLEY, M. S.: *Comet dust trails* [online]. [cit. 2009-01-31]. (<http://www.physics.ucf.edu/~msk/projects/trails/>).
- [52] KENKMAN, T. aj.: *Structure and formation of a central uplift: A case study at the Upheaval Dome impact crater, Utah*. in Large Meteorite Impacts III, s. 85, 2003. ISBN 0813723841. (<http://books.google.com/>).
- [53] KOZAI, Y.: *Secular perturbations of asteroids with high inclination and eccentricity*. *Astron. J.*, **67**, 9, 591, 1962.
- [54] KRING, D. A., BAILEY, J.: *Terrestrial impact craters* [online]. [cit. 2008-11-13]. (http://www.lpi.usra.edu/science/kring/epo_web/impact_cratering/World_Craters_web/intromap.html).
- [55] KRONK, G.: *Cometography* [online]. [cit. 2009-01-20]. (<http://cometography.com/>).
- [56] LEVISON, H., DUNCAN, M.: *Swift* [online]. [cit. 2008-09-30]. (<http://www.boulder.swri.edu/~hal/swift.html>).
- [57] MANNINGS, V. aj. (Ed.): *Protostars and planets IV*. Tuscon: The University of Arizona Press, 2000. ISBN 0816520593.
- [58] MARCAN, S.: *Phase diagram explanation* [online]. [cit. 2009-01-20]. (<http://bhs.smuhsd.org/science-dept/marcan/>).
- [59] MCFADDEN, L.–A., WEISSMAN, P. R., JOHNSON, T. V. (Ed.): *Encyclopedia of the Solar System*. San Diego: Academic Press, 2007. ISBN 012088589.
- [60] MCSWEEN, H. Y.: *Meteorites and their parent planets*. Cambridge: Cambridge University Press, 1987.
- [61] *MIAC. Antarctic meteorites* [online]. [cit. 2009-01-28]. (<http://miac.uqac.ca/MIAC/antarc.htm>).
- [62] MILANI, A., KNEŽEVIĆ, Z.: *Asteroid proper elements and the dynamical structure of the asteroid main belt*. *Icarus*, **107**, 2, s. 219–254, 1994.
- [63] *Minor planet & comet ephemeris service* [online]. [cit. 2008-09-30]. (<http://www.cfa.harvard.edu/iau/MPEph/MPEph.html>).
- [64] MORBIDELLI, A., CRIDA, A., MASSET, F., NELSON, R. P.: *Building giant-planet cores at a planet trap*. *Astron. Astrophys.*, **478**, s. 929–937, 2008.
- [65] MORBIDELLI, A., LEVISON, H.: *Scenarios for the origin of the orbits of the trans-neptunian objects 2000 CR₁₀₅ and 2003 VB₁₂ (Sedna)*. *Astron. J.*, **128**, 2564, 2004.
- [66] MORBIDELLI, A. aj.: *Source regions and timescales for the delivery of water to Earth*. *Meteoritics & Planetary Science*, **35**, 6, s. 1309–1320, 2000.
- [67] MURRAY, C. D., DERMOTT, S. F.: *Solar System Dynamics*. Cambridge: Cambridge University Press, 1999.
- [68] *National Space Science Data Center* [online]. [cit. 2009-02-17]. (<http://nssdc.gsfc.nasa.gov/>).
- [69] NESVORNÝ, D., MORBIDELLI, A.: *Three-body mean motion resonances and the chaotic structure of the asteroid belt*. *Astron. J.*, **116**, 3029, 1998.
- [70] NESVORNÝ, D., VOKROUHLICKÝ, D.: *Analytic theory of the YORP effect for near-spherical objects*. *Astron. J.*, **134**, 5, s. 1750–1768, 2007.
- [71] NESVORNÝ, D. aj.: *Evidence for asteroid space weathering from the Sloan Digital Sky Survey*. *Icarus*, **173**, 1, s. 132–152, 2005.
- [72] NORTON, O. R.: *The Cambridge Encyclopedia of Meteorites*. Cambridge: Cambridge University Press, 2002. ISBN 0521621437.
- [73] ÖPIK, E. J.: *Collision probability with the planets and the distribution of planetary matter*. *Proc. R. Irish Acad.*, **54**, s. 165–199, 1951.
- [74] OSTRO, S.J. aj.: *Radar imaging of binary near-Earth asteroid (66391) 1999 KW₄*. *Science*, **314**, 5803, s. 1276–1280, 2006.
- [75] DE PATER, I., LISSAUER, J. J.: *Planetary Sciences*. Cambridge: Cambridge University Press, 2001. ISBN 0521482194.
- [76] PECINA, P., CEPLECHA, Z.: *New aspects of in single-body meteor physics..* *Bull. Astron. Inst. Czechosl.*, **34**, 102, 1983.
- [77] PECINA, P., NOVÁKOVÁ, D.: *Meteorický radar v Ondřejově. Povětroň*, **10**, 6, s. 4, 2002.
- [78] PETERSON, C.: *A source mechanism for meteorites controlled by the Yarkovsky effect*. *Icarus*, **29**, s. 91–111, 1976.
- [79] POKORNÝ, Z.: *Astronomické algoritmy pro kalkulátory*. Praha: Hvězdárna a planetárium hl. m. Prahy, 1988.
- [80] PÖSGES, G., SCHIEBER, M.: *The Ries Crater – Museum Nördlingen*. München: Dr. Friedrich Pfeil, 1997.
