

Наставно-научном већу  
Математичког факултета  
Универзитета у Београду

**Извештај Комисије за преглед и оцену докторске дисертације**  
*"Допринос зрачења галаксија и галактичких јата позадинском гама зрачењу"*  
**кандидата Александре Ћипријановић**

**Биографија кандидата**

Кандидат Александра Ћипријановић рођена је 28. октобра 1987. године у Београду. Математички факултет, смер Астрофизика, уписује 2006. године, након завршене Треће београдске гимназије. Након завршених редовних студија 2010. године уписује мастер студије на програму Астрономија и астрофизика, модул Астрофизика. Мастер студије завршава одбраном мастер рада "Допринос космолошких космичких зрака позадини гама-зрачења". Докторске студије на програму Астрономија и астрофизика уписује 2011. године. У оквиру докторских студија положила је испите из следећих курсева: Физика међузвездане материје, Класична космологија, Астрохемија, Одабрана поглавља вангалактичке астрономије, Еволуција остатака супернових, Астробиологија, Активна галактичка језгра, Специјални курс 1: Увод у нуклеосинтезу и честичну астрофизику.

Од јануара 2011. године запослена је као истраживач-приправник на Математичком факултету у Београду, у оквиру научноистраживачког пројекта Министарства образовања, науке и технолошког развоја Републике Србије под називом "Емисионе маглине: структура и еволуција" (бр. 176005). Звање истраживач-сарадник добија у априлу 2014. године.

Истраживања кандидата Александре Ћипријановић везана су за космичко зрачење убрзано у остацима супернових, као и у акреционим ударним таласима на највећим скалама. Посебно се бави изучавањем продуката интеракција космичког зрачења са међузвезданом материјом, конкретно насталим гама зрачењем, неутринима и литијумом.

Као студент мастер и докторских студија учествовала је на неколико школа и радионица: Трећа интернационална школа астрономије: Астроинформатика – виртуелна опсерваторија, Београд, 2010 (кратко излагање); Симпозијум Математика и примене, Београд, 2010, 2011.(кратко излагање); Регионална радионица о атомским и молекуларним

подацима, Београд, 2012. (кратко излагање); Радионица о будућности астрочестичне физике тамне материје: увид и перспективе, Трст, 2013. (постер); Радионица о перспективама вангалактичких граница: од астрофизике до фундаменталне физике, Трст, 2016. (кратко излагање). Учествовала је и на пет националних и међународних конференција: 16. национална конференција астронома Србије, Београд, 2011 (кратко излагање); 28. Конгрес Међународне астрономске уније, Пекинг, 2012. (постер); 8. српско–бугарска астрономска конференција, Лесковац, 2012 (постер); 17. национална конференција астронома Србије, Београд, 2014 (постер); 10. српско–бугарска астрономска конференција, Београд, 2016 (постер).

Коаутор је седам научних радова објављених у међународним часописима са тзв. СЦИ листе (*Astrophysical Journal*, *Astroparticle Physics*, *International Journal of Modern Physics A*, *Serbian Astronomical Journal*). Први аутор је на два рада, као и самостални аутор једног рада, који су директно везани за дисертацију и који су објављени у водећим међународним часописима (*Astrophysical Journal*, *Astroparticle Physics*). Аутор је и једног рецензираног рада са научне конференције (*Publications of the Astronomical Observatory of Belgrade*) и коаутор још једног (*Highlights of Astronomy*).

Неколико пута је боравила на Националној астрономској опсерваторији Рожен, Бугарска као и једном на Националној астрономској опсерваторији Тубитак, Турска, у циљу посматрања галаксија кроз ускопојасне филтере H $\alpha$  и SII филтере. Такође, била је и члан локалног организационог комитета 17. националне конференције астронома Србије, 2014. године.

## Структура докторске дисертације

Ова докторска дисертација се бави моделовањем гама зрачења слабо испитаних компоненти - јата и патуљастих галаксија, и њиховог доприноса детектованој позадини гама зрачења. Гама зрачење ових извора крије у себи информације о процесима убрзања космичког зрачења у овим структурама, односно о убрзавању космичких зрака на акреционим ударним таласима на јатима галаксија, али и убрзавању у остацима супернових у самим галаксијама. Интеракције космичког зрачења са атомима међузвездане материје резултују, између осталог, производњом гама зрачења, неутрина и лаких елемената, од којих се у овој тези посебно разматра литијум. У дисертацији се пре свега развијају модели који описују гама зрачење произведено од стране космичких зрака пореклом из галактичких јата, тј.

космичких зрака убрзаних у акреционим ударним таласима на великим скалама. Модели су затим примењени на конкретна, још неразлучена јата галаксија, а предвиђено, колективно гама зрачење свих ових објеката заједно је упоређено са посматраним позадинским гама зрачењем које је измерио телескоп *Fermi-LAT*, док је пратеће неутринско зрачење упоређено са флуksom високоенергетских неутрина детектованим од стране детектора IceCube.

