

**Наставно-научном већу
Математичког факултета
Универзитета у Београду**

На 343. седници Наставно-научног већа Математичког факултета, Универзитета у Београду, од 30.06.2017. године одређени смо у Комисију за преглед и оцену докторске дисертације ”Секуларна динамика изабраних фамилија астероида” кандидата Георгиоса Тсирвоулиса. На основу увида у садржај дисертације подносимо следећи

ИЗВЕШТАЈ

1. Биографија кандидата

Лични подаци

Име и презиме: Георгиос Тсирвоулис
Датум рођења: 31.12.1987.
Адреса: Киринеу 11, 54634, Солун, Грчка
Електронска адреса: gtsirvoulis@aob.rs

Образовање

Георгиос Тсирвоулис је дипломирао 2011. године на Катедри за физику, на Аристотеловом универзитету у Солуну (Грчка). Исте године уписао је мастер студије из астрономије на Универзитету у Упсали (Шведска). Мастер рад под насловом „The delayed formation of the Oort cloud“, одбранио је 2013. са оценом 5/5. У октобру, 2014. године уписао се на докторске студије на смеру Астрономија и астрофизика. Положио је све испите предвиђене планом и програмом докторских студија.

Радно искуство

Георгиос Тсирвоулис радио је три године на Астрономској опсерваторији у Београду, почевши од 01.12.2013. године. Његов рад и боравак у Београду на Астрономској опсерваторији финансиран је од стране Европске комисије, у оквиру Стардаст ФП7 пројекта.

У оквиру поменутог пројекта Георгиос Тсирвоулис боравио је три месеца у току 2014. године, на Математичком факултету, Универзитета у Пизи, где се упознао са теоријом и методама за одређивање сопствених орбиталних елемената астероида. Такође, три месеца у току 2015. године провео је на опсерваторији у Ници, где је радио на проблему реконструкције примордијалне расподеле астероида по величинама.

Научно-истраживачки рад кандидата

Кандидат је свој научно-истраживачки рад започео још током основних студија на Аристотеловом универзитету у Солуну (Грчка). У том периоду бавио се испитивањима дугорочне стабилности у кретању астероида, под менторством проф. др. Клеомениса Тсиганиса. У току мастер студија Георгиос Тсирвоулис наставља да се бави малим телима Сунчевог система, али овај пут пре свега кометама, које је проучавао под менторством проф. др. Ханса Рикмана, на Универзитету у Упсали (Шведска).

Након уписа на докторске студије, кандидат наставља свој истраживачки рад на пољу малих тела Сунчевог система, и то пре свега сударних фамилија астероида, на чему највише сарађује са ментором др Бојаном Новаковићем са Математичког факултета, Универзитета у Београду и колегом др Зораном Кнежевићем, чланом Српске академије наука и уметности.

Посебну пажњу у свом научном раду посветио је анализи физичких карактеристика астероида, и могућностима коришћења ове врсте података у циљу побољшања идентификације чланова фамилија. Током свог рада на докторској дисертацији остварио је и међународну сарадњу, и то пре свега са проф. др Андреом Миланијем, са Универзитета у Пизи (Италија) и др. Александром Морбиделијем са астрономске опсерваторије у Ници (Француска).

2. Кратак приказ и структура докторске дисертације

Дисертација садржи укупно 175 страница текста, укључујући прилоге и биографију аутора. Без прилога и биографије, дисертација садржи 126 страница текста са списком коришћене литературе од 155 референци, као и 65 слика и 4 табеле. Структура текста је следећа:

1. Увод

- 1.1 Сопствени елементи
- 1.2 Идентификација фамилија астероида
- 1.3 Динамичка еволуција фамилија астероида

2. Динамичка еволуција фамилија: секуларне резонанце са масивним астероидима

- 2.1 Хофмеистер фамилија астероида
- 2.2 Секуларне резонанце са масивним астероидима
- 2.3 Сеинајоки и Астрид фамилије
- 2.4

3. Нове фамилије астероида: откриће и динамичке карактеристике

- 3.1 (326) Тамара фамилија
- 3.2 (633) Зелима кластер

4. Закључак

5. Додатак: реконструкција примордијалне расподеле астероида по величинама

6. Литература

+ Биографија аутора + обавезни прилози и додаци

Садржај дисертације изложен је у четири поглавља. У првом, уводном поглављу, кандидата упознаје читаоца са неким основним појмовима и концептима динамике астероида, са посебним освртом на сударне фамилије астероида. Детаљно је описан начин

идентификације фамилија као и главни гравитациони и негравитациони механизми одговорни за динамичку еволуцију група астероида.

