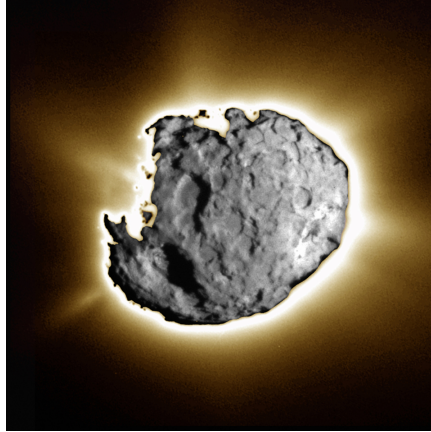


## 0.1 Negravitační zrychlení

### 0.1.1 Raketový jev na kometách

Ukázkovými případy, kde negravitační síly hrají velkou roli, jsou komety (obr. 1). Fungují tak, že elektromagnetické záření Slunce je pohlceno povrchem jádra komety a způsobí v něm zvýšení vnitřní energie (kinetické energie molekul). Tím se vybudí elektromagnetické vazby mezi molekulami natolik, že pevná látka *změní skupenství* na plyn (rozpadne se krystalová mřížka vodního ledu), a pak se naplno projeví elektromagnetická odpudivá síla mezi molekulami plynu. V okolí komety totiž existuje *gradient tlaku* (okolo je vakuum s  $p \doteq 0$ ), který plyn nutí k rozpínání. Přitom jsou strhávána i prachová zrníčka. Podle III. Newtonova zákona akce a reakce je změna hybnosti plynu a prachu kompenzována změnou hybnosti jádra komety. Říká se tomu *raketový jev*. Protože k ohřevu a k výtryskům dochází na denní straně komety, je před průchodem periheliem kometa brzděna (neboť výtrysky směřují spíše proti směru pohybu) a po průletu naopak urychlována. Protože komety bývají aktivnější až po průletu periheliem, převažuje ono urychlování v dráze.



Obrázek 1: Složený snímek komety 81P/Wild 2 pořízený sondou Stardust 2. ledna 2004. Krátká expozice ukazuje povrchovou topografii a dlouhá expozice několik aktivních výtrysků. Jádro má průměr přibližně 5 kilometrů. Převzato z [181].

Pohyb komety ovlivněný raketovým jevem se obvykle popisuje následující rovnicí:

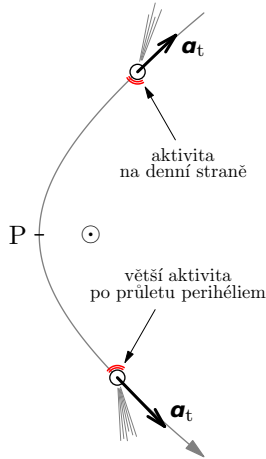
$$\frac{d^2 \mathbf{r}}{dt^2} = -\frac{GM_{\odot}}{r^2} \hat{\mathbf{r}} + \nabla \mathcal{R} + A_1 \eta(r) \hat{\mathbf{r}} + A_2 \eta(r) \hat{\mathbf{T}} + A_3 \eta(r) \hat{\mathbf{n}}, \quad (1)$$

kde:

$$\eta(r) = \eta_1 \left( \frac{r}{r_0} \right)^{-\eta_2} \left[ 1 + \left( \frac{r}{r_0} \right)^{\eta_3} \right]^{-\eta_4}, \quad (2)$$

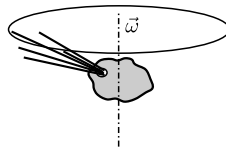
$\mathbf{r}$  označuje heliocentrický polohový vektor komety,  $\nabla\mathcal{R}$  gradient poruchové funkce vyjadřující gravitační perturbace od planet. Koeficienty  $A_1$ ,  $A_2$ ,  $A_3$  popisují negravitační zrychlení ve směrech jednotkových vektorů  $\hat{\mathbf{r}}$  (radiálně od Slunce),  $\hat{\mathbf{T}}$  (kolmo na  $\hat{\mathbf{r}}$  v rovině dráhy) a  $\hat{\mathbf{n}}$  (kolmo k rovině dráhy). Tato čísla se určují pro každou kometu zvlášť (a jsou i součástí katalogů drah).

Hodnota  $A_1$  je obecně mnohem větší než  $A_2$ , protože většina plynu je uvolňována poblíž subsolárního bodu. Pohybový účinek radiálně působící síly ale není tak významný, protože před průchodem perihelium kinetickou energii komety snižuje a po průchodu opět zvyšuje. Naopak tangenciální složka  $A_2\eta(R)\hat{\mathbf{T}}$  způsobuje pro prográdně rotující jádra vždy zvyšování kinetické energie. Třetí komponenta negravitační síly, s koeficientem  $A_3$ , je často zcela zanedbatelná. Pro kometu Hale–Bopp mají negravitační parametry hodnoty  $A_1 = +1,27$ ,  $A_2 = +0,1144$ . Změny aktivity komety s heliocentrickou vzdáleností jsou aproximovány funkcí  $\eta(r)$ . Pro vodní led se v současnosti používají následující hodnoty koeficientů [8]:  $r_0 = 2,808$  AU;  $\eta_1 = 0,111\,262$ ;  $\eta_2 = 2,15$ ;  $\eta_3 = 5,093$ ;  $\eta_4 = 4,6142$ .



Obrázek 2: Aktivita komety na denní straně jádra, situace před a po průletu perihéliem. Plyno-prachové výtrysky z jádra směřují ke Slunci, ale interakce plynu a prachu s přímým tlakem záření a slunečním větrem posléze způsobují, že ohony komet směřují od Slunce.

Přesnější popis zrychlení některých komet umožňuje novější *model rotujícího výtrysku* (Chesley a Yeomans 2005). Předpokládá, že na jádře komety je jeden aktivní výtrysk, jenž se s jádrem otáčí okolo osy a jehož aktivita je modulována slunečním zářením (obr. 3).



Obrázek 3: Výtrysk z kometárního jádra, který při rotaci opisuje plášť kužele.

Skutečnost, že sublimace ledu neprobíhá z celého povrchu kometárního jádra, ale je lokalizovaná, je ostatně zřejmá už ze spektroskopie. Rovnovážná teplota  $T_{\text{eq}}$  povrchu komety (určená ze vztahu ?? dále) totiž vychází asi 300 K při  $r_{\odot} = 1 \text{ AU}$ . Měřené maximum vyzařování (v IR oboru) ale také odpovídá teplotě okolo 300 K! Přitom kdyby se (na významné části povrchu) měnilo skupenství látky, musela by se část energie slunečního záření spotřebovávat a povrch by se tak efektivně *ochlazoval* na teplotu o 100 K nižší, což je spor.

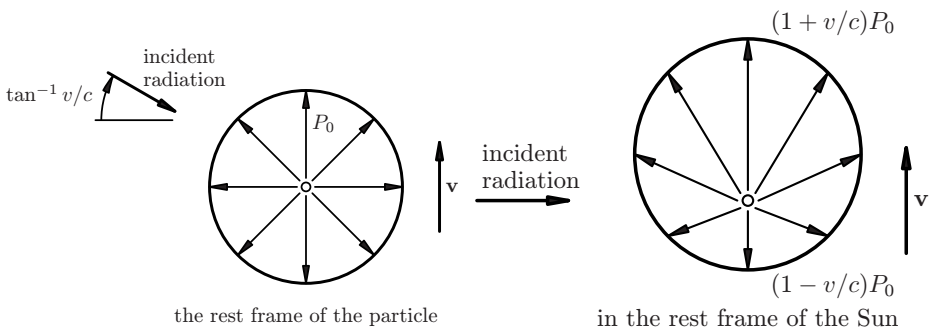
### 0.1.2 Poyntingův–Robertsonův jev na prachu

V případě planetek nás bude zajímat mnohem subtilnější elektromagnetický jev. Funguje takto: každé těleso má *nenulovou termodynamickou teplotu*, tudíž musí emitovat fotony (zejména infračervené) odnášející hybnost  $p = E/c = hf/c$ . Pokud je *emise záření neizotropní* (planetka je šišatá, nemá všude stejnou teplotu), vzniká tak negravitační zrychlení, jehož výsledné projevy na dráhovou dynamiku nazýváme *Jarkovského jev*, a případně moment síly měnící rotaci, což se v literatuře označuje jako *YORP jev*. Podrobně jsou oba jevy popsány v následující kapitole ??.

