

## Uticaj najjačih rezonanci u srednjem kretanju sa Jupiterom na transport asteroida u region blizak Zemlji

---

Na raspodelu asteroida utiču mnogi dinamički efekti, među kojima su i rezonance, čija jačina zavisi od reda rezonance, udaljenosti i mase objekta sa kojim su asteroidi u rezonanci. Za glavni asteroidni pojas (GAP) najvažnije je gravitaciono dejstvo Jupitera, usled kojeg dolazi do izbacivanja asteroida iz tzv. Kirkvudovih praznina. Određeni broj objekata ovakvim mehanizmom dospeva u oblast blisku Zemlji, odnosno u NEO region. U ovom radu ispitan je uticaj 5 najjačih rezonanci u srednjem kretanju sa Jupiterom lociranih unutar GAP (2:1, 3:1, 4:1, 5:2, 7:3) na broj asteroida koji dospevaju u NEO region. Evolucija orbitalnih elemenata praćena je pomoću hibridnog integratora iz programskog paketa Mercury. Za svaku rezonancu, simulacija je pokrivala evoluciju od 10 miliona godina, sa 7 planeta Sunčevog sistema (bez Merkura) i 200 bezmasenih test objekata raspoređenih unutar date rezonance. Određen je udeo asteroida koji su u nekom trenutku ušli u NEO region i prosečno vreme koje tu provedu. Beleženi su i trenuci prvog ulaska asteroida u NEO region, što govori o brzini izbacivanja objekata iz datih rezonanci. Pokazano je da su objekti sa rezonancama 4:1 i 3:1 u NEO regionu više zastupljeni i da u njemu provode duže vremena, nego objekti iz preostale tri rezonance. Razlog je što se ove dve rezonance nalaze bliže NEO regionu. Većina asteroida u NEO region dospe u prvih milion godina, nakon čega se primećuje veliki pad, jer ih pristiže sve manje, a veliki broj biva izbačen usled bliskih prilaza planetama.

## Uvod

Na raspodelu asteroida u prostoru orbitalnih parametara utiču mnogi dinamički efekti, među kojima su i rezonance. Rezonanca u srednjem kretanju je efekat koji utiče na dinamičku evoluciju asteroida. Javlja se kada se orbitalni periodi dva tela odnose kao dva cela uzajmno prosta broja. One mogu biti jedan od uzroka kako stabilnog kretanja, što je slučaj kod rezonance Plutona sa Neptunom 2:3 (Benson i Williams. 1971), tako i nestabilnog kretanja ukoliko se rezonance međusobno preklapaju (Tsiganis *et al.* 2002). Jačina rezonance, odnosno mera u kojoj ona utiče na kretanja tela, zavisi od reda rezonance, udaljenosti i mase objekta sa kojim su asteroidi u rezonanci.

Za glavni asteroidni prsten (GAP) najznačajnije je gravitaciono dejstvo Jupitera (Horner i Jones 2011), usled čega dolazi do izbacivanja asteroida iz tzv. Kirkvudovih praznina (Šidlichovský 1999). To su praznine u distribuciji velikih poluosa objekata iz GAP, odnosno mesta sa značajno manjim prisustvom asteroida, koja odgovaraju položajima najjačih rezonanci u srednjem kretanju sa Jupiterom. Određeni broj izbačenih asteroida dospeva u region blizak Zemlji i oni se nazivaju asteroidi bliski Zemlji (eng. Near-Earth Objects, u daljem tekstu NEO). Uslov da se asteroid nalazi u NEO regionu je taj da njegovo perihelsko rastojanje bude manje od 1.3 AJ.

U ovom radu ispitan je uticaj 5 najjačih rezonanci u srednjem kretanju sa Jupiterom na transport asteroida u NEO region: 2:1, 3:1, 4:1, 5:2

---

Tamara Ranisović (2001), Žabalj, učenica 3. razreda Srednje škole „22. oktobar” u Žablju

MENTOR: Vladimir Došović, saradnik u nastavi na katedri za astronomiju Matematičkog fakulteta Univerziteta u Beogradu

i 7:3. Na osnovu rezultata ovog istraživanja može se proceniti koje rezonance sa Jupiterom imaju najjače dejstvo na izbacivanje asteoida iz GAP, kao i koliko brzo se taj proces odvija. Takođe, možemo saznati i koliko vremena transportovani asteroidi provedu u NEO regionu. Dakle, statističkom obradom i analizom dobijenih rezultata može se saznati više o dinamičkoj evoluciji orbita asteoida iz GAP ka NEO regionu, a samim tim i o eventualnoj opasnosti od udara istih u Zemlju. Ovim su objašnjeni poreklo asteoida u NEO regionu (Morbidelli *et al.* 2002), kao i faktori koji igraju ključnu ulogu za procenu efikasnosti rezonanci u transportu asteoida u region blizak Zemlji.