Друго поглавље посвећено је секуларним резонанцама са масивним астероидима и њиховој улози у динамичкој еволуцији фамилија, а уједно пружа увид у прву групу резултата ове дисертације. Најпре су представљени резултати студије Хофмеистер фамилије, приликом чије анализе је и примећен значај поменутих секуларних резонанци. Након тога изложени су резултати добијени при анализи глобалног значаја линеарних секуларних резонанци са Цересом и Вестом, два најмасивнија објекта у прстену астероида, као и мапа положаја ових резонанци у прстену. Коначно, кандидат је представио своју анализу двеју фамилија, Сеинајоки и Астрид, које пресецају неке од посматраних резонанци и чија динамичка еволуција је пре свега последица дејства ових резонантних механизма.

У трећем поглављу представљен је други део резултата, који се пре свега односе на откриће нових фамилија астероида, као и идентификацију њихових чланова и процену старости. Поред тога, за једну од новооткривених фамилија, (326) Тамара, представљена је детаљна анализа њене динамичке еволуције и процена флукса из фамилије према околини наше планете.

У последњем, четвртом поглављу, сумирани су добијени резултати и изнети основни закључци до којих се дошло. Поред тога поменуте су и неке од могућности за будући рад.

У Додатку су дати резултати истраживања које је кандидат спровео по питању утврђивања расподеле по величинама примордијалних астероида. Овај резултат дат је као прилог јер се не односи на главну тему дисертације, мада је са истом у значајној мери повезан.

3. Преглед важнијих резултата дисертације

Фамилије астероида настале су као резултат судара два астероида, при коме је дошло до распада већег од њих, тзв. родитељског тела. Проучавање оваквих група астероида од великог је значаја за разумевање како порекла и еволуције малих тела, тако и Сунчевог система у целини. Наиме, поменуте фамилије астероида повезане су скоро са свим аспектима проучавања малих тела, док су са друге стране та мала тела кључ за верификацију модела који описују настанак и рану еволуцију нашег планетарног система.

Кључни проблем за проучавање фамилија астероида и са њима повезаним процесима лежи међутим у чинјеници да и саме фамилије еволуирају, и то већ од тренутка свог настанка. Два главна облика еволуције фамилија су динамичка и сударна еволуција.

Допринос ове дисертације може се поделити на две главне теме. Као прво то је препознавање значаја механизма секуларних резонанци са масивним астероидима, који доводи до значајних поремећаја путања малих астероида, а тиме и до динамичке еволуције фамилија. Друга је откриће и детаљна анализа две нове фамилије астероида.

Истраживање спроведено и описано у првом делу ове тезе првобитно је било мотивисано асиметричном расподелом нагиба путањских равни чланова (1726) Хофмеистер фамилије астероида. У настојању да објасни ову појаву кандидат је урадио детаљну динамичку анализу еволуције фамилије. Како се стандардним механизмима, за које се зна да утичу на кретање астероида, поменута расподела нагиба није могла објаснити, кандидат је испитао и показао да је оговоран један други механизам. Даље истраживање показало је да је одговорна линеарна секуларна резонанца са астероидом (1) Церес. Ово је био први случај где је утврђена улога ове резонанце на кретање астероида.