Pro prachové částice je však nejvýznamnější *Poyntingův–Robertsonův jev*, který lze přiblížit jako aberaci slunečního záření (obr. 4): více fotonů dopadá na pohybující se částici zepředu, čímž ji brzdí a nutí ji spirálovat směrem ke Slunci. Celkové radiační zrychlení lze vyjádřit jako [2]:

$$\mathbf{a}_{\text{rp}} = (Q_{\text{ab}} + gQ_{\text{sc}}) \frac{\Phi S}{mc} \left( \hat{\mathbf{r}} - \frac{\hat{\mathbf{r}} \cdot \mathbf{v}}{c} \hat{\mathbf{r}} - \frac{\mathbf{v}}{c} \right) + \mathcal{O}(v^2/c^2), \quad (3)$$

kde  $Q_{\text{ab}}$ ,  $Q_{\text{sc}}$  označují účinnosti absorpce a rozptylu,  $g$  vyjadřuje asymetrii mezi rozptylem dopředu ( $g = 0$ ) a dozadu ( $g = 2$ ),  $\Phi$  tok záření,  $S$  průřez tělesa,  $m$  jeho hmotnost a  $c$  rychlost světla. První člen v závorce reprezentuje přímý tlak záření, druhý odpovídá změně energie záření Dopplerovým jevem, poslední člen, mající opačný směr než rychlost  $\mathbf{v}$ , je Poyntingův–Robertsonův jev.



Obrázek 4: Poyntingův–Robertsonův jev nahlížený ve dvou souřadnicových soustavách: v soustavě spojené se Sluncem (vlevo) a v soustavě spojené s pohybující se částicí (vpravo). V prvním případě rozptyluje částice více záření (hybnosti) dopředu, a to z důvodu její nenulové rychlosti a Dopplerova jevu (rozptylový diagram je protažen dopředu). Ve druhém případě je rozptylování

izotropní, ale sluneční záření je ovlivněno relativistickou aberací a dopadá na částici převážně zředu (rychlost bývá řádu  $v \simeq 10 \text{ km/s}$ , takže aberační úhel  $\phi \simeq \frac{v}{c} \doteq 3 \cdot 10^{-5} \text{ rad} \doteq 7''$ ). Oba pohledy jsou ekvivalentní. Částice je zpomalována, spiráluje směrem k Slunci a její dráha se stává kruhovou (tzn. že velká poloosa i excentricita klesají). Upraveno podle Burns aj. (1979). Odpovídající časovou škálu, za kterou částice spadne do Slunce, můžeme odhadnout ze vztahu:

$$\tau_d = 7 \times 10^6 \text{ yr} \left( \frac{\rho}{\text{g/cm}^3} \right) \left( \frac{R}{\text{cm}} \right) \left( \frac{r}{\text{AU}} \right)^2 \text{ (podle [2])}.$$

Odvození relativistického vztahu pro radiační sílu sleduje původní práce Robertsona (1937), pouze je změněna notace tak, aby odpovídala kap. ???. Nejprve budeme děj popisovat v soustavě  $S'$  spojené s prachovou částicí, až později přejdeme do soustavy  $S$  spojené se Sluncem. Minkowskiho čtyřsila působící na částici v  $S'$  je definována jako:

$$F_M^{i'} \equiv \gamma_{v'} \left( \frac{\mathbf{v}' \cdot \mathbf{F}'}{c}, \mathbf{F}' \right) = (0, \mathbf{F}').$$

Záření nese hybnost  $d\mathbf{p}' = \frac{dE'}{c} \mathbf{n}'$  ve směru jednotkového vektoru  $\mathbf{n}'$ . Celková hybnost záření plus částice se zachovává, takže při úplné absorpci záření částicí se o stejnou hodnotu změní hybnost částice, čili na ni působí síla:<sup>1</sup>

$$\mathbf{F}' = \frac{d\mathbf{p}'}{dT'} = \frac{1}{c} \frac{dE'}{dT'} \mathbf{n}' = \frac{1}{c} \Phi' S \mathbf{n}',$$

kde  $\Phi'$  označuje tok záření,  $S$  průřez částice. Výsledný vztah:

$$F_M^{i'} = \left( 0, \frac{\Phi' S}{c} \mathbf{n}' \right) \quad (4)$$

se nám ale příliš nehodí pro transformaci do  $S$ ; museli bychom počítat složité Lorentzovy transformace. Ideálně bychom chtěli vše vyjádřit pomocí čtyřvektorů (nebo tenzorů), které se transformují snadno — prostě se opiší v nečárkovaných souřadnicích.

Máme zde čtyřrychlost částice (mající pouze časovou složku, neboť  $\mathbf{v}' = 0$ ):

$$u^{i'} \equiv \frac{\gamma_{v'}}{c} (c, \mathbf{v}') = (1, 0, 0, 0), \quad (5)$$

čtyřrychlost záření (neboli nulový vektor, pro který platí  $\eta_{ik} n'^i n'^k = 0$ ):

$$n'^i \equiv (n'^0, \mathbf{n}'); \quad (6)$$

pro úplnost napíšeme i tenzor energie a hybnosti pro záření:

$$T'^{ik} = \Phi' \frac{n'^i n'^k}{(n'^0)^2}, \quad (7)$$

jehož složka  $T'^{00} = \Phi'$  určuje hustotu energie, složky  $T'^{10}, T'^{20}, T'^{30}$  hustotu hybnosti (v prostoro-  
vém směru  $\mathbf{n}'$ ) atd.

Kdybychom chtěli ve výrazu (4) naivně použít pouze čtyřvektor  $n'^i$  a sestavili relativistickou pohybovou rovnici:

$$F_M^{i'} = \frac{\Phi' S}{c} \frac{n'^i}{n'^0} = \frac{dP^{i'}}{d\tau} \equiv \frac{d}{d\tau} \left( \frac{E'}{c}, \mathbf{p}' \right),$$

<sup>1</sup> V klidové soustavě  $S'$  můžeme bez obav používat klasických (nerelativistických) vztahů pro interakci záření a částice; snadno bych zde popsali i částečnou absorpci a rozptyl, vyjádřené faktory  $Q_{\text{ab}}, gQ_{\text{sc}}$ .

zjistili bychom, že *klidová* energie  $E'$  (složka 0 rovnice) má nenulovou derivaci! To je ale v rozporu s požadavkem, aby částice byla v rovnováze se zářením, tj. aby absorbovanou energii opět emitovala a aby klidová hmotnost částice byla konstantní. Proto musíme tento růst kompenzovat druhým členem, přičemž využijeme čtyřvektor  $u'^i$  (má totiž nenulovou právě jen složku 0):

$$F_M^i = \frac{\Phi' S}{c} \frac{n'^i}{n'^0} - \frac{\Phi' S}{c} u'^i. \quad (8)$$

Problémem zůstávají skaláry  $\Phi'$  a  $n'^0$ . Naštěstí je lze snadno získat jako skalární součiny čtyřvektorů (nebo tenzorů):

$$n'^0 = n'^i u'^i, \quad (9)$$

$$\Phi' = T'^{00} = T'^{ik} u'^i u'^k, \quad (10)$$

což už je plně kovariantní formulace!

V systému  $S$  tak můžeme rovnou psát:

$$F_M^i = \frac{T^{ik} u^i u^k S}{c} \frac{n^i}{n^i u^i} - \frac{T^{ik} u^i u^k S}{c} u^i. \quad (11)$$

Přejdeme-li od čtyřrozměrné formulace zpět k trojrozměrné:

$$F_M^i \equiv \gamma_v \left( \frac{\mathbf{v} \cdot \mathbf{F}}{c}, \mathbf{F} \right),$$

$$u^i \equiv \frac{\gamma_v}{c} (c, \mathbf{v}),$$

$$n^i \equiv (n^0, n^0 \mathbf{n}) = (1, \mathbf{n}),$$

$$n^i u^i = 1 \cdot \gamma_v - \mathbf{n} \cdot \frac{\gamma_v}{c} \mathbf{v} = \gamma_v \left( 1 - \frac{\mathbf{n} \cdot \mathbf{v}}{c} \right), \quad (12)$$

$$T^{ik} u^i u^k = \Phi \frac{n^i n^k}{(n^0)^2} u^i u^k = \Phi (n^i u^i)^2, \quad (13)$$

pro prostorové složky rovnice (11) platí:

$$\gamma_v \mathbf{F} = \frac{\Phi S}{c} \gamma_v \left( 1 - \frac{\mathbf{n} \cdot \mathbf{v}}{c} \right) \mathbf{n} - \frac{\Phi S}{c} \gamma_v^2 \left( 1 - \frac{\mathbf{n} \cdot \mathbf{v}}{c} \right)^2 \frac{\gamma_v}{c} \mathbf{v},$$

neboli:

