

DINAMIKA ORBIT ASTEROID 2012 DA14 PASCAPAPASAN DEKAT DENGAN BUMI

Judhistira Aria Utama^{1*)}, Budi Dermawan², Taufiq Hidayat², Umar Fauzi³

¹Program Studi Astronomi, Jl. Ganesha 10, Bandung 40132

²KK Astronomi, Jl. Ganesha 10, Bandung 40132

²KK Astronomi, Jl. Ganesha 10, Bandung 40132

³KK Fisika Bumi dan Sistem Kompleks, Jl. Ganesha 10, Bandung 40132

*) Email: j.aria.utama@upi.edu

Abstrak

Tidak berselang lama pascapenemuannya (23 Februari 2012) oleh Observatorio Astronómico de La Sagra, Spanyol, asteroid 2012 DA14 (367943 Duende) mengalami papasan dekat dengan Bumi pada 16 Februari 2013 silam di jarak kurang dari jarak satelit geostasioner. Pascapapasan dekatnya tersebut asteroid ini dikelompokkan ke dalam kelas Aten, yaitu kelompok asteroid dekat-Bumi (ADB) yang memiliki orbit memotong orbit planet Bumi dengan setengah sumbu panjang orbit kurang dari 1 satuan astronomi. Menggunakan paket integrator Mercury, dalam pekerjaan ini dihitung evolusi orbital asteroid pascapapasan dekatnya hingga 1000 tahun ke depan. Selama selang waktu integrasi yang dilakukan, didapati bahwa asteroid ini beberapa kali mengalami papasan dekat dengan planet Bumi, Venus, dan Bulan. Dalam kurun waktu tersebut, asteroid dan keenampuluh asteroid virtualnya tidak ada yang menjadi benda penumbuk untuk planet Bumi dan Venus maupun Bulan.

Abstract

Less than one year after its discovery on February 23, 2012 by the Observatorio Astronómico de La Sagra, Spain, asteroid 2012 DA14 (also known as 367943 Duende) passed above Earth's surface closer than geosynchronous satellites on February 16, 2013. According to Minor Planet Center (MPC) the asteroid is categorized as Aten class for now, group of Earth-crossing asteroids with semimajor axis smaller than 1 astronomical unit. We employ Mercury package, a software for doing N-body integrations, to calculate the orbital evolution of 2012 DA14 for 1,000 years of orbital integrations after its last close approach with Earth. According to variation of nominal and virtual asteroids's orbital elements during the integration time, the objects will experience several times of close approach with Earth, Venus and Moon but will not to be an impactor for these Terrestrial planets and natural satellite.

Keywords: near-Earth asteroids, orbital evolution, Mercury integrator.

1. Pendahuluan

Sejak diumumkannya penemuan asteroid 2012 DA14 dalam *Minor Planet Electronic Circular* MPEC 2012-D51 pada 24 Februari 2012 silam, objek kecil Tata Surya ini dikelompokkan ke dalam kelas Apollo, yaitu kelompok asteroid dekat-Bumi (ADB) yang memiliki orbit dengan setengah sumbu panjang orbit (a) > 1 satuan astronomi (sa) dan jarak perihelion (q) $< 1,017$ sa ($1 \text{ sa} \approx 1,5 \times 10^8$ km, merupakan jarak rata-rata Bumi-Matahari). Hasil perhitungan orbit atas objek bergaris tengah 40 m–89 m [1] ini yang dimunculkan dalam situs <http://neo.jpl.nasa.gov/ca> telah memprediksi bahwa pada 16 Februari 2013 silam asteroid mengalami papasan dekat (*close approach*) dengan Bumi di jarak kurang dari jarak satelit geostasioner mengorbit Bumi (< 42.000 km dari pusat Bumi).