Након што је показана важност секуларне резонанце са Цересом, прешло се на проучавање других линеарних секуларних резонанци, како оних које укључују фреквенције лонгитуде чвора, тако и оних које укључују фреквенције лонгитуде перихела. Поред тога, осим резонанци овог типа са Цересом, проучаване су и оне са другим најмасивнијим астероидом (4) Веста. Положаји ових резонанци су детаљно мапирани у прстену астероида, и за сваку од њих је процењен ниво промена елемената кретања до којих могу довести. Осим тога, идентификоване су све фамилије астероида које пресеца нека од проучаваних линеарних секуларних резонанци са масивним астероидима. Два овакве фамилије, (1521) Сеинајоки и (1128) Астрид, кандидат је затим детаљно анализирао. Добијени резултати потврдили су значај претходно занемарених секуларних резонанци са масивним астероидима.

Други део дисертације описује откриће и анализу две нове фамилије астероида. Прво, то (326) Тамара, била је мотивисана неочекивано великим бројем тамних астероида у региону Фочеа астероида који се налазе у унутрашњем делу главног прстена астероида где популацијом доминирају светлији објекти. Користећи доступне податке о физичким карактеристика чланова ове фамилије, кандидат је показао да већи део тамних астероида који се налазе у Фочеа региону, припада једној динамичној фамилији. Тамара фамилија астероида је затим даље анализирана. У оквиру те анализе старост фамилије процењена је на око милиона година. Такође, добијени резултати показали су да ова фамилија представља значајан извор објеката блиских Земљи.

Друга откривена фамилија, (633) Зелима, је мала група, субфамилија много веће и старије Еос фамилије. Након идентификације њених чланова, процењена је и њена старост на око 3.7 милиона година.

4. Библиографија кандидата

Георгиос Тсирвоулис објавио је укупно 7 научних радова у часописима са СЦИ листе, као и 5 радова у зборницима радова са међународних конференција. Такође, имао је и више саопштења како на међународним тако и на научним скуповима у земљи.

Категорија рада	Број радова
Рад у научном часопису на СЦИ листи (M21)	3
Рад у научном часопису на СЦИ листи (M22)	3
Рад у научном часопису на СЦИ листи (M23)	1
Рад објављен у целини у зборнику радова са међународног научног скупа	5
Рад објављен само у изводу у зборнику радова са научног скупа	4

Списак радова:

А) Научни радови објављени у часописима међународног значаја, из дисертације:

1. **Tsirvoulis, G.**, 2019, "Discovery of a young subfamily of the (221) Eos asteroid family." Monthly Notices of the Royal Astronomical Society 482, 2612-2618. (M21; IP2017 = 5.5)
2. Milani, A., Knežević, Z., Spoto, F., Cellino, A., Novaković, B., **Tsirvoulis, G.**, 2017, "On the ages of resonant, eroded and fossil asteroid families", Icarus 288, 240-264. (M22; IP2016 = 3.2)
3. Novaković, B., **Tsirvoulis, G.**, Granvik, M., Todović, A., 2017, "A dark asteroid family in the Phocaea region", The Astronomical Journal, 153, 266 (M21; IP2016 = 4.15)
4. **Tsirvoulis, G.**, Novaković, B., 2016, "Secular resonances with Ceres and Vesta", Icarus 280, 300-307. (M22; IP2016 = 3.2)
5. Novaković, B., Maurel, C., **Tsirvoulis, G.**, Knežević, Z., 2015, "Asteroid Secular Dynamics: Ceres' Fingerprint Identified", The Astrophysical Journal 807, L5. (M21; IP2015 = 5.5)

В) Научна саопштења са конференција штампана у целини, из дисертације:

1. Novaković, B., **Tsirvoulis, G.**, Maro, S., Đošović, V., Maurel, C., 2016, "Secular evolution of asteroid families: the role of Ceres", Asteroids: New Observations, New Models, Proceedings of the International Astronomical Union, Cambridge Univ. Press, IAUS, 318, pp. 46-54.
2. Milani, A., Spoto, F., Knežević, Z., Novaković, B., **Tsirvoulis, G.**, 2016, "Families classification including multiopposition asteroids", Asteroids: New Observations, New

Models Proceedings of the International Astronomical Union, Cambridge Univ. Press, IAUS, 318, pp. 28-45.