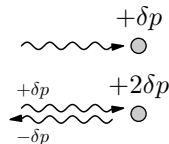
$$\mathbf{F} = \frac{\Phi S}{c} \left[ \left( 1 - \frac{\mathbf{n} \cdot \mathbf{v}}{c} \right) \mathbf{n} - \frac{\left( 1 - \frac{\mathbf{n} \cdot \mathbf{v}}{c} \right)^2}{1 - \frac{v^2}{c^2}} \frac{\mathbf{v}}{c} \right]. \quad (14)$$

Nakonec zanedbáme ve druhém členu vyšší mocniny  $v/c$ :

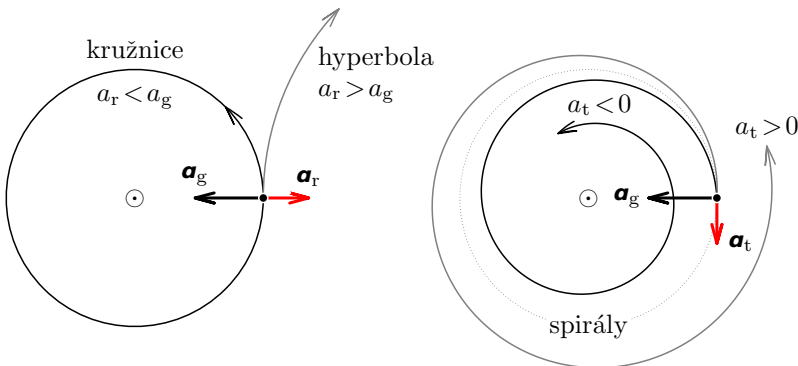
$$\mathbf{F} = \frac{\Phi S}{c} \left[ \mathbf{n} - \frac{\mathbf{n} \cdot \mathbf{v}}{c} \mathbf{n} - \frac{\mathbf{v}}{c} \right] + \mathcal{O}(v^2/c^2). \quad (15)$$

Na „nultý“ pohled by se mohlo zdát, že mnohem významnější než Jarkovského jev nebo Poyntingův–Robertsonův jev je *přímý tlak slunečního záření* (obr. 5). V absolutní velikosti je sice zrychlení od přímého tlaku větší, nicméně na dráhovou dynamiku to nemá příliš velký vliv, protože zrychlení je přesně *radiální*, míří

naproti gravitaci a jen nepatrně ji zmenšuje. Těleso tedy bude neustále obíhat okolo Slunce, jen o něco menší rychlostí. (Pouze u nejmenších prachových zrníček se může stát, že přímý tlak záření je *větší než gravitace*, a pak je samozřejmě vliv na dráhu zcela zásadní — zrníčko odletí po hyperbole ze sluneční soustavy.) Naproti tomu Jarkovského jev i Poyntingův–Robertsonův jev vykazují určitou nenulovou *transverzální* složku zrychlení, která po složení s gravitačním zrychlením Slunce způsobuje spirálování (obr. 6).



Obrázek 5: Kvalitativní popis přímého tlaku slunečního záření: při odrazu se hybnost fotonů změní o  $2\delta p$ , při absorpci pouze o jedno  $\delta p$ . Hybnost planetky se tedy podle zákona akce a reakce musí změnit o  $-2\delta p$ , resp. o  $-\delta p$ .

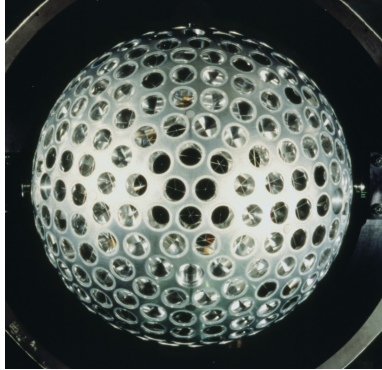


Obrázek 6: Pohybový účinek radiálního a transverzálního zrychlení působícího na planetku v gravitačním poli Slunce: v prvním případě je trajektorií kružnice (nebo hyperbola), ve druhém spirála.

### 0.1.3 Družice LAGEOS

Velikosti všech možných zrychlení budeme diskutovat na příkladu geodynamické družice LAGEOS, nikoli na přírodní planetce. Na této umělé družici Země lze totiž teorie ověřit měřením. Provádí se z pozemských stanic *laserovými dálkoměry*, které jsou schopné zaznamenávat vzdálenost  $r(t)$  i rychlost  $v(t)$ . Družice je navíc pěkně kulatá, známe přesně vodivost jejího materiálu, tepelnou kapacitu, hmotnost atd. (obr. 7).

Zjištěná okamžitá zrychlení, řazená podle velikosti, uvádí tab. 1. Na první pohled se může zdát podezřelé, že jsme schopni rozlišit zrychlení lišící se o deset řádů. Pointa je ale v tom, že pohybové účinky některých velkých zrychlení (např. slápu) pouze oscilují, ale u malých (např. Jarkovského jevu) se kumulují po dlouhou



Obrázek 7: Geodynamická družice LAGEOS — koule s poloměrem 30 cm a hmotností 410 kg, pokrytá 426 retro-reflektory, které umožňují její sledování lasery z pozemských observatoří. Obíhá ve výšce 5 900 km nad Zemí. Viz též tab. 1. Převzato z [2].

dobu! Navíc mívají různé jevy různé charakteristické periody. Observační mez pro sledování laserem je řádu  $10^{-12} \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$ .

Největší je pochopitelně gravitační zrychlení od Země. Přesněji, potenciální energii (normovanou na jednotku hmotnosti) gravitačního pole „šišaté“ Země obvykle rozvíjíme v řadu sférických harmonických funkcí  $Y_{\ell m}(\vartheta, \varphi)$ :

$$U(\mathbf{r}) = -\frac{GM}{r} \left[ 1 + \sum_{\ell=1}^{\infty} \left( \frac{R_{\oplus}}{r} \right)^{\ell} \sum_{m=-\ell}^{\ell} U_{\ell m} Y_{\ell m}(\vartheta, \varphi) \right] \quad (16)$$

a rozlišujeme příspěvky od jednotlivých stupňů  $\ell$ . Největší část zrychlení pochopitelně pochází od koule (monopólu s  $\ell = 0$ ). Následuje kvadrupól ( $\ell = 2, m = 0$  neboli zploštění elipsoidu) atd.<sup>2</sup> Příspěvky vysokého stupně, například  $\ell = 18$ , bychom si mohli představit jako vliv rozložení jednotlivých kontinentů.

Všimněme si, že nikde není započteno přímé gravitační zrychlení od Slunce, ale jen příslušné *slapy*. Důvod je jednoduchý: Slunce přitahuje zároveň Zemi, kolem které družice obíhá, čili na družici má vliv pouze rozdíl mezi gravitací v místě Země a gravitací v místě družice. Totéž platí pro Měsíc i Venuši.

Slapy od Slunce a Měsíce působí ale i komplikovanějším způsobem: deformují Zemi i oceány, čímž se mění geopotenciál (16) a objevují se dodatečná zrychlení na LAGEOS. Tomuto působení říkáme *dynamické slapy*.

Naproti tomu *kinematické slapy* jsou sice také vyvolané deformacemi Země a oceánů, ale pouze mění polohy pozemských měřících stanic vzhledem k družici. Kinematické slapy (ani pohyb pólu Země, ani změny délky dne  $\delta\text{LOD}$ ) tedy nejsou skutečná zrychlení působící na družici. Když je ovšem nezapočteme přímo, objeví se tyto jevy jako „zdánlivá“ zrychlení v měřeném signálu (jako pozorovatelé se nacházíme v neinerciální soustavě).