Један део дисертације бави се производњом космичких зрака у остацима супернових, конкретно у случају Малог Магелановог облака, за који постоје мерења гама флукса и заступљености литијума. С обзиром да и гама зрачење и литијум настају приликом интеракција космичког зрачења са међузвезданом материјом, космичко зрачење као њихова заједничка веза, се користи да се на основу измерене заступљености међузвезданог литијума, калибришу модели који описују производњу гама зрака у овом типу галаксија. На основу добијених резултата је затим процењено колики би допринос галаксија сличних Малом Магелановом облаку био детектованом позадинском гама зрачењу.

Дисертација садржи 112 страница и списак од 202 референце. Структура дисертације је следећа:

1. УВОД (1-3)
2. КОСМИЧКО ЗРАЧЕЊЕ (4-31)
3. ВАНГАЛАКТИЧКА ГАМА И НЕУТРИНСКА ПОЗАДИНА (32-45)
4. СТРУКТУРЕ НА ВЕЛИКИМ СКАЛАМА И КОСМОЛОШКИ КОСМИЧКИ ЗРАЦИ (46-67)
5. ВЕЗА ИЗМЕЂУ ГАМА ЗРАЧЕЊА И НЕУТРИНА (68-76)
6. ВЕЗА ИЗМЕЂУ ГАМА ЗРАЧЕЊА И ЛИТИЈУМА (77-99)
7. ЗАКЉУЧАК И БУДУЋИ РАД (100-102)
8. ЛИТЕРАТУРА (103-110)
9. БИОГРАФИЈА АУТОРА (111-112)

У првој глави ове дисертације дат је кратак увод који говори о космичком зрачењу и продукатима интеракција ових честица са међузвезданом материјом, којима ће се у дисертацији бавити. У глави 2 говори се о саставу, спектру, начину убрзавања и типовима интеракција космичког зрачења. Глава 3 говори о измереном позадинском гама зрачењу, као и најновијим детекцијама неутрина. У глави 4 дат је опис модела развијених у оквиру дисертације, који описују гама зрачење објеката на великим скалама, тј. неразлучених јата галаксија. Глава 5 повезује добијене моделе гама зрачења са најновијим детекцијама неутрина. У глави 6 је на

примеру Малог Магелановог облака дата је веза између производње гама зрачења и литијума од стране космичких зрака убрзаних у остацима супернових. На крају дисертације дати су закључци и предлози за будући рад као и списак коришћене литературе.

## Преглед важнијих резултата

Разматрана дисертација има неколико главних научних резултата, који дају допринос изучавању космичких зрака и њихових интеракција, конкретно производњи гама зрачења, неутрина, као и литијума. Кандидат је проучавао два начина убрзавања космичког зрачења, у остацима супернових унутар галаксија, као и у акреционим ударним таласима на великим структурама. Развијени су модели производње гама зрачења, које потиче од стране неразлучених јата галаксија, као представника објеката на великим скалама, код којих могу постојати акрециони ударни таласи. Значај овог модела је у томе што је у њему по први пут укључена еволуција флукса гама зрачења извора са временом, као последица еволуције акреционих ударних таласа. Разматрањем модела кандидат је дошао до закључка да неразлучена јата галаксија могу потенцијално да дају велики допринос измереном позадинском гама зрачењу, чије порекло није за сада у потпуности објашњено. Истакнута је и веза гама зрачења са неутринима, с обзиром на то да оба настају као резултат интеракција космичког зрачења са међузвезданом материјом. Најновија мерења неутрина искоришћена су за још јаче ограничавање развијених модела гама зрачења галактичких јата.

Један део разматране дисертације бави се и проблематиком производње литијума од стране космичког зрачења. Разматрано је убрзавање космичког зрачења у остацима супернових у Малом Магелановом облаку. Ипак, закључује се да детектована заступљеност литијума у међузвезданој средини ове галаксије не може на конзистентан начин бити великим делом произведена од стране овако убрзаних космичких зрака, већ да је у случају ове галаксије потребно увођење других извора убрзаних честица, како би се истовремено објаснила посматрана заступљеност литијума, као и измерени гама флукс ове галаксије. Такође, процењено је и да неразлучене мале галаксије не могу значајно да допринесу позадинском гама зрачењу, ако разматрамо само гама зрачење које производи космичко зрачење убрзано у остацима супернових.

