

ИСТРАЖИВАЊА ГАЛАКТИЧКИХ И ВАНГАЛАКТИЧКИХ ГРАВИТАЦИОНИХ ПОЈАВА НА АСТРОНОМСКОЈ ОПСЕРВАТОРИЈИ (2012-2013)

ПРЕДРАГ ЈОВАНОВИЋ^{1,*}, ДУШКО БОРКА²,
ВЕСНА БОРКА ЈОВАНОВИЋ², ЛУКА Ч. ПОПОВИЋ¹,
НАТАША БОН¹, МАРКО СТАЛЕВСКИ¹ и ЕДИ БОН¹

¹Астрономска опсерваторија, Волгина 7, 11060 Београд, Србија

*E-mail: pjovanovic@aob.rs

²Лабораторија за атомску физику (040), Институт за нуклеарне науке
"Винча", Универзитет у Београду, П.Ф. 522, 11001 Београд, Србија

Резиме: У овом раду су представљени најважнији научни резултати које је истраживачки тим пројекта 176003 "Гравитација и структура космоса на великим скалама" остварио у току 2012. и 2013. године. Овај пројекат је пријављен у оквиру програма основних истраживања за период 2011-2014. и финансиран је од стране Министарства просвете, науке и технолошког развоја Републике Србије.

Кључне речи: гравитација, космологија, астрономија

1. УВОД

Пројекат 176003 "Гравитација и структура космоса на великим скалама" је пријављен 10. јула 2010. године на конкурс Министарства за науку и технолошки развој Републике Србије за предлагање пројеката у оквиру програма основних истраживања за период 2011-2014. У складу са одлуком о финансирању број 401-00-9/2011-01 од 25. јануара 2011. године, закључен је Уговор о реализацији и финансирању научноистраживачког пројекта из програма основних истраживања, између Републике Србије и реализатора истраживања. Пројекат је у области "Геонауке и астрономија", тип пројекта је теоријско-експериментални, а реализатори су Астрономска опсерваторија у Београду (АОБ) и Институт за нуклеарне науке "Винча" (ИННВ). Истраживачки тим пројекта 176003 сачињава седам истраживача (видети слику 1), од којих су сви доктори наука:



Слика 1: Истраживачки тим: др Предраг Јовановић, др Весна Борка Јовановић, др Душко Борка, др Еди Бон, др Наташа Бон, др Марко Сталевски и др Лука Ч. Поповић.

- др **Предраг П. Јовановић** (рођен 14. 04. 1968.), руководилац пројекта, виши научни сарадник, АОБ, ангажован на пројекту са 10 истраживачких месеци (ИМ) годишње
- др **Лука Ч. Поповић** (рођен 16. 04. 1964.), научни саветник, АОБ, 2 ИМ
- др **Еди А. Бон** (рођен 28. 09. 1970.), научни сарадник, АОБ, 6 ИМ
- др **Наташа Ж. Бон** (рођена 15. 08. 1979.), научни сарадник, АОБ, 4 ИМ
- др **Марко Т. Сталевски** (рођен 07. 03. 1982.), научни сарадник, АОБ, 6 ИМ
- др **Душко В. Борка** (рођен 15. 08. 1972.), виши научни сарадник, ИННВ, 4 ИМ
- др **Весна В. Борка Јовановић** (рођена 18. 03. 1974.), научни сарадник, ИННВ, 8 ИМ

2. ФИНАНСИРАЊЕ ПРОЈЕКТА

Као што је већ речено, пројекат је финансиран од стране Министарства просвете, науке и технолошког развоја Републике Србије. Пошто се ради о новом пројекту који је почео са радом 2011. године, набављени су нови рачунари који се користе као основна средства за рад. У категорији опреме из кредита до 30.000,00 евра укупно је одобрено 16.010,00 евра. Од тога су набављена 4 стандардна десктоп рачунара модела 4 укупне вредности 5.264,00 евра и 5 стандарних лаптоп рачунара модела 4 укупне вредности 7.000,00 евра. Поред тога, набављена су и два "custom" лаптоп рачунара типа Apple Air дијагонале екрана 11 и 13 инча, а чија цена није дата. У категорији ситне опреме из кредита набављено је додатних пет лаптоп рачунара дијагонале екрана 13 инча укупне вредности 3.835,00 евра. Сви ови рачунари су испоручени и пуштени у рад у току 2012. године.