<sup>2</sup> Dipólní členy rozvoje geopotenciálu ( $\ell = 1, m = -1, 0, +1$ ) jsou ve vhodné zvolené souřadnicové soustavě nulové.

původ zrychlení	$a$ ( $\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$ )	$\sigma_a/a$
monopól Země	2,65	$2\cdot 10^{-9}$
zploštění Země $\ell = 2, m = 0$	0,001	$7\cdot 10^{-8}$
geopotenciál $\ell, m = 2$	$5,8\cdot 10^{-6}$	$3\cdot 10^{-5}$
slapy Měsíce	$2,1\cdot 10^{-6}$	$10^{-7}$
pohyb pólu a změny délky dne $\delta\text{LOD}$	$\leq 10^{-6}$	
slapy Slunce	$9,6\cdot 10^{-7}$	$4\cdot 10^{-10}$
$\ell, m = 6$	$8,8\cdot 10^{-8}$	$7\cdot 10^{-4}$
dynamické slapy pevnin	$3,7\cdot 10^{-8}$	0,002
kinematické slapy pevnin	$5,8\cdot 10^{-9}$	0,03
dynamické slapy oceánů	$3,7\cdot 10^{-9}$	0,1
přímý tlak záření Slunce	$3,2\cdot 10^{-9}$	0,02
kinematické přesuny oceánů	$10^{-9}$	0,2
relativistické jevy	$9,5\cdot 10^{-10}$	$2\cdot 10^{-9}$
albedo Země	$3,4\cdot 10^{-10}$	1
slapy Venuše	$1,3\cdot 10^{-10}$	$3\cdot 10^{-7}$
Jarkovského/YORP jev	$5\cdot 10^{-11}$	0,1
$\ell, m = 18$	$6,9\cdot 10^{-12}$	$4\cdot 10^{-2}$
změny souřadnicového systému kvůli netuhé Zemi	$3,5\cdot 10^{-12}$	0,1
tření o atmosféru	$1\cdot 10^{-12}$	0,3–1
Poyntingův–Robertsonův jev	$10^{-13}$	0,1
impakty mikrometeoritů	$10^{-13}$	
fotoelektrický jev (UV záření $\odot$ v ionosféře $\oplus$ )	$< 10^{-13}$	

Tabulka 1: Zrychlení  $a$  působící na družici LAGEOS a jejich relativní neurčitosti  $\sigma_a/a$ . Na jiné objekty by samozřejmě působila jinak velká zrychlení. Například družice na nízkých oběžných dráhách vykazují o mnoho řádů větší tření o atmosféru než LAGEOS. Meziplanetární sondy, jako je Cassini, vybavené termoelektrickými generátory, produkují dodatečné anizotropní infračervené záření a odpovídající zrychlení je řádu  $10^{-9} \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$ . Podle [2], str. 609 a 609.

Přesuny oceánů se dokonce projevují jako tlak na šelfy kontinentů, které pod tíhou vody klesají (řádově o 1 cm) a opět se mění poloha stanic. I tektonické pohyby kontinentů (řádu 1 cm/rok) lze zjišťovat tímto způsobem, jako časově proměnnou polohu stanic.

Radiační jevy jsou spíše na konci tabulky: přímý tlak slunečního záření, Jarkovského jev a Poyntingův–Robertsonův jev. Existují dva důležité zdroje záření, Slunce a Země, se kterými se musí počítat, a to včetně stínění Země, vlivu polostínu (částečného zakrytí Slunce) nebo proměnlivého albeda zemského povrchu.



# Literatura

## Učebnice

- [1] BEATTY, J. K., PETERSEN, C. C., CHAIKIN, A.: *The New Solar System*. Cambridge: Cambridge University Press, 1999. ISBN 0521369657.
- [2] BERTOTTI, B., FARINELLA, P., VOKROUHLICKÝ, D.: *Physics of the Solar System*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 2003. ISBN 1402014287.
- [3] BOTTKÉ, W. F., CELLINO, A., PAOLICCHI, P., BINZEL, R. P. (editoři): *Asteroids III*. Tuscon: The University of Arizona Press, 2002. ISBN 0816522812.
- [4] CANUP, R. M., RIGHTER, K. (editoři): *Origin of the Earth and Moon*. Tuscon: The University of Arizona Press, 2000. ISBN 0816520739.
- [5] FERNÁNDEZ, J. A.: *Comets. Nature, dynamics, origin and their cosmogonical relevance*. Dordrecht: Springer, 2005. ISBN 1402034903.
- [6] FESTOU, M. C., KELLER, H. U., WEAVER, H. A. (editoři): *Comets II*. Tuscon: The University of Arizona Press, 2004. ISBN 0816524505.
- [7] MURRAY, C. D., DERMOTT, S. F.: *Solar System Dynamics*. Cambridge: Cambridge University Press, 1999. ISBN 0521575974.
- [8] DE PATER, I., LISSAUER, J. J.: *Planetary Sciences*. Cambridge: Cambridge University Press, 2010. ISBN 0521853710.
- [9] SEIDELMAN, P. K. (editor): *Explanatory Supplement to the Astronomical Almanac*. Washington: U. S. Naval Observatory, 2005. ISBN 1891389459.

## Reference

- [10] ALVAREZ, L. W., ALVAREZ, W., ASARO, F., MICHEL, H. V.: *Extraterrestrial cause for the Cretaceous Tertiary extinction*. *Science*, **208**, s. 1095, 1980.
- [11] 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.
- [12] ASAY, J. R., SHAHINPOOR, M. (editoři): *High-pressure shock compression of solids*. Berlin: Springer-Verlag, 1993.
- [13] BARUCCI, M. A., BOEHNHARDT, H., CRUIKSHANK, D. P., MORBIDELLI, A. (editoři): *The Solar System beyond Neptune*. Tuscon: The University of Arizona Press, 2008. ISBN 978-0816527557.
- [14] BEAULIEU, J.-P. aj.: *Discovery of a cool planet of 5.5 Earth masses through gravitational microlensing*. *Nature*, **439**, 437, 2006.
- [15] BERNARD, J. H., ROST, R. aj.: *Encyklopedický přehled minerálů*. Praha: Academia, 1992.
- [16] BOČEK, M.: *Petrologické složení povrchu a kůry Měsíce*. *Povětroň*, **14**, S1, 3, 2006.
- [17] BOTTKÉ, W. F., LEVISON, H. F., NESVORNÝ, D., DONES, L.: *Can planetesimals left over from terrestrial planet formation produce the lunar Late Heavy Bombardment?*. *Icarus*, **190**, s. 203, 2007.
- [18] BOTTKÉ, 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.
- [19] BOTTKÉ, 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.

- [20] BOTTKÉ, W. F. aj.: *Debiased orbital and absolute magnitude distribution of the near-Earth objects. Icarus*, **156**, 2, s. 399–433, 2002.
- [21] BOTTKÉ, W. F. aj.: *The E-Belt: A possible missing link in the Late Heavy Bombardment. LPI Cont.*, **41**, s. 1269, 2010.
- [22] BOWELL, T.: *AstOrb* [online]. [cit. 2008-09-30].  
(<ftp://ftp.lowell.edu/pub/elgb/astorb.html>).
- [23] BOWELL, E. aj.: *Application of photometric models to asteroids.* in *Asteroids II*, R. Binzel, T. Gehlers, M. S. Matthews (eds), Tuscon: University of Arizona Press, 1989, s. 524–556.
- [24] BRASSER, R., MORBIDELLI, A., GOMES, R., TSIGANIS, K., LEVISON, H. F.: *Constructing the secular architecture of the solar system II: the terrestrial planets. Astron. Astrophys.*, **507**, s. 1053–1065, 2010.
- [25] BROŽ, M.: *Yarkovsky Effect and the Dynamics of the Solar System*. Dizertační práce, Karlova univerzita, Praha, 2006.
- [26] BROŽ, M.: *Yarko-site* [online]. [cit. 2008-09-30].  
(<http://sirrah.troja.mff.cuni.cz/~mira/mp/>).
- [27] BROŽ, M. aj.: *Planetární stezka v Hradci Králové* [online]. [cit. 2008-12-10].  
([http://www.astrohk.cz/planetarni\\_stezka/](http://www.astrohk.cz/planetarni_stezka/)).
- [28] BROŽ, M., NOSEK, M., TREBICHAVSKÝ, J., PECINOVÁ, D. (editoři): *Sluneční hodiny na pevných stanovištích. Čechy, Morava, Slezsko a Slovensko*. Praha: Academia, 2004. ISBN 8020012044.
- [29] BROŽ, M., VOKROUHLICKÝ, D.: *Asteroid families in the first-order resonances with Jupiter. Mon. Not. R. Astron. Soc.*, **390**, s. 715, 2008.
- [30] BRUNS, H., *Acta Math.*, **11**, s. 25, 1887.
- [31] 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.
- [32] BURNS, J. A., LAMY, P. L., SOTER, S.: *Radiation forces on small particles in the Solar System. Icarus*, **40**, s. 1–48, 1979.
- [33] BURNS, J. A., SAFRONOV, V. S.: *Asteroid nutation angles. Mon. Not. R. Astr. Soc.*, **165**, 403, 1973.
- [34] CALLIGAN, D. P., BAGGALEY, W. J.: *The radiant distribution of AMOR radar meteors. Mon. Not. R. Astron. Soc.*, **359**, s. 551–560, 2005.
- [35] CANUP, R. M.: *Origin of Saturn's rings and inner moons by mass removal from a lost Titan-sized satellite. Nature*, **468**, s. 943, 2010.
- [36] CAPITAINE, N. aj.: *Proceedings of the IERS Workshop on the Implementation of the New IAU Resolutions*. IERS Technical Note No. 29. Frankfurt am Main: Verlag des Bundesamts für Kartographie und Geodäsie, 2002.
- [37] CARROL, S. M.: *Lecture Notes on General Relativity* [online]. [cit. 2010-03-08].  
(<http://preposterousuniverse.com/grnotes/>).
- [38] CELLINO, A. aj.: *Polarimetric observations of small asteroids: Preliminary results. Icarus*, **138**, s. 129–140, 1999.
- [39] ČEPLIČKA, Z.: *Geometric, dynamic, orbital and photometric data on meteoroids from photographic fireball networks. Bull. Astron. Inst. Czechosl.*, **38**, s. 222–234, 1987.
- [40] ČEPLIČKA, Z. aj.: *Meteor phenomena and bolides. Space Science Reviews*, **84**, s. 327–471, 1998.
- [41] *Cryovolcanism and Geologic Analogies* [online]. [cit. 2009-04-30].  
(<http://mivo-sys.tripod.com/cryo.html>).
- [42] ČAPEK, D., VOKROUHLICKÝ, D.: *The YORP effect with finite thermal conductivity. Icarus*, **172**, s. 526–536, 2004.
- [43] DELBÒ, M.: *The nature of near-Earth asteroids from the study of their thermal infrared emission*. Ph.D. thesis, Freie Univ. Berlin, 2004.