## Rezonance u srednjem kretanju

Rezonance u srednjem kretanju su orbitalne rezonance koje se javljaju kod dva ili više tela koja orbitiraju oko istog centralnog tela. Delovanje rezonance ogleda se u velikim periodičnim oscilacijama orbitalnih elemenata pogođenog tela. Prilikom preklapanja većeg broja rezonanci, dolazi do destabilizacije orbita tela koja su pod njihovim dejstvom, što je najčešće slučaj sa malim telima Sunčevog sistema, među kojima su i asteroidi. Posledica izbacivanja asteoida je stvaranje tzv. Kirkvudovih praznina unutar GAP.

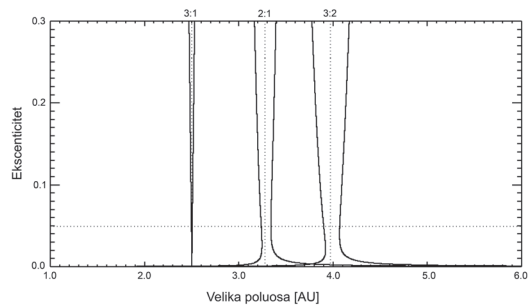
Rezonance u srednjem kretanju mogu da se označe odnosom  $p : q$ , pri čemu je  $p$  broj perioda rezonantnog objekta (poremećenog tela) i  $q$  broj perioda poremećajnog tela. Kod rezonanci oblika  $pn_1 - qn_2 = 0$ , ako se ekscentricitet putanje može smatrati relativno malim, vrednost koeficijenta ispred glavnog harmonika proporcionalan je  $e^{|p-q|}$ , tj. opada eksponencijalno sa  $j = |p - q|$ , što predstavlja red date rezonance od čega, između ostalog, zavisi i sama jačina rezonance.

Ukoliko je poznat odnos orbitalnih perioda, pomoću trećeg Keplerovog zakona može se, za svaku rezonancu, približno odrediti položaj njenog centra, tj. položaj njene centralne velike polouse. Međutim, to ne znači da će rezonanca zahvatiti samo one objekte koji se nalaze isključivo na datoj udaljenosti od centralnog tela, tj. svaka rezonanca zahvata i one objekte koji se

nalaze u određenom intervalu od centralne velike polouse. Taj interval predstavlja širinu rezonance (Holman i Murray 1996). Širina rezonance je fizička veličina koja se analitički može proceniti izrazom (Murray i Dermott 1999):

$$\delta a_{\max} = \pm a \cdot \sqrt{\frac{16C_r}{3n} e^j} \quad (1)$$

gde je  $C_r$  funkcija jačine rezonance,  $a$  – centralna velika poluosa,  $n$  – srednje dnevno kretanje,  $j$  – red rezonance i  $e$  – ekscentricitet. Dati izraz pokazuje da je širina rezonance direktno proporcionalna velikoj poluosi i kvadratnom korenu ekscentriciteta na  $j$ -ti stepen, te sa povećanjem ekscentriciteta dolazi i do povećanja širine rezonance (slika 1). Posledica toga ogleda se u preklapanju većeg broja rezonanci pri većim vrednostima ekscentriciteta, usled čega dolazi do haotičnog kretanja tela (Murray i Dermott 1999). Do takvog kretanja, takođe, može doći i usled bliskih prilaza sa planetama pri velikim promenama orbitalnih elemenata. Na primer, zahvaljujući rezonanci 3 : 1 sa Jupiterom dolazi do povećanja oscilacija ekscentriciteta, što zauzvrat ima smanjeno perihelsko rastojanje. Na taj način, dolazi do presecanja orbite Marsa te i mogućeg bliskog prilaza, uzroka haotičnog kretanja tela (Hadjidemetriou 1993).