Директни материјални трошкови (ДМТ), који су у функцији обављања научноистраживачког рада на пројекту, деле се на ДМТ I (режија: трошкови рада запослених лица која обављају административне и техничке послове, трошкови електричне енергије, воде, грејања, комуналних услуга) и ДМТ II (трошкови набавке потрошног материјала, ситне опреме и ситног инвентара, трошкови путовања, трошкови објављивања резултата, трошкови услуге истраживачима).

Укупна средства за ДМТ II исплаћена од стране Министарства за 2012. су износила: 118.766,00 за АОБ и 50.900,00 за ИННВ, или укупно 169.666,00 динара. У 2013. су ова средства износила: 169.120,00 за АОБ и 72.480,00 за ИННВ, или укупно 241.600,00 динара. Добијена средства за ДМТ II су искоришћена за учешће свих чланова пројекта на међународним конференцијама, организовање међународних конференција, набавку ситне опреме, трошкове објављивања резултата, као и за радне посете страних сарадника.

Накнаде за рад истраживача у бруто износу (које укључују нето износ, порез, допринос и додатна средства за време проведено на раду), исплаћене

од стране Министарства за 2012. годину су износиле: 4.030.850,35 за АОБ и 1.672.538,00 за ИННВ, или укупно 5.703.388,35 динара. За 2013. годину ова средства су износила: 4.247.634,00 за АОБ и 1.724.444,00 за ИННВ, што је укупно 5.972.078,00 динара.