- [44] DONES, L., WEISSMAN, P. R., LEVISON, H. F., DUNCAN, M. J.: *Oort cloud formation and dynamics*. in Comets II, M. C. Festou, H. U. Keller, H. A. Weaver (eds.), University of Arizona Press, Tucson, s. 153–174, 2004.
- [45] *Earthquakes* [online]. [cit. 2010-03-01].  
(<http://pubs.usgs.gov/gip/earthq1/plate.html>).
- [46] *Encyclopedia Britannica. Hadley cell* [online]. [cit. 2010-02-24].  
(<http://www.britannica.com/EBchecked/topic/251175/Hadley-cell>).
- [47] *Encyclopedia Britannica. Navigation* [online]. [cit. 2011-05-29].  
(<http://www.britannica.com/EBchecked/topic/407011/navigation>).
- [48] ESPOSITO, L. W.: *Planetary rings. Reports on Progress in Physics*, **65**, s. 1741–1783, 2002.
- [49] FAIRBAIRN, M. B.: *Principles of planetary photometry* [online]. [cit. 2012-06-05].  
(<http://orca.phys.uvic.ca/~tatum/plphot.html>), 2004.
- [50] FARINELLA, P., VOKROUHLICKÝ, D., HARTMANN, W. K.: *Meteorite delivery via Yarkovsky orbital drift. Icarus*, **132**, s. 378–387, 1998.
- [51] FOUCHARD, M. aj.: *The key role of massive stars in Oort cloud comets dynamics. Icarus*, **214**, s. 334–347, 2011.
- [52] FOUKAL, P. V.: *Solar Astrophysics*. Weinheim: Wiley-VCH, 2004. ISBN 3527403744.
- [53] FRANKEL, C.: *Volcanoes of the Solar System*. Cambridge: Cambridge Univ. Press, 1996. ISBN 0521477700.
- [54] GABZDYL, P.: *Prohlídka Měsíce* [online]. [cit. 2009-02-05].  
(<http://www.moon.astronomy.cz/>).
- [55] *Geologischer Wanderweg im Steinheimer Becken* [online]. [cit. 2003-1-1].  
(<http://www.pg.aa.bw.schule.de/aktiv/geoproj/sbecken/wanderfr.htm>).
- [56] GOMES, R., LEVISON, H. F., TSGANIS, K., MORBIDELLI, A.: *Origin of the cataclysmic Late Heavy Bombardment period of the terrestrial planets. Nature*, **435**, s. 466, 2005.
- [57] *GPS SPS Signal Specification* [online]. [cit. 2011-05-25].  
(<http://www.navcen.uscg.gov/pubs/gps/sigspec/gpssps1.pdf>).
- [58] GRADY, M. M.: *Catalogue of meteorites*. Cambridge: Cambridge University Press, 2000. ISBN 0521663032.
- [59] *Gravity Probe B* [online]. [cit. 2010-04-01]. (<http://einstein.stanford.edu/>).
- [60] GROSCHOFF, P., REIFF, W.: *Der geologische Wanderweg im Steinheimer Becken*. Steinheim am Albuch, 1993.
- [61] GÜDEL, M.: *The Sun in time: activity and environment* [online]. [cit. 2010-01-26]. *Living Rev. Solar Phys.*, **4**, 2007.
- [62] HACAR, B.: *Mechanika sluneční soustavy*. Praha: Jednota československých matematiků a fysiků, 1948.
- [63] HAGIHARA, Y.: *Celestial Mechanics I*. Cambridge: MIT Press, 1970.
- [64] 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>).
- [65] HAMILTON, A.: *Falling into a black hole* [online]. [cit. 2010-03-17].  
(<http://casa.colorado.edu/~ajsh/schw.shtml>).
- [66] HAPKE, B.: *Bidirectional reflectance spectroscopy. 5. The coherent backscatter opposition effect and anisotropic scattering. Icarus*, **157**, s. 523–534, 2002.
- [67] HARMANEC, P., BROŽ, M.: *Stavba a vývoj hvězd*. Praha: Matfyzpress, 2011. ISBN 9788073781651.
- [68] HARTOGH, P. aj.: *Ocean-like water in the Jupiter-family comet 103P/Hartley 2. Nature*, **478**, s. 218–220, 2011.
- [69] HIRAYAMA, K.: *Groups of asteroids probably of common origin. Astron. J.*, **31**, 743, s. 185–188, 1918.
- [70] HOLMES, N.: *‘Shocking’ gas-gun experiments* [online]. [cit. 2008-11-13].  
(<https://www.llnl.gov/str/Holmes.html>).