Papasan dekat yang dialami objek kecil Tata Surya semisal asteroid dan komet dengan planet-planet maupun Matahari sebagai objek sentralnya,

dapat mengubah elemen orbit objek kecil yang bersangkutan. Akibat dari papasan dekat yang dialaminya dengan objek langit yang jauh lebih masif, asteroid dan komet dapat mengalami kehancuran akibat pengaruh gaya pasang-surut. Seandainya pun selamat dari peristiwa katastrofik tersebut, asteroid atau komet dapat mengalami perubahan orbit secara drastis dalam waktu yang singkat. Dalam kasus asteroid 2012 DA14, berdasarkan orbitnya sebelum mengalami papasan dekat, objek ini dipandang berpotensi membahayakan Bumi pada tahun 2026 yang akan datang [1]. Oleh karenanya menjadi penting untuk melakukan observasi atas asteroid 2012 DA14 pascapapasan dekatnya dengan planet Bumi guna memperoleh nilai-nilai elemen orbit yang baru. Memanfaatkan informasi nilai-nilai elemen orbit tersebut, dapat direkonstruksi orbit baru asteroid. Selanjutnya, melalui simulasi numerik dapat diikuti evolusi orbit pada masa depan sekaligus memprediksi peristiwa papasan dekat berikutnya sebagai upayaantisipasi manakala dijumpai peristiwa yang

menghasilkan kemungkinan tumbukan dengan planet Bumi.

2. Metode Penelitian

Metode yang digunakan dalam pekerjaan ini adalah simulasi numerik menggunakan bantuan paket integrator Mercury v.6.2 yang dikembangkan oleh John E. Chambers [2]. Data vektor posisi dan kecepatan untuk seluruh planet di Tata Surya (Merkurius hingga Neptunus) termasuk Bulan yang dipandang sebagai objek mandiri diperoleh dari <http://ssd.jpl.nasa.gov/horizons.cgi>. Sementara, data elemen orbit beserta ketidakpastiannya (1σ) menurut *epoch* tertentu untuk asteroid 2012 DA14 yang ditinjau tersedia di <http://ssd.jpl.nasa.gov/sbdb.cgi>.

Integrasi persamaan gerak Newton pada setiap saat untuk memperoleh posisi (X, Y, Z), kecepatan (V_x, V_y, V_z), elemen orbit ($a, e, i, \omega, \Omega, M$), dan jarak minimum saat papasan dekat terjadi untuk seluruh objek dilakukan selama 1000 tahun ke depan. Integrasi yang dilakukan menggunakan algoritma Bulirsch–Stoer (BS) umum yang disediakan dalam paket Mercury. Langkah waktu perhitungan (*timestep*) dipilih 0,36525 hari dan hasilnya dicuplik setiap 7 hari. Dengan algoritma BS, langkah waktu yang diberikan tersebut hanya digunakan saat pertama kali, sebelum pada akhirnya program memilih langkah waktunya sendiri. Seandainya langkah waktu yang diberikan cukup besar, program akan mereduksinya secara otomatis guna mempertahankan akurasi yang dikehendaki.

Dalam perhitungan yang dilakukan tidak disertakan efek relativistik maupun efek termal (Yarkovski dan YORP). Efek relativistik memegang peran penting dalam dinamika orbit objek-objek kecil Tata Surya dengan nilai a yang kecil dan eksentrisitas (e) yang besar [3]. Di Tata Surya, hanya pada planet

Merkurius dan asteroid (1566) Icarus, efek relativistik tecermin dalam data observasional [4]. Sementara itu, pengaruh efek termal hanya akan menjadi signifikan dalam dinamika orbit untuk orde jutaan hingga milyaran tahun [5][6], jauh lebih besar daripada kurun waktu 1000 tahun yang ditinjau dalam pekerjaan ini.

3. Hasil dan Pembahasan

Telah dilakukan perhitungan ulang orbit asteroid 2012 DA14 menurut *epoch* JD 2456000,5 (14 Maret 2012) dengan langkah waktu 1 hari dan selang waktu pencuplikan setiap 30 hari. Hasil perhitungan yang diperoleh mengkonfirmasi bahwa asteroid mengalami papasan dekatnya dengan Bumi pada 16 Februari 2013, bersesuaian dengan yang tersaji di laman <http://ssd.jpl.nasa.gov/sbdb.cgi>, meskipun perhitungan ulang yang dilakukan mengabaikan efek relativistik dan efek termal.

Setelah mengalami papasan dekatnya dengan Bumi pada 16 Februari 2013 silam, berdasarkan data observasi baik optik maupun radio, *Minor Planet Center* (MPC) saat ini mengelompokkan asteroid 2012 DA14 sebagai ADB kelas Aten, yaitu kelompok asteroid dengan $a < 1$ sa dan jarak aphelion (Q) $> 0,98$ sa (beranggotakan 919 asteroid atau 6% dari total populasi ADB, per 15 April 2015). Dalam Tabel 1 disajikan elemen orbit asteroid beserta ketidakpastiannya sebelum dan setelah mengalami papasan dekatnya, masing-masing menurut *epoch* JD 2456000,5 (14 Maret 2012) dan JD 2457000,5 (9 Desember 2014). Perubahan orbit asteroid pra dan pascapapasan dekatnya ditunjukkan dalam Gambar 1.