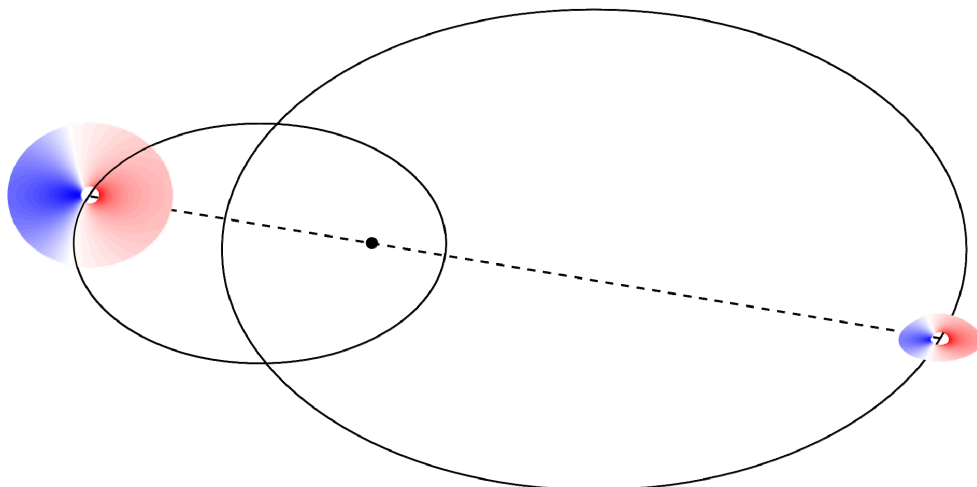
3. ЦИЉЕВИ ПРОЈЕКТА И ОСТВАРЕНИ РЕЗУЛТАТИ ИСТРАЖИВАЊА

Основни научни циљ пројекта 176003 "Гравитација и структура космоса на великим скалама" је истраживање вангалактичких и космолошких појава којима управља гравитација. Као што је познато, космос се у својим највећим размерама може сматрати за хомогену и изотропну средину у стању равномерног ширења, али на скалама до 100 Мрс он је нехомоген и има хијерархијску структуру у којој су звезде организоване у галаксије, галаксије су груписане у јата, а она формирају суперјата и филаменте галаксија, раздвојене огромним празнинама. Гравитација има главну улогу у формирању и еволуцији такве хијерархијске структуре космоса на великим скалама, због чега су одговарајућа истраживања од суштинског значаја за модерну астрофизику и космологију. Поред напред наведених научних циљева, пројекат има такође за циљ да буде основа за образовање младих научника као и за међународну сарадњу у овој области.

У оквиру нашег пројекта се спроводе различите врсте истраживања (теоријска разматрања, нумеричке симулације и поређења моделованих резултата са астрономским посматрањима) која обухватају следеће гравитационе појаве на галактичким и вангалактичким скалама:

1. Супермасивне црне рупе

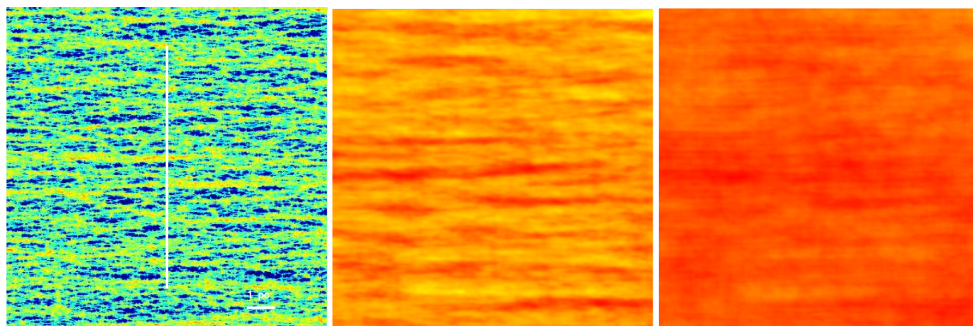
за које је данас широко прихваћено мишљење да се налазе у центрима већине галаксија и да имају фундаменталан утицај на формирање и еволуцију самих галаксија-домаћина. У оквиру нашег пројекта се бавимо истраживањима ефеката јаког гравитационог поља у близини супермасивних црних рупа у језгрима активних галаксија и квазара, њихове активности и зрачења из њихових релативистичких акреционих дискова. Испитиване су и пертурбације емисивности акреционог диска у виду сјајне пеге и утврђено је да таква једна сјајна пега може да проузрокује померај фотоцентра квазара и од неколико мили лучних секунди. Ова истраживања су вршена у контексту недавно лансиране "Гаја" мисије, чији ће један од главних задатака бити да сачини нови небески референтни систем на основу положаја око пола милиона квазара и језгара активних галаксија са стабилним фотоцентрима. Добијени резултати су објављени у врхунском часопису међународног значаја: L. Č. Popović, P. Jovanović, M. Stalevski, S. Anton, A. H. Andrei, J. Kovačević, M. Baes, *Astronomy & Astrophysics* 538, id. A107 (2012). Поред тога, из ове области је објављен и један прегледни рад у истакнутом часопису међународног значаја: P. Jovanović, 2012, *New Astronomy Reviews*, 56, 37-48.



Слика 2: Илустрација кеплеровске орбите двојног система супермасивних црних рупа око чије примарне (лево) и секундарне (десно) компоненте се простиру релативистички акрециони дискови.