- [71] HOLSAPPLE, K. aj.: *Asteroid spin data: no evidence of rubble-pile structures*. 36th Lunar and Planetary Science Conference, League City, Texas, 2005.
- [72] HORSKÝ, J., NOVOTNÝ, J., ŠTEFANÍK, M.: *Mechanika ve fyzice*. Praha: Academia, 2001. ISBN 8020002081.
- [73] HOWE, R.: *Solar internal rotation and its variation* [online]. [cit. 2010-01-26]. *Living Rev. Solar Phys.*, **6**, 2009.
- [74] HUTCHISON, R.: *Meteorites: A Petrologic, Chemical and Isotopic Synthesis*. Cambridge: Cambridge University Press, 2006. ISBN 0521035392.
- [75] CHAMBERS, J. E.: *Planetary Migration: What Does It Mean for Planet Formation?*. *Annu. Rev. Earth Planet. Sci.*, **37**, s. 321–344, 2009.
- [76] CHANDRASEKHAR, S.: *The Mathematical Theory of Black Holes*. New York: Oxford University Press, 1998. ISBN 0198503709.
- [77] CHARBONNEAU, D. aj.: *Detection of Planetary Transits Across a Sun-like Star*. *Astrophys. J. Let.*, **529**, 1, s. L45–L48, 2000.
- [78] CHARBONNEAU, P.: *Dynamo models of the solar cycle* [online]. [cit. 2010-01-26]. *Living Rev. Solar Phys.*, **2**, 2005.
- [79] CHARNOZ, S., MORBIDELLI, A., DONES, L., SALMON, J.: *Did Saturn's rings form during the Late Heavy Bombardment?*. *Icarus*, **199**, s. 413, 2009.
- [80] CHESLEY, S. R., aj.: *Direct detection of the Yarkovsky effect by radar ranging to asteroid 6489 Golevka*. *Science*, **302**, s. 1739–1742, 2003.
- [81] CHLUPÁČ, I. aj.: *Geologická minulost České republiky*. Praha: Academia, 2002.
- [82] CHRISTENSEN-DALSGAARD, J.: *Stellar Oscillations* [online]. [cit. 2010-01-26]. <http://www.eneas.info/>. 2003.
- [83] *IAU Standards of Fundamental Astronomy* [online]. [cit. 2011-05-25]. <http://www.iausofa.org/>.
- [84] *International Earth Rotation and Reference Systems Service* [online]. [cit. 2008-11-13]. <http://www.iers.org/>.
- [85] *IERS Rapid Service* [online]. [cit. 2011-05-25]. (<http://maia.usno.navy.mil/>).
- [86] IVEZIĆ, Ž. aj.: *Solar System objects observed in the Sloan Digital Sky Survey commissioning data*. *Astron. J.*, **122**, 5, s. 2749–2784, 2001.
- [87] JENNISKENS, P.: *Meteor showers and their parent comets*. Cambridge: Cambridge University Press, 2006. ISBN 0521853491.
- [88] JOHANNSEN, A. aj.: *Rapid planetesimal formation in turbulent circumstellar disks*. *Nature*, **448**, 7157, s. 1022–1025, 2007.
- [89] 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>).
- [90] *JPL Horizons system* [online]. [cit. 2008-09-30]. <http://ssd.jpl.nasa.gov/?horizons>.
- [91] *JPL planetary and lunar ephemerides, DE405* [online]. [cit. 2008-09-30]. (<ftp://ssd.jpl.nasa.gov/pub/eph/planets/>).
- [92] KAASALAINEN, M., LAMBERG, L., LUMME, K., BOWELL, E.: *Interpretation of lightcurves of atmosphereless bodies. I. General theory and new inversion schemes*. *Astron. Astrophys.*, **259**, s. 318–332, 1992.
- [93] KAASALAINEN, M. aj.: *Acceleration of the rotation of asteroid 1862 Apollo by radiation torques*. *Nature*, **446**, 7134, s. 420–422, 2007.
- [94] KALAS, P. aj.: *Optical Images of an Exosolar Planet 25 Light-Years from Earth*. *Science*, **322**, 5906, 1345, 2008.
- [95] KAVASCH, J.: *The Ries Meteorite Crater. A geological guide*. Donauwörth: Ludwig Auer GmbH, 1985.
- [96] KELLEY, M. S.: *Comet dust trails* [online]. [cit. 2009-01-31]. <http://www.physics.ucf.edu/~msk/projects/trails/>.

- [97] 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.
- [98] KERR, R. P.: *Gravitational Field of a Spinning Mass as an Example of Algebraically Special Metrics*. *Phys. Rev. Lett.*, **11**, s. 237–238, 1963.
- [99] KNUXTSON, H. aj.: *A map of the day–night contrast of the extrasolar planet HD 189733b*. *Nature*, **447**, 7141, s. 183–186, 2007.
- [100] KOKUBO, E., IDA, S.: *Formation of protoplanets from planetesimals in the solar nebula*. *Icarus*, **143**, s. 15–27, 2000.
- [101] KOKUBO, E., IDA, S., MAKINO, J.: *Evolution of a circumterrestrial disk and formation of a single Moon*. *Icarus*, **148**, 2, s. 419–436, 2000.
- [102] KOZAI, Y.: *Secular perturbations of asteroids with high inclination and eccentricity*. *Astron. J.*, **67**, 9, 591, 1962.
- [103] 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](http://www.lpi.usra.edu/science/kring/epo_web/impact_cratering/World_Craters_web/intromap.html)).
- [104] KRONK, G.: *Cometography* [online]. [cit. 2009-01-20]. (<http://cometography.com/>).
- [105] LANDI DEGL'INNOCENTI, E., LANDOLFI, M.: *Polarization in spectral lines*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 2004. ISBN 1402024142.
- [106] LAURETTA, D. S., MCSWEEN, H. Y. (editoři): *Meteorites and the early Solar System II*. Tuscon: The University of Arizona Press, 2006. ISBN 0816525625.
- [107] LEBOWSKY, L. A., SPENCER, J. R.: *Radiometry and thermal modeling of asteroids*. in *Asteroids II*, R. Binzel, T. Gehlers, M. S. Matthews (eds), Tuscon: University of Arizona Press, 1989, s. 128–147.
- [108] LEINHARDT, Z. M., MARCUS, R. A., STEWART, S. T.: *The Formation of the Collisional Family Around the Dwarf Planet Haumea*. *Astrophys. J.*, **714**, s. 1789, 2010.
- [109] LESTER, T. P., MCCALL, M. L., TATUM, J. B.: *Theory of planetary photometry*. *J. Royal Astron. Soc. Canada*, **73**, 5, s. 233–257, 1979.
- [110] LEVISON, H. F.: *Hal's talks* [online]. [cit. 2011-05-03]. (<http://www.boulder.swri.edu/~hal/talks.html>), 2006.
- [111] LEVISON, H. F., DUNCAN, M.: *Swift* [online]. [cit. 2008-09-30]. (<http://www.boulder.swri.edu/hal/swift.html>).
- [112] LEVISON, H. F., MORBIDELLI, A., VANLAERHOVEN, C., GOMES, R., TSIGANIS, K.: *Origin of the structure of the Kuiper belt during a dynamical instability in the orbits of Uranus and Neptune*. *Icarus*, **196**, s. 258, 2008.
- [113] LUMME, K., BOWELL, E.: *Radiative transfer in the surfaces of atmosphereless bodies. I. Theory*. *Astron. J.*, **86**, 11, s. 1695–1704, 1981.
- [114] LYOT, B.: *Etude des Surfaces Planetaires par la Polarisation*. *L'Astronomie*, **38**, s. 102–104, 1924.
- [115] MALHOTRA, R.: *The origin of Pluto's orbit: implications for the Solar System beyond Neptune*. *Astron. J.*, **110**, s. 420–429, 1995.
- [116] MANNINGS, V., BOSS, A. P., RUSSELL, S. S. (editoři): *Protostars and planets IV*. Tuscon: The University of Arizona Press, 2000. ISBN 0816520593.
- [117] MARCAN, S.: *Phase diagram explanation* [online]. [cit. 2009-01-20]. (<http://bhs.smuhsd.org/science-dept/marcan/>).
- [118] MARCY, G. aj.: *Observed Properties of Exoplanets*. *Progress on Theoretical Physics Supplement*, **158**, s. 24–42, 2005.
- [119] MAROIS, C. aj.: *Direct Imaging of Multiple Planets Orbiting the Star HR 8799*. *Science*, **322**, 5906, 1348, 2008.
- [120] MAYOR, M., QUELOZ, D.: *A Jupiter-mass companion to a solar-type star*. *Nature*, **378**, 6555, s. 355–359, 1995.