Dalam melakukan integrasi orbit selama kurun waktu 1000 tahun ke depan, dibangkitkan pula

Tabel 1. Elemen orbit asteroid 2012 DA14 pra dan pascapapasan dekat pada 16 Februari 2013.

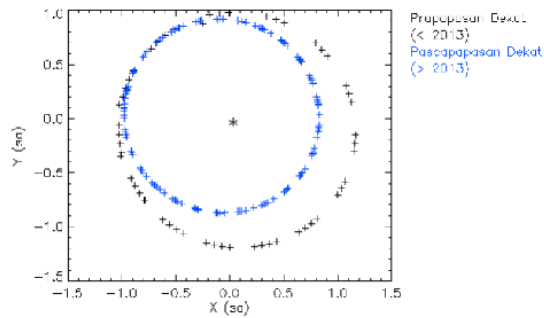
Elemen Orbit	Prapapasan Dekat	Pascapapasan Dekat
a	1,00172293 sa ($1\sigma = 7,43 \times 10^{-6}$)	0,91031593 sa ($1\sigma = 1,1534 \times 10^{-7}$)
e	0,1082574 ($1\sigma = 1,76 \times 10^{-5}$)	0,0894277 ($1\sigma = 1,3761 \times 10^{-7}$)
i	$10^\circ,34165$ ($1\sigma = 1,85 \times 10^{-3}$)	$11^\circ,60909$ ($1\sigma = 8,491 \times 10^{-7}$)
ω	$271^\circ,07852$ ($1\sigma = 1,69 \times 10^{-3}$)	$195^\circ,58077$ ($1\sigma = 3,5598 \times 10^{-5}$)
Ω	$147^\circ,294602$ ($1\sigma = 1,95 \times 10^{-4}$)	$146^\circ,968375$ ($1\sigma = 1,27 \times 10^{-7}$)
M	$103^\circ,35876$ ($1\sigma = 3,96 \times 10^{-3}$)	$191^\circ,97808$ ($1\sigma = 1,639 \times 10^{-4}$)

60 asteroid virtual (AV) atau *clones* yang mencerminkan ketidakpastian orbit dari asteroid 2012 DA14 (nominal). Keenam puluh AV tersebut dibangkitkan dengan memvariasikan satu elemen orbit asteroid nominal dalam kisaran ketidakpastiannya tanpa mengubah nilai kelima elemen orbit lainnya. Dengan kata lain terdapat 10 variasi nilai untuk setiap elemen orbit (masing-

masing 5 untuk σ plus dan 5 untuk σ minus) dari nilai nominalnya dalam Tabel 1. Satu AV dikarakterisasi dengan 6 elemen orbit yang satu elemen di antaranya merupakan hasil variasi. Seluruh AV diberi penomoran mulai dari 1 hingga 60, sementara asteroid nominal memiliki nomor 61.

Perubahan kelima elemen orbit (a, e, i, ω, Ω) dari enam elemen orbit yang dikenal untuk asteroid

nominal dan seluruh AV sepanjang waktu integrasi ditunjukkan dalam Gambar 2. Dalam gambar terlihat adanya garis-garis vertikal yang menandai terjadinya perubahan elemen orbit secara signifikan dalam rentang waktu yang relatif singkat. Lompatan nilai elemen orbit ini lazim dijumpai manakala terjadi papasan dekat antara asteroid dengan objek langit lain yang lebih masif (dalam hal ini dengan planet Bumi, Bulan, dan planet Venus).