2. Двојне супермасивне црне рупе

које настају у галаксијама у судару и чија сједињавања представљају најмоћније изворе гравитационих таласа. Сматра се да гравитациони таласи преносе огромну количину информација и очекује се да у блиској будућности буду детектовани помоћу већег броја земаљских и свемирских интерферометара. Због тога они представљају главни предмет изучавања нове гране астрономије која је у повоју - астрономије гравитационих таласа. У оквиру нашег пројекта већ се спроводе истраживања особина двојних система супермасивних црних рупа, њихових орбита и зрачења (видети слику 2), а у плану су и изучавања њихове еволуције, акреције и сједињавања (укључујући и одговарајућу емисију гравитационих таласа), као и галаксија у судару у којима настају. У току 2012. и 2013. године су из ове области добијени значајни резултати, што се види из чињенице да су ова истраживања резултовала проналаском посматрачких (спектроскопских) доказа за прву орбиту једног таквог двојног система на скалама испод једног парсека, у језгру активне галаксије NGC 4151, што је објављено у раду у врхунском часопису међународног значаја: E. Bon, P. Jovanović, P. Marziani, A. I. Shapovalova, N. Bon, V. Borka Jovanović, D. Borka, J. Sulentic, L. Č. Popović, *The Astrophysical Journal* 759, article id. 118 (2012). Осим тога, резултати истраживања X-зрачења из релативистичких акреционих дискова око компоненти у двојним системима супермасивних црних рупа су објављени у раду у часопису међународног значаја: P. Jovanović, V. Borka Jovanović, D. Borka, T. Bogdanović, *Adv. Space Res.*, у штампи (2013). DOI: 10.1016/j.asr.2013.10.028.



Слика 3: Мапа гравитационих микросочива за торус прашине у језгру активне галаксије (лево) и њен утицај на зрачење торуса на две различите таласне дужине у инфрацрвеној области (у средини и десно). Бела линија на левом панелу представља један могући правац релативног кретања торуса у односу на мапу гравитационих микросочива.

3. Гравитациона сочива

У гравитационом пољу оваквих објеката долази до савијања зрака светлости, што за последицу има појаву вишеструких ликова неког позадинског извора (макросочива) или појачање његовог интензитета (микросочива). Група истраживача у оквиру овог пројекта се већ дуже време интензивно бави изучавањима скоро свих аспеката ове универзалне природне појаве, а нарочита пажња је била посвећена испитивањима утицаја гравитационих микросочива на зрачење релативистичких акреционих дискова око супермасивних црних рупа у језгрима активних галаксија, као и на примене гравитационих микросочива у посматрачкој космологији. У току 2012. и 2013. године је главни акценат био на изучавању њиховог утицаја на инфрацрвено зрачење емитовано из торуса прашине у језгрима активних галаксија и квазара (видети слику 3), а у том циљу је било неопходно развити и нови модел торуса прашине заснован на 3D преносу зрачења. Из ових области су, као резултат сарадње са др Мартеном Баесом са опсерваторије Универзитета у Генту, Белгија, остварени значајни резултати који су презентовани у оквиру једног предавања по позиву на међународном скупу, а објављена су и три рада у водећим међународним часописима: М. Stalevski, Р. Jovanović, Л. Ђ. Popović, М. Baes, 2012, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 425, 1576-1584; М. Stalevski, Ј. Fritz, М. Baes, Т. Nakos, Л. Ђ. Popović, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* 420, 2756-2772 (2012) и W. Saftly, Р. Camps, М. Baes, К. D. Gordon, S. Vandewoude, А. Rahimi, М. Stalevski, *Astronomy and Astrophysics* 554, А10, 1-6 (2013).