Slika 1. Širina rezonanci 3:1, 2:1 i 3:2 u ravni ekscentriciteta i velike polouse (prema Tabeshian i Wiegert 2015)

Figure 1. Libration width of mean-motion resonances 3:1, 2:1 and 3:2 in the eccentricity and semi-major axis plane (according to Tabeshian & Wiegert 2015)

## Metod

Asteroide koji se nalaze pod uticajem rezonanci u srednjem kretanju sa Jupiterom karakterišu periodične oscilacije orbitalnih elemenata, opisane u prvom delu ovog članka. Ukoliko dođe do preklapanja više rezonanci, ovi objekti bivaju izbačeni iz GAP na orbite sa manjim ili većim velikim poluosama, prilikom čega određen broj njih dolazi do NEO regiona. Usled preklapanja, moguća je preraspodela asteroida po rezonancama, usled čega oni mogu da prelaze iz jače u slabiju rezonancu i obrnuto, što bi za krajnju statistiku bilo od značaja. U ovom radu pažnja je posvećena ispitivanju uticaja najjačih rezonanci u srednjem kretanju sa Jupiterom: 2 : 1 (3.28 AJ), 3 : 1 (2.5 AJ), 4 : 1 (2.06 AJ), 5 : 2 (2.82 AJ) i 7 : 3 (2.95 AJ), na transport asteroida u NEO region.

Dinamička evolucija orbitalnih elemenata praćena je korišćenjem hibridnog integratora iz programskog paketa Mercury (Chambers 1999). Za svaku rezonancu, simulacija je pokrivala vremenski period od 10 miliona godina, sa 7 planeta Sunčevog sistema (bez Merkura) i 200 asteroida (bezmasenih test objekata) raspoređenih unutar svake rezonance. Početne vrednosti orbitalnih elemenata test objekata određene su nasumično, ali tako da prate odgovarajuće raspodele. Tako su vrednosti velike poluose uniformno raspoređene na intervalu  $\pm 0.01$  AJ oko centra rezonance, što je uzeto za širinu svake od ispitivanih rezonanci. Zatim, vrednosti inklinacije odgovaraju polunormalnoj distribuciji na intervalu od  $0^\circ$  do  $6^\circ$ . Ovde treba napomenuti da inklinacija ne utiče na širinu rezonance i time ne igra važniju ulogu za rezultate ovog rada (vrednost inklinacije može biti i  $i = 0$ ), međutim, kako u prirodi tako nešto nije očekivano, uzeto je da i vrednosti inklinacije prate određenu raspodelu. Za ekscentricitet je uzeta uniformna raspodela u intervalu od 0.1 do 0.2. Naime, ukoliko je  $e = 0$ , na osnovu izraza (1) širina rezonance je takođe 0, a kako je potrebno da svi asteroidi budu u rezonanci, izabrana je ovakva raspodela ekscentriciteta. Preostali orbitalni elementi: longituda uzlaznog čvora, argument perihela i prava anomalija ( $0-360^\circ$ ), takođe, prate uniformnu raspodelu.

Statistička obrada rezultata simulacije, odnosno podataka za orbitalne elemente, izvršena je u četiri koraka:

1. Prvi korak obrade podataka za cilj ima da odredi broj, tj. udeo asteroida koji se u toku evolucije bar jednom nađu u NEO regionu (Rumpf *et al.* 2015). Kako asteroidi često ulaze i izlaze iz NEO regiona usled neprekidnog oscilovanja i mogućeg haotičnog kretanja, u ovom koraku fokus je isključivo na procentu asteroida koji bar jednom posete NEO region, tako da ukupan broj ulaza i izlaza nije od važnosti. Uslov koji pri tome mora biti ispunjen je  $q < 1.3$  AJ, gde je  $q$  perihelsko rastojanje:

$$q = (1 - e) \cdot a \quad (2)$$

Na osnovu ovoga saznajemo o efikasnosti svake rezonance u transportu asteroida u NEO region.

2. Drugi korak obrade podrazumeva beleženje pojedinačnih trenutaka prvog ulaska svakog asteroida u NEO region, što govori o brzini izbacivanja asteroida iz datih rezonanci.