- [81] PRAVEC, P. aj.: *Two-period lightcurves of 1996 FG₃, 1998 PG, and (5407) 1992 AX: One probable and two possible binary asteroids*. *Icarus*, **146**, 1, s. 190–203, 2000.
- [82] PRAVEC, P. aj.: *Ondřejov Asteroid Photometry Project* [online]. [cit. 2008-09-09]. (<http://www.asu.cas.cz/~ppravec/>).
- [83] PŘÍHODA, P. aj.: *Hvězdářská ročenka 2008*. Praha: Hvězdárna a planetárium hl. m. Prahy, 2007. ISBN 978-80-86017-47-1
- [84] QUINN, T. R., TREMAINE, S., DUNCAN, M.: *A three million year integration of the earth's orbit*. *Astron. J.*, **101**, s. 2287–2305, 1991.
- [85] *Rieskrater–Museum Nördlingen* [online]. [cit. 2001-1-1]. (<http://www.iaag.geo.uni-muenchen.de/sammlung/Rieskrater/RieskraterMuseum.html>)
- [86] RUBIN, A. E.: *Mineralogy of meteorite groups. Meteoritics and Planetary Science*, **32**, 231, 1997.
- [87] RUBINCAM, D. P.: *Polar wander on Triton and Pluto due to volatile migration*. *Icarus*, **163**, 2, s. 63–71, 2002.
- [88] RUSSEL, C. T. aj.: *Dawn mission and operations*. Asteroids, Comets, Meteors 2005, editoři Lazzaro, D., Ferraz-Mello, S., Fernandez, J. A., Cambridge: Cambridge University Press, 2006, s. 97–119.
- [89] SEIDELMAN, P. K. (editor): *Explanatory Supplement to the Astronomical Almanac*. U. S. Naval Observatory, Washington, 1992.
- [90] SEPKOSKI, J. J.: *Ten years in the library: New data confirm paleontological patterns*. *Paleobiology*, **19**, s. 43–51, 1993.
- [91] SKÁLA, R.: *Impact process: An important geological phenomenon*. *Acta Mus. Nat-Pragae*, Ser. B., Hist. Nat., **52**, s. 111–156, 1996.
- [92] SPURNÝ, P.: *Fotografické sledování bolidů ve střední Evropě*. *Corona Pragensis*, 2, 2001, (<http://praha.astro.cz/crp/0101a.phtml>).
- [93] *Stardust, JPL, NASA* [online]. [cit. 2006-06-01]. (<http://stardust.jpl.nasa.gov>).
- [94] STAUDACHER, T. aj.: *⁴⁰Ar/³⁹Ar ages of rocks and glasses from the Noerdlinger Ries crater and the temperature history of impact breccias*. *J. of Geophysics*, **51**, 1, 1982, s. 1–11.
- [95] STUART, J. S.: *A Near-Earth asteroid population estimate from the LINEAR Survey*. *Science*, **294**, 5547, s. 1691–1693, 2001.
- [96] SUNDMAN, K. E.: *Memoire sur le probleme de trois corps*. *Acta Math.*, **36**, s. 105–179, 1912.

- [97] ŠIDLICHOVSKÝ, M., NESVORNÝ, D.: *Frequency modified Fourier transform and its applications to asteroids. Cel. Mech. Dyn. Astron.*, **65**, 1–2, s. 137–148, 1996.
- [98] TILLOTSON, J. H.: *Metallic equations of state for hypervelocity impact*. General Atomic Report GA-3216, 1962.
- [99] *The Ries/Steinheim impact crater field trip* [online]. [cit. 2001-1-1]. (<http://www.-earthsciences.ucl.ac.uk/research/planetaryweb/field/knodle.htm>)
- [100] TSIGANIS, K., GOMES, R., MORBIDELLI, A., LEVISON, H. F.: *Origin of the orbital architecture of the giant planets of the solar system. Nature*, **435**, s. 459, 2004.
- [101] TUČEK, K.: *Meteority a jejich výskyty v Československu*. Praha: Academia, 1981.
- [102] VOKROUHLICKÝ, D.: *A complete linear model for the Yarkovsky thermal force on spherical asteroid fragments. Astron. Astrophys.*, **344**, s. 362–366, 1999.
- [103] VOKROUHLICKÝ, D., FARINELLA, P.: *Efficient delivery of meteorites to the Earth from a wide range of asteroid parent bodies. Nature*, **407**, 6804, 606, 2000.
- [104] VOKROUHLICKÝ, D., NESVORNÝ, D.: *Pairs of asteroids probably of a common origin. Astron. J.*, **136**, 1, s. 280–290, 2008.
- [105] VOKROUHLICKÝ, D., aj.: *Yarkovsky/YORP chronology of asteroid families. Icarus*, **182**, 1, s. 118–142, 2006.
- [106] WEIDENSCHILLING, S. J.: *Formation of Planetesimals and Accretion of the Terrestrial Planets. Space Science Reviews*, **92**, 1/2, s. 295–310, 2000.
- [107] *Wikipedia* [online]. [cit. 2008-04-10]. (<http://www.wikipedia.org/>).
- [108] WHIPPLE, F.: *A comet model. I. The acceleration of Comet Encke. Astrophys. J.*, **111**, s. 375–394, 1950.
- [109] WOLF, M. aj.: *Astronomická příručka*. Praha: Academia, 1992. ISBN 802000467X.
- [110] ZEĽDOVITCH, Ya. B. aj.: *Physics of shock waves and high-temperature hydrodynamic phenomena*. 1966. ISBN 0486420027. (<http://books.google.com>).