4. Модификована гравитација као алтернатива тамној материји

за коју се претпоставља да сачињава већину материје у космосу и коју не можемо детектовати никаквим другим средствима осим помоћу гравитационих сочива. Верује се да се тамна материја, у највећем делу, састоји од небарионских честица које слабо интерагују и које се крећу само под утицајем гравитације. Међутим, неке недавне студије тамне материје помоћу гравитационих сочива су откриле аномалије у њеној расподели, које нису у складу са претходном претпоставком. У циљу разјашњења ових аномалија, бавимо се и истраживањима неких могућих алтернатива хипотези о тамној материји у виду различитих теорија модификоване гравитације, као што су на пример R^n и гравитација са *Yukawa* чланом, као и њиховим тестирањем помоћу астрономских посматрања. До сада су тестиране могућности те две теорије да објасне астрометријска мерења S -звезда које се крећу око супермасивне црне рупе у центру наше галаксије, као и недавно посматрану орбиталну прецесију неких од тих звезда (видети слику 4). У току 2012. и 2013. године су добијени значајни резултати који су представљени на неколико домаћих и међународних конференција, а објављена су и два рада у водећим међународним часописима: D. Borka, P. Jovanović, V. Borka Jovanović, A. F. Zakharov, *Physical Review D* 85, 124004-1-11 (2012) и D. Borka, P. Jovanović, V. Borka Jovanović, A. F. Zakharov, *Journal of Cosmology and Astroparticle Physics* 11, article id. 050, 1-16 (2013).

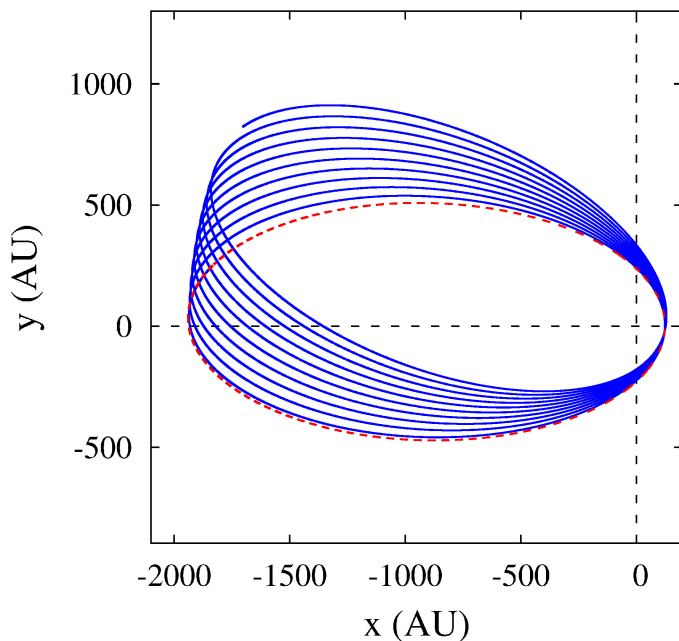
Поред наведених гравитационих појава, изучавана је и структура и расподела материје у оквиру и ван наше галаксије, као и њено зрачење у различитим спектралним областима. У том циљу су испитивани радио емисија великих галактичких петљи и остатака супернових, као и радио лобови код удаљених активних галактичких језгара. Из ове области су у току 2012. и 2013. године објављена два рада, од којих је један у истакнутом међународном часопису (D. Borka, V. Borka Jovanović, D. Urošević, *Revista Mexicana de Astronomía y Astrofísica* 48, 53-60 (2012)), а други у националном часопису (V. Borka Jovanović, D. Borka, R. Skeoch, P. Jovanović, *Publications of the Astronomical Observatory of Belgrade* 91, 255-260 (2012)).

Резиме већине претходно наведених истраживања и добијених резултата у оквиру пројекта 176003 је објављен у прегледном чланку по позиву: P. Jovanović, "Investigation of Some Galactic and Extragalactic Gravitational Phenomena", *Serbian Astronomical Journal* 185, 1-16 (2012).

Сарадник на пројекту, др Марко Сталевски је 12. 11. 2012. године успешно одбранио своју докторску дисертацију под називом "Истраживање структуре активних галактичких језгара: торус прашине". Дисертација је одбрањена на Универзитету у Генту, Белгија, у склопу докторских студија по заједничком програму Универзитета у Београду и Универзитета у Генту дефинисаних посебним уговором о партнерству.