3. Cilj trećeg koraka je da se odredi prosečno vreme koje asteroidi provedu u NEO regionu, čime se saznaje koliko dugo tu borave, bilo iz jednog dolaska ili više njih (što se dešava usled neprekidnog oscilovanja, tj. dolaženja i odlazanja asteroida iz ovog regiona). Brojanjem koliko puta je uslov za NEO region ispunjen ( $q < 1.3$  AJ), a zatim množenjem datog broja sa dužinom koraka integracije, dobijeno je ukupno vreme boravka u NEO regionu za svaki asteroid. Prosečno vreme za svaku rezonancu je aritmetička sredina ukupnih vremena svih asteroida.

4. Četvrti korak ima za cilj vizuelizaciju dinamičke evolucije objekata u ravni orbitalnih elemenata asteroida, tj. u ravni ekscentriciteta i velike poluose. Na taj način je prikazan proces izbacivanja asteroida iz rezonanci i stvaranje Kirkvudovih praznina te se može uočiti i širina rezonance (slika 1).

## Rezultati i diskusija

Obrada rezultata simulacije izvršena je za svaku rezonancu pojedinačno, dok će se zaključci izvoditi na osnovu međusobnog poređenja rezultata svih ispitanih rezonanci. Na taj način, moguće je odrediti koje su rezonance

Tabela 1. Udeo broja objekata i provedenog vremena asteroida u NEO regionu

Rezonanca	Udaljenost od Sunca (AJ)	Udeo broja objekata u NEO regionu (%)	Udeo vremena u NEO regionu (%)
4 : 1	2.06±0.01	98.5	32.6
3 : 1	2.5±0.01	93.0	10.4
5 : 2	2.82±0.01	74.5	0.86
7 : 3	2.95±0.01	34.5	0.51
2 : 1	3.28±0.01	19.5	1.44

najzaslužnije za izbacivanje asteroida u pravcu NEO regiona, koliko brzo i koliko ih dugo u tom regionu zadržavaju.

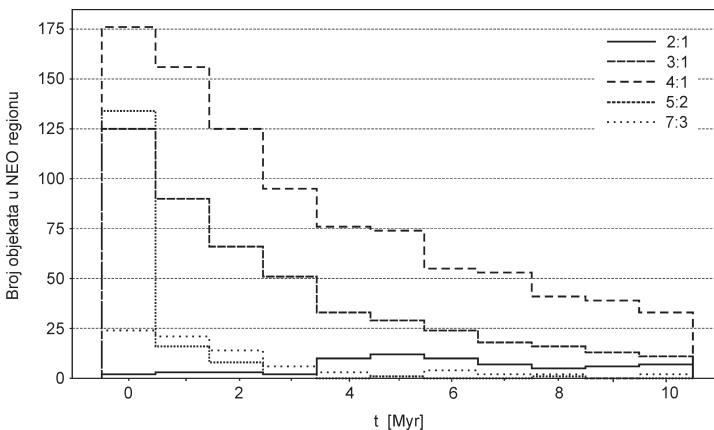
Za svaku rezonancu je određen procenat asteroida koji su u nekom trenutku ušli u NEO region, kao i prosečno vreme koje provedu u NEO regionu, predstavljeno kao udeo od ukupnog vremenskog perioda simulacije (10 miliona godina). Rezultati su prikazani u tabeli 1.

Pokazano je da приметно veći procenat objekata pod dejstvom rezonanci 4 : 1 i 3 : 1 dolazi u NEO region, kao i da tu provode znatno više vremena u odnosu na objekte iz ostalih rezonanci. Uzrok tome je što su od ispitivanih 5 rezonanci, te dve (na oko 2.06 AJ i 2.5 AJ od Sunca, respektivno) najbliže NEO regionu. Dobijene vrednosti variraju sa promenom dužine koraka integracije. Povećanjem dužine koraka gubi se preciznost rezultata, te bi vrednosti za prosečno vreme boravka, u tom slučaju, bile znatno manje. Važi i obrnuto, smanjenjem dužine koraka inte-

gracije povećava se preciznost rezultata, stoga bi vrednosti prosečnog vremena bile veće.