## Научни радови из области истраживања презентованог у дисертацији

Радови у међународним часописима:

1. A. Ćiprijanović, 2016: “*Galactic Cosmic-Ray Induced Production of Lithium in the Small Magellanic Cloud*”, *Astropart. Phys.*, **85**, 24
2. A. Dobardžić<sup>1</sup>, T. Prodanović, 2015: “*Neutrino Constrains to the Diffuse Gamma-Ray Emission from Accretion Shocks*”, *Astrophys. J.*, **806**, 184
3. A. Dobardžić, T. Prodanović, 2014: “*Diffuse Pionic Gamma-Ray Emission from Large Scale Structures in the Fermi Era*”, *Astrophys. J.*, **782**, 109 [Erratum: *Astrophys. J.*, **787**, 95]

Радови на скуповима од националног значаја штампани у целини:

1. A. Ćiprijanović, 2012: “*Cosmological Cosmic-Ray Contribution to the Extragalactic Gamma-Ray Background*”, (Proceedings of the XVI National conference of astronomers of Serbia, October 10 - 12, 2011, Belgrade, Serbia; Eds. S. Jankov, N. Pejović and R. Pavlović) Publ. Astron. Obs. Belgrade, No. **91**, 249

## Научни радови ван области докторске дисертације:

Радови у међународним часописима:

1. M. M. Vučetić, A. Ćiprijanović, M. Z. Pavlović, T. G. Pannuti, N. Petrov, U. D. Göker, E. N. Ercan, 2015: “*Optical Observations Of The Nearby Galaxy IC342 With Narrow Band [Sii] And Ha Filters. II The Detection Of 16 Optically-Identified Supernova Remnant Candidates*”, *Serb. Astron. J.*, **191**, 67
2. M. Z. Pavlović, A. Dobardžić, B. Vukotić, D. Urošević, 2014: “*Updated Radio  $\Sigma$ -D Relation For Galactic Supernova Remnants*”, *Serb. Astron. J.*, **189**, 24

---

<sup>1</sup> Након удаје променила презиме у Добарџић, а након развода вратила девојачко презиме Ћипријановић. Због тога се научни радови објављени до данас, могу наћи под оба презимена.

3. V. Zeković, B. Arbutina, A. Dobardžić, M. Z. Pavlović, 2013: “*Relativistic Non-Thermal Bremsstrahlung Radiation*”, Int. J. Mod. Phys. A, **28**, 1350141
4. M. M. Vučetić, B. Arbutina, D. Urošević, A. Dobardžić, M. Z. Pavlović, T. G. Pannuti, N. Petrov, 2013: “*Optical Observations of the Nearby Galaxy IC342 With Narrow Band [SII] and H $\alpha$  Filters. I*”, Serb. Astron. J., **187**, 11

Радови на скуповима од међународног значаја штампани у целини:

1. D. Urošević, M. Z. Pavlović, B. Arbutina, A. Dobardžić, 2012: “*The modified equipartition calculation for supernova remnants with the spectral index  $\mathcal{S}=0.5$* ”, (IAU XXVIII General Assembly, 20 - 31. August 2012. Beijing, China) Highlights of Astronomy, **16**, 398

**Научна саопштења на конференцијама штампана у изводу:**

1. M. Z. Pavlović, A. Dobardžić, D. Urošević, B. Arbutina, D. Onić, B. Vukotić, 2014: “*Updated Radio Surface-Brightness-to-Diameter Relation for Galactic Supernova Remnants*”, (XVII National Conference of Astronomers of Serbia, 23 - 27. September 2014. Belgrade, Serbia; Eds. S. Šegan, S. Ninković, A. Kovačević, B. Novaković) Publ. Astron. Obs. Belgrade, p. 55
2. A. Dobardžić, A. Kovačević, 2012: “*Atomic and Molecular Data - Application on Formation of Molecules in Dark Clouds*”, (Regional Workshop on Atomic and Molecular Data, 14 - 16. June 2012. Belgrade, Serbia)
3. M. Anđelić, B. Arbutina, D. Urošević, A. Dobardžić, M. Z. Pavlović, 2012: “*Observations of Galaxy IC342 in Narrow Band [SII] and H $\alpha$  Filters*”, (VIII Serbian-Bulgarian Astronomical Conference, 8-12 May, 2012, Leskovac; Eds. M. S. Dimitrijević and M. Tsvetkov), p. 19

## Закључак и предлог

Докторска дисертација под називом “*Допринос зрачења галаксија и галактичких јата позадинском гама зрачењу*” Александре Ћипријановић целовито је научно дело које прегледно разматра неколико целина које су обухваћене овом темом, уз детаљан списак пратеће литературе. Кандидаткиња је стекла и демонстрирала висок ниво знања и широко разумевање теорије гама зрачења и интеракција космичког зрачења што је показала при истраживању позадинског гама зрачења, насталог као продукт интеракција космичког зрачења убрзаног у остацима супер нових и акреционим ударним таласима. Резултати дисертације представљају оригиналан научни допринос моделирању позадине гама зрачења и истраживању извора космичког зрачења у свемиру. Из научне области којом се бави, кандидаткиња је објавила, самостално или као коаутор, већи број радова у међународним часописима, као и са научних конференција.

Стога, предлажемо Наставно-научном већу Математичког факултета Универзитета у Београду да прихвати овај извештај и позитивну оцену докторске дисертације “*Допринос зрачења галаксија и галактичких јата позадинском гама зрачењу*” Александре Ћипријановић и одреди комисију за њену одбрану.

У Београду, 17. 10. 2016. год.

Комисија

---

др Тијана Продановић  
виши научни сарадник

---

др Дејан Урошевић  
редовни професор

---

др Бојан Арбутина

ДОЦЕНТ