- [121] MCARTHUR, B. E. aj.: *New Observational Constraints on the  $\nu$  Andromedae System with Data from the Hubble Space Telescope and Hobby–Eberly Telescope*. *Astrophys. J.*, **715**, 2, s. 1203, 2010.
- [122] MCFADDEN, L.–A., WEISSMAN, P. R., JOHNSON, T. V. (editoři): *Encyclopedia of the Solar System*. San Diego: Academic Press, 2007. ISBN 012088589.
- [123] MCSWEEN, H. Y.: *Meteorites and their parent planets*. Cambridge: Cambridge University Press, 1987.
- [124] MELOSH, H. J.: *Impact cratering. A geologic process*. New York: Oxford University Press, 1989.
- [125] MELOSH, H. J., BEYER, R. A.: *Crater* [online]. [cit. 2012-02-15]. (<http://www.lpl.arizona.edu/tekton/crater.html>).
- [126] MIAC. *Antarctic meteorites* [online]. [cit. 2009-01-28]. (<http://miac.uqac.ca/MIAC/antarct.htm>).
- [127] MILANI, A., KNEŽEVIĆ, Z.: *Asteroid proper elements and the dynamical structure of the asteroid main belt. Icarus*, **107**, 2, s. 219–254, 1994.
- [128] *Minor planet & comet ephemeris service* [online]. [cit. 2008-09-30]. (<http://www.cfa.harvard.edu/iau/MPEph/MPEph.html>).
- [129] MISNER, C. W., THORNE, K. S., WHEELER, J. A.: *Gravitation*. San Francisco: W. H. Freeman and Company, 1973. ISBN 0716703440.
- [130] MORBIDELLI, A., BRASSER, R., GOMES, R., LEVISON, H. F., TSIGANIS, K.: *Evidence from the asteroid belt for a violent past evolution of Jupiter’s orbit*. *Astron. J.*, **149**, s. 1391–1401, 2010.
- [131] MORBIDELLI, A., BRASSER, R., TSIGANIS, K., GOMES, R., LEVISON, H. F.: *Constructing the secular architecture of the solar system I. The giant planets*. *Astron. Astrophys.*, **507**, s. 1041–1052, 2009.
- [132] MORBIDELLI, A., CRIDA, A.: *The dynamics of Jupiter and Saturn in the gaseous protoplanetary disk*. *Icarus*, **191**, s. 158–171, 2007.
- [133] MORBIDELLI, A., CRIDA, A., MASSET, F., NELSON, R. P.: *Building giant-planet cores at a planet trap*. *Astron. Astrophys.*, **478**, s. 929–937, 2008.
- [134] MORBIDELLI, A., LEVISON, H. F.: *Scenarios for the origin of the orbits of the trans-neptunian objects 2000 CR<sub>105</sub> and 2003 VB<sub>12</sub> (Sedna)*. *Astron. J.*, **128**, 2564, 2004.
- [135] MORBIDELLI, A., LEVISON, H. F., TSIGANIS, K., GOMES, R.: *The chaotic capture of Jovian Trojan asteroids during the early dynamical evolution of the Solar System*. *Nature*, **435**, s. 462, 2005.
- [136] MORBIDELLI, A., TSIGANIS, K., CRIDA, A., LEVISON, H. F., GOMES, R.: *Dynamics of the giant planets of the Solar System in the gaseous protoplanetary disk and their relationship to the current orbital architecture*. *Astron. J.*, **134**, s. 1790–1798, 2007.
- [137] MORBIDELLI, A. aj.: *Source regions and timescales for the delivery of water to Earth*. *Meteoritics & Planetary Science*, **35**, 6, s. 1309–1320, 2000.
- [138] NAMOUNI, F., PORCO, C.: *The confinement of Neptune’s ring arcs by the moon Galatea*. *Nature*, **417**, 6884, s. 45, 2002.
- [139] *National Space Science Data Center* [online]. [cit. 2009-02-17]. (<http://nssdc.gsfc.nasa.gov/>).
- [140] NESVORNÝ, D., MORBIDELLI, A.: *Three-body mean motion resonances and the chaotic structure of the asteroid belt*. *Astron. J.*, **116**, 3029, 1998.
- [141] NESVORNÝ, D., VOKROUHLICKÝ, D.: *Analytic theory of the YORP effect for near-spherical objects*. *Astron. J.*, **134**, 5, s. 1750–1768, 2007.
- [142] NESVORNÝ, D., VOKROUHLICKÝ, D., BOTTKÉ, W. F.: *The breakup of a Main-Belt asteroid 450 thousand years ago*. *Science*, **312**, s. 1490, 2006.
- [143] NESVORNÝ, D., VOKROUHLICKÝ, D., MORBIDELLI, A.: *Capture of Irregular Satellites during Planetary Encounters*. *Astron. J.*, **133**, s. 1962, 2007.

- [144] NESVORNÝ, D. aj.: *Evidence for asteroid space weathering from the Sloan Digital Sky Survey*. *Icarus*, **173**, 1, s. 132–152, 2005.
- [145] NESVORNÝ, D. aj.: *Dynamical model for the zodiacal cloud and sporadic meteors*. *Astron. J.*, **743**, s. 129–145, 2011.
- [146] NESVORNÝ, D. aj.: *Dynamics of dust particles released from Oort cloud comets and their contribution to radar meteors*. *Astron. J.*, **743**, s. 37–49, 2011.
- [147] NEUKUM, G., IVANOV, B. A., HARTMANN, W. K.: *Cratering records in the inner Solar System in relation to the lunar reference system*. *Space Sci. Rev.*, **96**, s. 55–86, 2001.
- [148] NORTON, O. R.: *The Cambridge Encyclopedia of Meteorites*. Cambridge: Cambridge University Press, 2002. ISBN 0521621437.
- [149] O'BRIEN, D. P., MORBIDELLI, A., BOTTKE, W. F.: *The primordial excitation and clearing of the asteroid belt — Revisited*. *Icarus*, **191**, s. 434, 2007.
- [150] ÓPIK, E. J.: *Collision probability with the planets and the distribution of planetary matter*. *Proc. R. Irish Acad.*, **54**, s. 165–199, 1951.
- [151] OSTRO, S.J. aj.: *Radar imaging of binary near-Earth asteroid (66391) 1999 KW<sub>4</sub>*. *Science*, **314**, 5803, s. 1276–1280, 2006.
- [152] PECINA, P., CEPLECHA, Z.: *New aspects of in single-body meteor physics.* *Bull. Astron. Inst. Czechosl.*, **34**, 102, 1983.
- [153] PECINA, P., NOVÁKOVÁ, D.: *Meteorický radar v Ondřejově. Povětroň*, **10**, 6, s. 4, 2002.
- [154] PECHALA, F., BEDNÁŘ, J.: *Průručka dynamické meteorologie*. Praha: Academia, 1991. ISBN 8020001980.
- [155] PETERSON, C.: *A source mechanism for meteorites controlled by the Yarkovsky effect*. *Icarus*, **29**, s. 91–111, 1976.
- [156] POLLACK, J. B. aj.: *Formation of the giant planets by concurrent accretion of solids and gas*. *Icarus*, **124**, 1, s. 62–85, 1996.
- [157] POKORNÝ, Z.: *Astronomické algoritmy pro kalkulátory*. Praha: Hvězdárna a planetárium hl. m. Prahy, 1988.
- [158] PÖSGES, G., SCHIEBER, M.: *The Ries Crater – Museum Nördlingen*. München: Dr. Friedrich Pfeil, 1997.
- [159] PRAVEC, P. aj.: *Two-period lightcurves of 1996 FG<sub>3</sub>, 1998 PG, and (5407) 1992 AX: One probable and two possible binary asteroids*. *Icarus*, **146**, 1, s. 190–203, 2000.
- [160] PRAVEC, P. aj.: *Ondřejov Asteroid Photometry Project* [online]. [cit. 2008-09-09]. (<http://www.asu.cas.cz/~ppravec/>).
- [161] PRESS, W. R., TEUKOLSKY, S. A., VETTERLING, W., FLANNERY, B.P.: *Numerical Recipes: The Art of Scientific Computing*. Cambridge: Cambridge University Press, 1997.
- [162] PRÍHODA, P. aj.: *Hvězdářská ročenka 2008*. Praha: Hvězdárna a planetárium hl. m. Prahy, 2007. ISBN 9788086017471.
- [163] QUINN, T. R., TREMAINE, S., DUNCAN, M.: *A three million year integration of the earth's orbit*. *Astron. J.*, **101**, s. 2287–2305, 1991.
- [164] *Reduce* [online]. [cit. 2010-03-08]. (<http://www.reduce-algebra.com/>).
- [165] *Rieskrater-Museum Nördlingen* [online]. [cit. 2001-1-1]. (<http://www.iaag.geo.uni-muenchen.de/sammlung/Rieskrater/RieskraterMuseum.html>).
- [166] RIVERA, E. J. aj.: *The Lick-Carnegie Exoplanet Survey: a Uranus-Mass Fourth Planet for GJ 876 in an Extrasolar Laplace Configuration*. *Astrophys. J.*, **719**, s. 890, 2010.
- [167] ROBERTSON, H. P.: *Dynamical effects of radiation in the Solar System*. *Mon. Not. R. Astr. Soc.*, **97**, 423, 1937.
- [168] ROSENBLATT, P.: *The origin of the Martian moons revisited*. *Astron. Astrophys. Rev.*, **19**, s. 44, 2011.
- [169] RUBIN, A. E.: *Mineralogy of meteorite groups*. *Meteoritics and Planetary Science*, **32**, 231, 1997.
- [170] RUBINCAM, D. P.: *Polar wander on Triton and Pluto due to volatile migration*. *Icarus*, **163**, 2, s. 63–71, 2002.