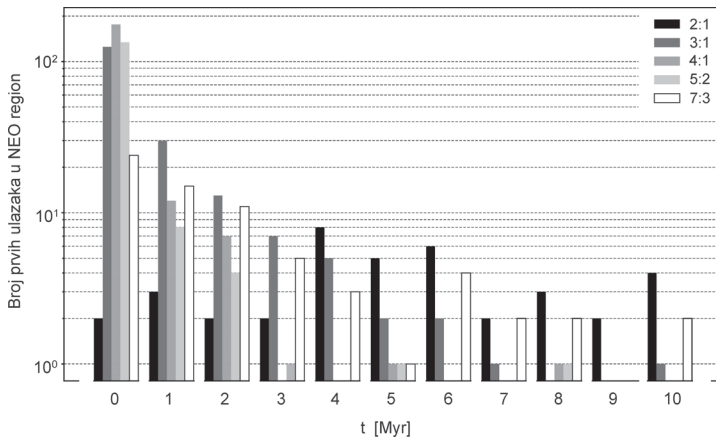
Registrovan je broj asteroida koji dospevaju u NEO region na svakih 1 milion godina, što je predstavljeno na slici 2. Sa slike 2 može se uočiti koliko je jači uticaj rezonanci 4 : 1 i 3 : 1 u poređenju sa ostalim, kao i da asteroidi pod dejstvom rezonanci 2 : 1 i 7 : 3 imaju skoro pa zanemarljiv učinak u pogledu broja transportovanih asteroida u NEO region. Najveći broj asteroida pod dejstvom rezonance 5 : 2 izbačen je u prvih milion godina, kako u NEO region tako i van Sunčevog sistema, nakon čega je приметna njihova znatno manja zastupljenost u ovom regionu. Kod rezonanci 4 : 1 i 3 : 1 primećuje se veliki broj asteroida u NEO regionu tokom svih 10 miliona godina, što može biti dokaz o njihovom oscilovanju, tj. ulaženju, izlaženju i, zatim, ponovnom vraćanju u region blizak Zemlji.

Zatim, praćeni su trenuci prvih ulazaka asteroida u NEO region, što je prikazano na slici 3. Slika 3 pokazuje da većina asteroida koji



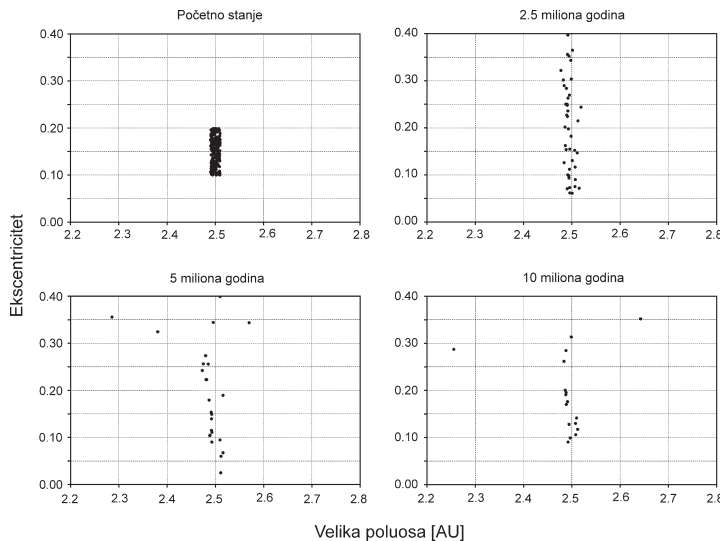
Slika 2. Broj objekata u NEO regionu u zavisnosti od vremena

Figure 2. Number of NEO as a function of time



Slika 3. Broj prvih ulazaka u NEO region u zavisnosti od vremena

Figure 3. Number of first arrivals to NEO regions as a function of time



Slika 4. Prikaz dinamičke evolucije asteroida u ravni ekscentriciteta i velike poluose pod dejstvom rezonance 3 : 1

Figure 4. Visualisation of the dynamical evolution of the asteroids in the eccentricity and semi-major axis plane for the 3 : 1

dospeju u region blizak Zemlji, tu dospe u prvih milion godina, nakon čega se primećuje osetan pad njihovog broja u NEO regionu, iz razloga što ih pristiže sve manje, kao i zato što veliki broj biva izbačen usled bliskih prilaza sa unutrašnjim planetama Sunčevog sistema. U prvih milion godina najveći je broj prvih ulazaka onih asteroida koji se nalaze u zoni delovanja rezonanci 4:1 i 3 : 1, što sugeriše da ove dve rezonance najbrže izbacuju asteroide iz glavnog asteroidnog pojasa. Pored ovih, ističe se i rezonanca 5 : 2 kao sledeća po broju izbačenih asteroida i broju prvih ulazaka. Mogući uzrok toga je činjenica da je ona sledeća najbliža NEO regionu, sa centrom na oko 2.82 AJ.