3. **Tsirvoulis, G.**, Michel, P., "Physical Properties of Near-Earth Asteroids", in "Asteroid and Space Debris Manipulation: Advances from the Stardust Research Network", Vasile, M., Minisci, E. editors, Progress in Astronautics and Aeronautics, pp. 83-102.
4. **Tsirvoulis, G.**, Novaković, B., "Linking Near-Earth Asteroids to Their Main-Belt Source Regions", in "Asteroid and Space Debris Manipulation: Advances from the Stardust Research Network", Vasile, M., Minisci, E. editors, Progress in Astronautics and Aeronautics, pp. 103-122
5. **Tsirvoulis, G.**, Novaković, B., Knežević, Z., Cellino, A., 2014, "Dynamical properties of Watsonia asteroid family", Complex Planetary Systems, Proceedings of the International Astronomical Union, Cambridge Univ. Press, IAUS, 310, pp. 180-181.

C) Научна саопштења са конференција штампана у изводу, из дисертације:

1. **Tsirvoulis, G.**, Novaković, B., 2016, "Discovery of a dark asteroid family in the Phocaea region", Stardust Final Conference on Asteroids and Space Debris, ESTEC, Netherlands, 31st Oct 2016 - 3rd Nov 2016 (усмено излагање)
2. **Tsirvoulis, G.**, Novaković, B., Đošović, V., 2015, "Secular resonances with massive asteroids and their impact on the dynamics of small bodies", IAU General Assembly 22, id 2245575, August 3 - 14, 2015, Honolulu, Hawaii (усмено излагање)
3. **Tsirvoulis, G.**, 2015, "Dynamical properties of the Watsonia asteroid family", Stardust ITN – Local training workshop, 11 – 13 February 2015., Belgrade, Serbia (усмено излагање)
4. **Tsirvoulis, G.**, Novaković, B., Knežević, Z., Cellino, A. 2014. "Dynamical properties of the Watsonia asteroid family" Asteroids, Comets, Meteors 2014. Proceedings of the conference held 30 June - 4 July, 2014 in Helsinki, Finland. (усмено излагање)

D) Остали научни радови објављени у часописима међународног значаја:

1. **Tsirvoulis, G.**, Morbidelli, A., Delbo, M., Tsiganis, K., 2018, "Reconstructing the size distribution of the primordial Main Belt", Icarus 304, 14-23. (M22; IP2016 = 3.2)
2. Tsiganis, K., Varvoglis, H., **Tsirvoulis, G.**, Voyatzis, G., 2012, "Constraining asteroid dynamical models using GAIA data", Planetary and Space Science 73, 47-51. (M23; IP2016 = 1.9)

5. Закључак и предлог комисије

Докторска дисертација Георгиоса Тсирвоулиса под називом ”Секуларна динамика изабраних фамилија астероида” је целовито научно дело које разматра неколико тема везаних пре свега за динамику сударних фамилија астероида. Дисертација је изложена структурно и јасно, са детаљним прегледом свих потребних тема чиме је кандидат показао висок ниво знања и размевања проучаване материје. Резултати дисертације представљају оригинални научни допринос проучавању група астероида насталих као продукт судара.

Из научне области којом се бави ова дисертација, кандидат је објавио, самостално или као коаутор, шест радова у међународним часописима категорије М21 и М22. Од три рада објављена у категорији М21, један је самостални рад кандидата, док је на два рада из категорије М22 први аутор. Поменимо и да су радови који се директно односе на резултате добијене у оквиру ове дисертације, до данас већ цитирани више од 70 пута према НАСА АДС бази.

Стога, предлажемо Наставно-научном већу Математичког факултета, Универзитета у Београду, да прихвати овај извештај и позитивну оцену докторске дисертације ”Секуларна динамика изабраних фамилија астероида” кандидата Георгиоса Тсирвоулиса, и одреди комисију за њену одбрану.

У Београду,
18. јануара 2019. године.

Комисија за преглед и оцену

др Бојан Новаковић, доцент (ментор)

др Зоран Кнежевић, академик

проф. др Клеоменис Тсиганис, ван. проф.

проф. др Анђелка Ковачевић, ван. проф.