- [171] 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.
- [172] SACKMANN, I. J., BOOTHROYD, A. I., KRAEMER, K. E.: *Our Sun. III. Present and future*. *Astrophys. J.*, **418**, s. 457–468, 1993.
- [173] SEPKOSKI, J. J.: *Ten years in the library: New data confirm paleontological patterns*. *Paleobiology*, **19**, s. 43–51, 1993.
- [174] SCHNEIDER, J. aj.: *The Extrasolar Planets Encyclopaedia* [online]. [cit. 2011-06-01]. (<http://exoplanet.eu/>).
- [175] SIMPSON, E. K. aj.: *The spin-orbit angles of the transiting exoplanets WASP-1b, WASP-2/b, WASP-38b and HAT-P-8b from Rossiter–McLaughlin observations*. *Mon. Not. R. Astron. Soc.*, **414**, 4, s. 3023–3035, 2011.
- [176] SKÁLA, L.: *Úvod do kvantové mechaniky*. Praha: Academia, 2005. ISBN 8020013164.
- [177] SKÁLA, R.: *Impact process: An important geological phenomenon*. *Acta Mus. Nat-Pragae*, Ser. B., Hist. Nat., **52**, s. 111–156, 1996.
- [178] SLIVAN, S. M. aj.: *Spin vectors in the Koronis family: comprehensive results from two independent analyses of 213 rotation lightcurves*. *Icarus*, **162**, s. 285, 2003.
- [179] SPJUTH, S.: *Disk-resolved photometry of small bodies*. Ph.D. thesis, Carolo–Wilhelmina Univ., 2009.
- [180] SPURNÝ, P.: *Fotografické sledování bolidů ve střední Evropě*. *Corona Pragensis*, 2, 2001, (<http://praha.astro.cz/crp/0101a.phtml>).
- [181] *Stardust, JPL, NASA* [online]. [cit. 2006-06-01]. (<http://stardust.jpl.nasa.gov>).
- [182] STAUDACHER, T. aj.:  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  ages of rocks and glasses from the Noerdlinger Ries crater and the temperature history of impact breccias. *J. of Geophysics*, **51**, 1, s. 1–11, 1982.
- [183] STIX, M.: *The Sun. An Introduction*. Berlin: Springer-Verlag, 2002. ISBN 3540537961.
- [184] STUART, J. S.: *A Near-Earth asteroid population estimate from the LINEAR Survey*. *Science*, **294**, 5547, s. 1691–1693, 2001.
- [185] SUNDMAN, K. E.: *Memoire sur le problème de trois corps*. *Acta Math.*, **36**, s. 105–179, 1912.
- [186] ŠEDIVÝ, P.: *Kapitoly ze speciální teorie relativity*. Hradec Králové: MAFY, 2003. ISBN 8086148653.
- [187] ŠIDLICHOVSKÝ, M., NESVORNÝ, D.: *Frequency modified Fourier transform and its applications to asteroids*. *Cel. Mech. Dyn. Astron.*, **65**, 1–2, s. 137–148, 1996.
- [188] TILLOTSON, J. H.: *Metallic equations of state for hypervelocity impact*. General Atomic Report GA-3216, 1962.
- [189] *The NIST Reference on Constants, Units, and Uncertainty* [online]. [cit. 2011-05-31]. (<http://physics.nist.gov/constants>).
- [190] *The Ries/Steinheim impact crater field trip* [online]. [cit. 2001-1-1]. (<http://www.-earthsciences.ucl.ac.uk/research/planetaryweb/field/knodle.htm>).
- [191] *The STScI Digitized Sky Survey* [online]. [cit. 2010-02-15]. ([http://archive.stsci.edu/cgi-bin/dss\\_form](http://archive.stsci.edu/cgi-bin/dss_form)).
- [192] TSGANIS, 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, 2005.
- [193] TUČEK, K.: *Meteority a jejich výskyty v Československu*. Praha: Academia, 1981.
- [194] UDRY S., SANTOS, N. C.: *Statistical Properties of Exoplanets*. *Annu. Rev. Astron. Astrophys.*, **45**, s. 397–439, 2007.
- [195] VERNAZZA, J. E., AVRETT, E. H., LOESER, R.: *Structure of the solar chromosphere. III — Models of the EUV brightness components of the quiet-sun*. *Astrophys. J. Suppl.*, **45**, s. 635, 1981.
- [196] VOKROUHLICKÝ, D.: *A complete linear model for the Yarkovsky thermal force on spherical asteroid fragments*. *Astron. Astrophys.*, **344**, s. 362–366, 1999.
- [197] VOKROUHLICKÝ, D., FARINELLA, P.: *Efficient delivery of meteorites to the Earth from a wide range of asteroid parent bodies*. *Nature*, **407**, 6804, s. 606–608, 2000.



- [198] VOKROUHLICKÝ, D., NESVORNÝ, D.: *Pairs of asteroids probably of a common origin*. *Astron. J.*, **136**, 1, s. 280–290, 2008.
- [199] VOKROUHLICKÝ, D., NESVORNÝ, D., BOTTKÉ, W. F.: *The vector alignments of asteroid spins by thermal torques*. *Nature*, **425**, s. 147, 2003.
- [200] VOKROUHLICKÝ, D., aj.: *Yarkovsky/YORP chronology of asteroid families*. *Icarus*, **182**, 1, s. 118–142, 2006.
- [201] WALSH, K., MORBIDELLI, A., RAYMOND, S. N., O'BRIEN, D. P., MANDELL, A. M.: *The Low Mass of Mars: First Evidence of Early Gas-Driven Migration by Jupiter*. American Geophysical Union Meeting, abstrakt V53A-2233, 2010.
- [202] WANG, Z., CHAKRABARTY, D., KAPLAN, D. L.: *A debris disk around an isolated young neutron star*. *Nature*, **440**, s. 772, 2006.
- [203] WEIDENSCHILLING, S. J.: *Formation of Planetesimals and Accretion of the Terrestrial Planets*. *Space Science Reviews*, **92**, 1/2, s. 295–310, 2000.
- [204] *Wikipedia*. *Chondrite* [online]. [cit. 2012-05-25]. (<http://en.wikipedia.org/wiki/Chondrite>).
- [205] *Wikipedia*. *Mass spectrometry* [online]. [cit. 2012-05-25]. ([http://en.wikipedia.org/wiki/Mass\\_spectrometry](http://en.wikipedia.org/wiki/Mass_spectrometry)).
- [206] *Wikipedia*. *Pole star* [online]. [cit. 2012-05-25]. ([http://en.wikipedia.org/wiki/Pole\\_star](http://en.wikipedia.org/wiki/Pole_star)).
- [207] *Wikipedia*. *Radiometric dating* [online]. [cit. 2012-05-25]. ([http://en.wikipedia.org/wiki/Radiometric\\_dating](http://en.wikipedia.org/wiki/Radiometric_dating)).
- [208] *Wikipedia*. *Rings of Uranus* [online]. [cit. 2012-05-25]. ([http://en.wikipedia.org/wiki/Rings\\_of\\_Uranus](http://en.wikipedia.org/wiki/Rings_of_Uranus)).
- [209] *Wikipedia*. *Stress–energy tensor* [online]. [cit. 2012-05-25]. ([http://en.wikipedia.org/wiki/Stress-energy\\_tensor](http://en.wikipedia.org/wiki/Stress-energy_tensor)).
- [210] WHIPPLE, F.: *A comet model. I. The acceleration of Comet Encke*. *Astrophys. J.*, **111**, s. 375–394, 1950.
- [211] WOLF, M. aj.: *Astronomická příručka*. Praha: Academia, 1992. ISBN 802000467X.
- [212] WOLSZCZAN, A., FRAIL, D. A.: *A planetary system around the millisecond pulsar PSR 1257+12*. *Nature*, **355**, 6356, s. 145–147, 1992.
- [213] WRIGHT, A. W.: *On the polarization of the zodiacal light*. *Memorie della Societa Degli Spettroscopisti Italiani*, **3**, s. 54–55, 1874.
- [214] YODER, C. F.: *Tidal rigidity of Phobos*. *Icarus*, **49**, s. 327–346, 1982.
- [215] ZANHLE, K., SCHENK, P., LEVISON H., DONES, L.: *Cratering rates in the outer Solar System*. *Icarus*, **163**, s. 263–289, 2003.
- [216] ZEĽDOVITCH, Ya. B., Raizer, Yu. P.: *Physics of shock waves and high-temperature hydrodynamic phenomena*. Mineola: Dover Publications, 2002. ISBN 0486420027.
- [217] ZHONG, S., ZUBER, M. T.: *Degree-1 mantle convection and the crustal dichotomy on Mars*. *Earth and Planetary Science Letters*, **189**, s. 75–84, 2001.