Sa slika 2 i 3 se primećuje da je najslabiji uticaj rezonance 2 : 1, iako je poznato da je ona jedna od najjačih rezonanci sa Jupiterom i da je ona zaslužna za jednu od najvećih Kirkvudovih praznina (Roig *et al.* 2002). Razlog tome svakako može biti udaljenost centra ove rezonance (3.28 AJ) od NEO regiona. Asteroidi pod uticajem ove rezonance su verovatno izbačeni u spoljašnje delove Sunčevog sistema, kao što je Kajperov pojas.

Slika 4 prikazuje stanje u ravni ekscentriciteta i velike poluose na početku, nakon četvrtine, polovine i na kraju dinamičke evolucije asteroida pod dejstvom rezonance 3 : 1 (2.5 AJ). Već nakon prve četvrtine vremena primetna je manja

zastupljenost asteroida u blizini centra rezonance, koja s vremenom ne prestaje da se smanjuje. Ovo ilustruje izbacivanje asteroida iz rezonanci i stvaranje Kirkvudovih praznina u GAP.

## Zaključak

U ovom radu je ispitan uticaj pet najjačih rezonanci u srednjem kretanju sa Jupiterom – 2 : 1 (3.28 AJ), 3 : 1 (2.5 AJ), 4 : 1 (2.06 AJ), 5 : 2 (2.82 AJ) i 7 : 3 (2.95 AJ) – na transport asteroida u region blizak Zemlji. Praćena je dinamička evolucija orbitalnih elemenata u vremenskom periodu od 10 miliona godina. Da bi se utvrdio uticaj ovih rezonanci, izvršena je statistička obrada rezultata simulacije. Pokazano je da je najjači uticaj rezonanci 4 : 1 (2.06 AJ) i 3 : 1 (2.5 AJ) koji se ogleda u najčešćem izbacivanju i najvećem broju transportovanih asteroida. Takođe, asteroidi iz zone delovanja ovih rezonanci su imali i najveće prosečno vreme u NEO regionu. Objekti iz GAP, naročito asteroidi pod dejstvom rezonance 3 : 1, čine značajan deo populacije svih objekata u NEO regionu, gde najčešće prvi put dospevaju u prvih milion godina, što je u saglasnosti sa rezultatima prethodnih istraživanja (Morbidelli *et al.* 2002). Značajan je i uticaj rezonance 5 : 2 koja je sledeća po broju izbačenih asteroida i broju prvih ulazaka. Ona je ujedno i sledeća najbliža rezonanca NEO regionu (2.82 AJ). Većina asteroida pod dejstvom ove rezonance je izbačena u prvih milion godina, kako u NEO region tako i van Sunčevog sistema, nakon čega je primetna njihova znatno manja zastupljenost u blizini Zemlje. Vizuelno je predstavljen proces izbacivanja asteroida iz zone delovanja rezonanci i stvaranja Kirkvudovih praznina. Suprotno očekivanju, pokazano je da rezonanca 2 : 1, čiji se centar poklapa sa jednom od najvećih Kirkvudovih praznina – ima najslabiji uticaj na transport asteroida u NEO region. Činjenica da je od svih ispitivanih rezonanci ona najudaljenija od NEO regiona (3.28 AJ) govori da je udaljenost centra rezonance od NEO regiona jedan od presudnih faktora za rezultate ovog istraživanja. Time je pokazano da udaljenost centra rezonance od NEO regiona ima veću ulogu u transportu asteroida od same jačine rezonance. Broj astero-

ida u simulaciji (200) bio je dovoljan za ovakvu statističku obradu, međutim, povećanje broja asteroida omogućilo bi njihovu klasifikaciju u određene grupe NEO objekata. U zavisnosti od orbita asteroida, odnosno od toga gde se nalaze u odnosu na Zemljinu orbitu, da li je seku ili ne, asteroidi bi bili razvrstani u odgovarajuće grupe kao što su Atira, Aten, Apolo i Amor.