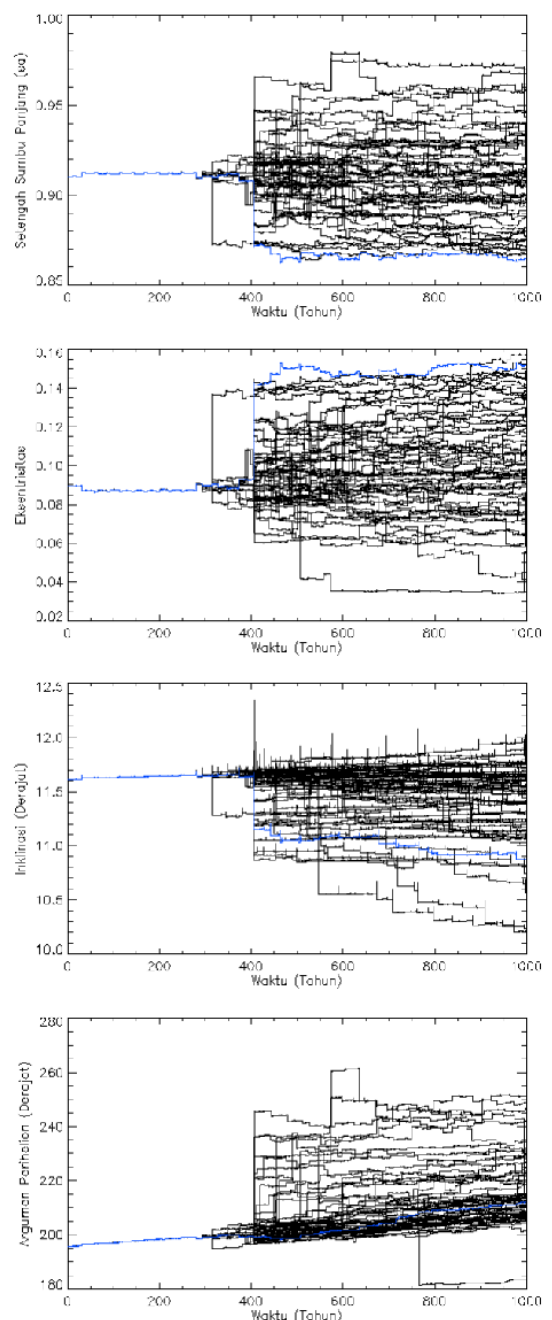


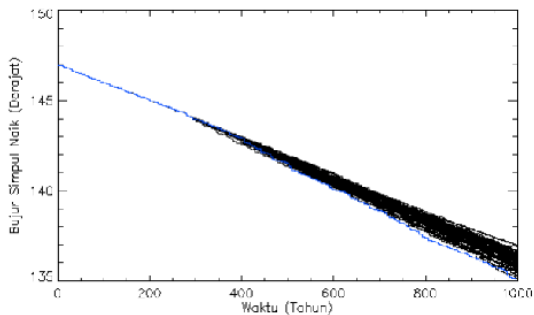
Gambar 1. Orbit asteroid 2012 DA14 sebelum dan setelah papasan dekatnya dengan Bumi pada 16 Februari 2013. Simbol * menandai posisi $(X,Y) = (0,0)$.

Jejak evolusi elemen orbit asteroid 2012 DA14 dan keenampuluh AV pascapapasan dekat 16 Februari 2013 silam terlihat mulai berbeda pada ~300 tahun pascaintegrasi. Sejak awal integrasi orbit dilakukan hingga 300 tahun setelahnya, asteroid nominal memiliki nilai $a \sim 0,91$ sa dan pada akhir integrasi nilai a menyebar dalam rentang 0,86 sa–0,97 sa di mana seluruh AV memiliki nilai yang lebih besar daripada asteroid nominalnya. Nilai e berevolusi antara 0,035 dan 0,155, dengan mayoritas AV memiliki eksentrisitas yang lebih kecil dibandingkan asteroid nominal. Nilai i terkecil $10^{\circ},2$ dan terbesar mencapai $11^{\circ},9$, sementara ω berkisar antara 180° dan 250° . Berbeda dengan keempat elemen orbit lainnya, nilai bujur simpul naik (Ω) berkurang secara monoton sepanjang 1000 tahun dan mencapai nilai di sekitar 135° – 137° pada akhir integrasi. Hingga akhir integrasi orbit, asteroid nominal tetap merupakan ADB kelas Aten.