И поред веома ограничених финансијских средстава, сарадници на пројекту су учествовали на неколико научно-стручних скупова у земљи и иностранству, где су презентовали резултате истраживања остварене у

оквиру пројекта. Такође, као што се може видети из списка аутора на објављеним радовима, остварена је и широка међународна сарадња, не само са сарадницима на пројекту из иностранства, него и са страним истраживачима који нису укључени у рад пројекта. На основу свих ових чињеница се може јасно видети да су сви планирани циљеви у 2012. и 2013. години у потпуности остварени.



Слика 4: Поређење између Кеплерове орбите S2 звезде око центра наше Галаксије (црвена испрекидана линија у облику елипсе) и једне њене могуће путање у модификованој гравитацији са *Yukawa* чланом (плава пуна линија у облику розете).

Ово су били само неки најважнији резултати, а остало се може видети из библиографије објављених радова која је дата на крају овог рада.

Семинари, популарна и стручна предавања

Поред објављивања добијених резултата у научним часописима, вршена је и њихова популаризација, а у том циљу су одржана следећа популарна и стручна предавања и семинари:

1. Предраг Јовановић, "Гравитациона сочива и посматрачка космологија", канцеларија *SEENET-MTP* (*Southeastern European Network in Mathematical and Theoretical Physics*) мреже, Природно-математички факултет Универзитета у Нишу, 23. фебруар 2012.

2. Предраг Јовановић, "Ефекти гравитације на космолошким скалама", семинар Катедре за астрономију, Математички факултет Универзитета у Београду, 24. април 2012.

3. Предраг Јовановић, "Гравитационе појаве на космолошким скалама", Циклус АСТРОНОМИЈА – ОД ПОСМАТРАЊА ЗВЕЗДА ДО НАЈФУНДАМЕНТАЛ-НИЈИХ ПИТАЊА, поводом 125 година Астрономске опсерваторије у Београду, Задужбина Илије М. Коларца, Београд, 31. мај 2012.

Награде и признања

Одлуком Научног већа Астрономске опсерваторије од 23. марта 2012. године руководиоца пројекта др Предраг Јовановић је добио Годишњу награду за научни допринос.

4. БИБЛИОГРАФИЈА НАУЧНИХ РАДОВА САРАДНИКА ПРОЈЕКТА 176003 У ПЕРИОДУ 2012-2013

У току 2012. и 2013. године су у оквиру пројекта остварени значајни научни резултати, што се види из чињенице да је у овом периоду објављено 35 библиографских јединица, од чега су 7 радова у врхунским часописима међународног значаја, 2 рада у истакнутим часописима међународног значаја, 3 рада у часописима међународног значаја, 1 рад у часопису међународног значаја верификованом посебном одлуком, 2 рада у водећим часописима националног значаја, 4 рада у часописима националног значаја, као и већи број радова са међународних и домаћих конференција штампаних у целини или у изводу. Следи библиографија радова урађених у оквиру пројекта 176003 и објављених у току 2012. и 2013. године.

Радови у врхунским часописима међународног значаја - M21

1. L. Č. Popović, P. Jovanović, M. Stalevski, S. Anton, A. H. Andrei, J. Kovačević, M. Baes, *Photocentric variability of quasars caused by variations in their inner structure. Consequences for GALA measurements*, *Astronomy & Astrophysics* **538**, 107 (2012).

2. D. Borka, P. Jovanović, V. Borka Jovanović, A. F. Zakharov, *Constraints on R^n gravity from precession of orbits of S2-like stars*, *Physical Review D* **85**, 124004-1-11 (2012).

3. M. Stalevski, J. Fritz, M. Baes, T. Nakos, Luka Č. Popović, *3D radiative transfer modelling of the dusty tori around active galactic nuclei as a clumpy two-phase medium*, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* **420**, 2756 (2012).