**Zahvalnost.** Najveću zahvalnost dugujem svom mentoru Vladimiru Đošoviću na prenesenom znanju i posvećenosti pri realizaciji ovog rada. Takođe se zahvaljujem Dušanu Vukadinoviću i Debori Pavela na korisnim diskusijama i komentarima koji su uvek bili od velike pomoći. Posebna zahvalnost i Petru Sauliću na dragocenim savetima pri pisanju koda.

## Literatura

- Benson G., Williams J. 1971. Resonances in the Neptune-Pluto System. *The Astronomical Journal*, **76** (2): 167.
- Chambers J. E. 1999. A hybrid symplectic integrator that permits close encounters between massive bodies. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, **304**: 793.
- Hadjidemetriou J. 1993. Asteroid motion near the 3:1 resonance. *Celestial Mechanics & Dynamical Astronomy*, **56**: 563.
- Holman M., Murray N. 1996. Chaos in High-Order Mean Resonances in the Outer Asteroid Belt. *The Astronomical Journal*, **112**: 1278.
- Horner J. Jones B. 2011. Jupiter – friend or foe? IV: The influence of orbital eccentricity and inclination. *International Journal of Astrobiology*, **11**: 147.
- Morbidelli A., Botke Jr. W. F., Michel P., 2002. Origin and Evolution of Near-Earth Objects. U *Asteroids III* (ur. W. F. Botke Jr. *et al.*). University of Arizona Press, str. 409-22.
- Murray C. D., Dermott S. F. 2010. *Solar system dynamics*. Cambridge: Cambridge Univ. Press
- Roig F., Nesvorný D., Ferraz-Mello S. 2002. Asteroids in the 2:1 resonance with Jupiter: Dynamics and size distribution. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, **335**: 417.

Rumpf C., Lewis H. G., Atkinson P. 2015. The global impact distribution of Near-Earth Objects. *Icarus*, **265**: 209.

Šidlichovský M. 1999. Resonances and chaos in the asteroid belt. *International Astronomical Union Colloquium*, **172**: 77.

Tabeshian M., Wiegert P. 2015. Detection and Characterization of Extrasolar Planets through Mean-Motion Resonances: Simulations of Hypothetical Debris Disks. *The Astrophysical Journal*, **818** (2): 159.

Tsiganis K., Varvoglis H., Anastasiadis A. 2002. Diffusion of Asteroids in Mean Motion Resonances. U *Modern celestial mechanics: from theory to applications* (ur. A. Celletti *et al.*). Springer, str. 451–54.

---

*Tamara Ranisović*

## The Impact of the Strongest Resonances in Mean-Motion with Jupiter on the Transport of Asteroids into the Near-Earth Regions

Many dynamical effects influence the distribution of asteroids in the phase-space of orbital elements, especially resonances, the strength of which depends on the order of the resonance and the distance from and mass of the object that the asteroids are in resonance with. The strongest gravitational influence on the asteroids from the main asteroid belt (MAB) comes from Jupiter,

which ejects objects from the so-called Kirkwood gaps. This way, a certain number of the asteroids are transported into the Near-Earth regions, where the Near-Earth objects (NEO) are located. In this work, the impact of the 5 strongest resonances in mean motion with Jupiter (2:1, 3:1, 4:1, 5:2 and 7:3) on the number of asteroids that are transported into the NEO regions was examined. The evolution of orbital parameters was followed using the hybrid integrator from the Mercury package. For each resonance, the simulation covered a time evolution of 10 Myr and included 7 Solar system planets (without Mercury) and 200 massless test objects, distributed in the given resonance. The percentage of asteroids that were transported into the NEO regions, as well as the average time that they spent there was determined. The time of the first arrival of an asteroid into the NEO regions was noted, which indicated how fast the asteroids were ejected from the resonance. Results showed that the most efficient in transporting asteroids to the NEO regions were resonances 4:1 and 3:1, and that those asteroids spent more time in NEO regions compared to those from other resonances. The reason for this is the fact that these resonances (at about 2.06 AU and 2.5 AU from the Sun) are the closest to the NEO regions. The majority of the asteroids in the NEO regions are transported there in the first Myr, and the number of asteroids in these regions later drops, because they are transported less frequently and often ejected after close encounters with the inner Solar system planets. ☼