Sepanjang 1000 tahun waktu integrasi orbit, didapati bahwa asteroid nominal mengalami 116x papasan dekat dengan planet Bumi (dengan variasi jarak dalam rentang 0,0009 sa–0,1994 sa), 24x dengan Bulan (0,0029 sa–0,0454 sa), dan 64x dengan planet Venus (0,0138 sa–0,1348 sa). Selain asteroid nominal yang mengalami papasan dekat dengan Bumi di jarak < jarak rata-rata Bumi–Bulan (0,0026 sa, setara dengan 384.000 km) pada 15 Februari 2421 (00:51 UT), terdapat sebanyak 17 AV yang juga melintas di antara Bumi–Bulan pada waktu yang berdekatan. Waktu kejadian dan jarak

minimum yang dicapai disajikan dalam Tabel 2. Untuk papasan dekat dengan planet Bumi, jarak minimum dicapai oleh AV bernomor 40 (0,00036 sa) pada 547 tahun sejak integrasi dilakukan menurut *epoch* JD 2457000,5, yang berarti terjadi lebih akhir dibandingkan yang dialami asteroid nominal. Jarak saat papasan dekat tersebut bahkan lebih kecil nilainya daripada yang mungkin dicapai oleh asteroid nominalnya. Rekor jarak minimum (0,00046 sa) untuk papasan dekat dengan Bulan dicapai oleh AV bernomor 58 pada 529 tahun pascaintegrasi orbit, dan jarak sebesar 0,00978 sa dicapai menjelang akhir perhitungan (898 tahun pascaintegrasi orbit) untuk papasan dekat antara AV bernomor 28 dan planet Venus.





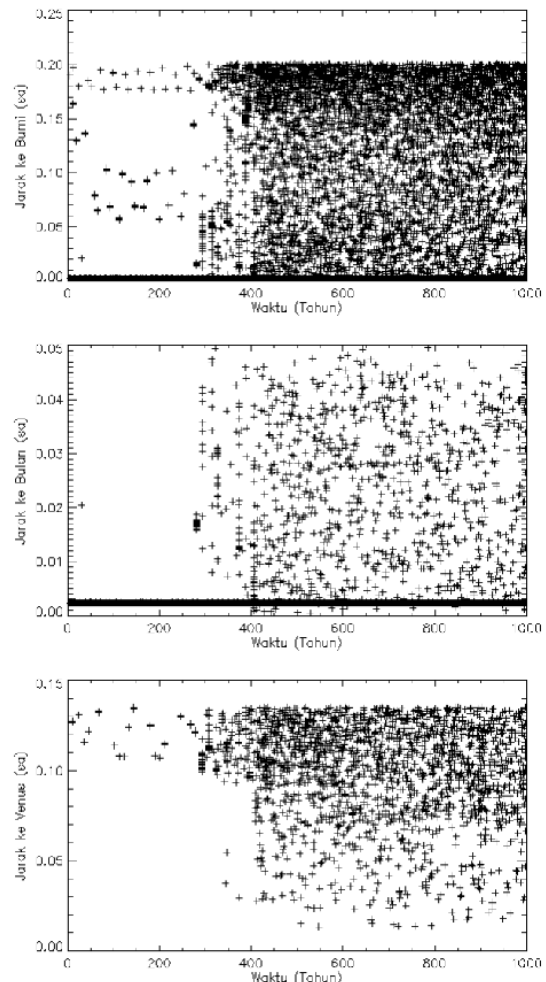
Gambar 2. Variasi kelima elemen orbit asteroid 2012 DA14 (nominal) dan keenampuluh AV. Garis biru menandai jejak evolusi elemen orbit asteroid nominal.

Tabel 2. Papasan dekat AV pada 14–15 Februari 2421 di jarak < jarak Bumi–Bulan.

No. AV	Waktu Kejadian (UT)	Jarak (sa)
13.	15/02/2421 (04:13)	0,00405
15.	14/02/2421 (22:47)	0,00308
21.	15/02/2421 (02:02)	0,00129
22.	14/02/2421 (20:14)	0,00491
25.	15/02/2421 (00:37)	0,00052
26.	15/02/2421 (02:01)	0,00159
29.	15/02/2421 (05:17)	0,00485
30.	15/02/2421 (04:13)	0,00382
41.	15/02/2421 (00:30)	0,00052
42.	15/02/2421 (00:26)	0,00054
43.	15/02/2421 (00:17)	0,00061
44.	15/02/2421 (00:19)	0,00060
45.	15/02/2421 (00:42)	0,00058
46.	15/02/2421 (00:36)	0,00093
47.	15/02/2421 (00:42)	0,00096
49.	15/02/2421 (00:50)	0,00102
50.	15/02/2421 (01:39)	0,00162

Seluruh AV turut dievolusikan untuk menelusuri kejadian papasan dekatnya dengan planet Bumi, Bulan, dan Venus. Gambar 3 menunjukkan papasan dekat seluruh AV dengan planet Bumi, Bulan, dan planet Venus. Papasan dekat antara keenampuluh AV dengan ketiga objek langit masif di atas terlihat memiliki frekuensi yang lebih tinggi setelah ~400 tahun pascaintegrasi orbit. Papasan dekat seluruh AV di jarak < 0,0026 sa dengan planet Bumi dan Bulan masing-masing tercatat sebanyak 48x dan 37x, sementara di jarak < 0,05 sa dari planet Venus terjadi sebanyak 128 kejadian hingga 1000 tahun ke depan. Masih dijumpainya seluruh AV pada akhir integrasi, menandakan bahwa tidak satupun AV yang menjadi penumbuk planet-planet Terrestrial maupun satelit alami setidaknya hingga 1000 tahun yang akan datang. Meskipun demikian, papasan dekat berikutnya antara asteroid nominal dengan Bumi di jarak hanya 0,34x jarak Bumi–Bulan pada 15 Februari 2421 dengan peluang kejadian sebesar

28% perlu mendapat perhatian. Jarak sedekat ini lebih kecil nilainya daripada MOID (*Minimum Orbital Intersection Distance*) untuk Bumi sebesar 0,05 sa (19,5x jarak Bumi–Bulan), yaitu jarak minimum dengan Bumi yang didefinisikan untuk asteroid-asteroid dalam kelas turunan PHAs (*Potentially Hazardous Asteroids*).



Gambar 3. Papasan dekat keenampuluh AV dengan Bumi (atas), Bulan (tengah), dan Venus (bawah).

Seluruh papasan dekat yang melibatkan asteroid nominal dan keenampuluh AV dengan Bumi selama waktu integrasi tidak ada yang menempatkan asteroid di jarak kurang dari jarak satelit geostasioner seperti yang pernah terjadi pada 16 Februari 2013.

4. Kesimpulan

Berdasarkan evolusi nilai elemen orbit yang dimiliki selama dan hingga akhir integrasi orbit, asteroid 2012 DA14 tetap merupakan ADB dalam kelas Aten. Dalam seluruh peristiwa papasan dekat

antara asteroid nominal beserta puluhan asteroid virtualnya dengan Bumi pada masa depan, tidak akan ada yang mencapai jarak sedekat seperti pada kejadian 16 Februari 2013 silam. Papasan dekat berikutnya dengan Bumi pada 15 Februari 2421, menempatkan asteroid di jarak $< 1x$ jarak Bumi–Bulan dengan peluang kejadian 28%. Hingga 1000 tahun ke depan, asteroid 2012 DA14 tidak akan menjadi benda penumbuk bagi planet-planet Terrestrial maupun satelit alam.

Ucapan Terimakasih

Judhistira Aria Utama berterima kasih kepada Saudara Ferry M. Simatupang di Program Studi Astronomi FMIPA ITB atas diskusi dan tutorialnya terkait pemrograman IDL untuk menghasilkan gambar-gambar dalam naskah ini.

Daftar Acuan

- [1] I. Wlodarczyk, The potentially dangerous asteroid 2012 DA14, *Mon. Not. R. Astron. Soc.* 427 (2012), p. 1175-1181.
- [2] J.E. Chambers, A hybrid symplectic integrator that permits close encounters between massive bodies, *Mon. Not. R. Astron. Soc.* 304 (1999), p. 793-799.
- [3] B. Shahid-Saless, D.K. Yeomans, Relativistic effects on the motion of asteroids and comets, *The Astronomical Journal.* 107 (1994), p. 1885-1889.
- [4] G. Sitarski, On the relativistic motion of (1566) icarus, *The Astronomical Journal.* 104 (1992), p. 1226-1229.
- [5] P. Farinella, D. Vokrouhlický, W.K. Hartmann, Meteorite delivery via yarkovsky orbital drift, *Icarus.* 132 (1998), p. 378-387.
- [6] W.F. Bottke, D. Vokrouhlický, D.P. Rubincam, and D. Nesvorný, The Yarkovsky and YORP effects: implications for asteroid dynamics, *Annu. Rev. Earth Planet. Sci.* 34 (2006), p. 157-191.