4. D. Borka, P. Jovanović, V. Borka Jovanović, A. F. Zakharov, *Constraining the range of Yukawa gravity interaction from S2 star orbits*, *Journal of Cosmology and Astroparticle Physics* **11**, article id. 050, 1-16 (2013).

5. M. Stalevski, P. Jovanović, L. Č. Popović, M. Baes, *Gravitational microlensing of AGN dusty tori*, Monthly Notices of the Royal Astronomical Society **425**, 1576-1584 (2012).

6. E. Bon, P. Jovanović, P. Marziani, A. I. Shapovalova, N. Bon, V. Borka Jovanović, D. Borka, J. Sulentic and L. C. Popović, *The First Spectroscopically Resolved Sub-parsec Orbit of a Supermassive Binary Black Hole*, The Astrophysical Journal **759**, 118-1-8 (2012).

7. W. Saftly, P. Camps, M. Baes, K. D. Gordon, S. Vandewoude, A. Rahimi, M. Stalevski, *Using hierarchical octrees in Monte Carlo radiative transfer simulations*, Astronomy & Astrophysics **554**, A10, 1-6 (2013).

Радови у истакнутим часописима међународног значаја - M22

1. P. Jovanović, *The broad Fe K α line and supermassive black holes*, New Astronomy Reviews **56**, 37 (2012).

2. D. Borka, V. Borka Jovanović, D. Urošević, *Spectra of the HB 21 supernova remnant: Evidence of spectrum flattening at the low frequencies*, Revista Mexicana de Astronomía y Astrofísica **48**, 53-60 (2012).

Радови у часописима међународног значаја - M23

1. P. Jovanović, *Recent observational challenges to dark matter paradigm*, Romanian Journal of Physics **57**, 873-878 (2012).

2. V. Borka Jovanović, D. Borka, *Mass formulas for single-charm tetraquarks with Fermi-Breit hyperfine interaction*, Romanian Journal of Physics **57**, 803-815 (2012).

3. P. Jovanović, V. Borka Jovanović, D. Borka, T. Bogdanović, *Composite profile of the Fe K α spectral line emitted from a binary system of supermassive black holes*, Adv. Space Res., у штампи (2013). DOI: 10.1016/j.asr.2013.10.028

Радови у часописима међународног значаја верификованим посебном одлуком - M24

1. P. Jovanović, *Investigation of Some Galactic and Extragalactic Gravitational Phenomena*, Serbian Astronomical Journal **185**, 1-16 (2012).

Предавања по позиву на међународном скупу штампана у целини - M31

1. M. Stalevski, J. Fritz, M. Baes, T. Nakos, L. Č. Popović, *The AGN dusty torus as a clumpy two-phase medium: radiative transfer modeling with SKIRT*, Torus Workshop 2012, University of Texas, San Antonio, 5-7 December 2012., eds. C. Packham, R. Mason, and A. Alonso-Herrero, University of Texas at San Antonio Libraries (2012).

Предавања по позиву на међународном скупу штампана у изводу - M32

1. M. Stalevski, J. Fritz, M. Baes, L. Č. Popović, *Infrared emission of the AGN Dusty Torus: radiative transfer modeling with SKIRT*, 9th Serbian Conference on Spectral Line Shapes in Astrophysics", 13 - 17 May 2013, Banja Koviljaca, Serbia, Book of Abstracts, Eds. L. Č. Popović, M. S. Dimitrijević, Z. Simić, M. Stalevski (2013).

Радови на скуповима међународног значаја штампани у целини - M33

1. A. F. Zakharov, S. Simić, L. Č. Popović, P. Jovanović, *Evaluation of microlens distributions in gravitationally lensed systems based on accurate radio observations*, Proceedings of the International Astronomical Union Symposium 289 - Advancing the Physics of Cosmic Distances, Edited by Richard de Grijs, Cambridge University Press, Volume 8, 437-440 (2013).

Радови на скуповима међународног значаја штампани у изводима - M34

1. D. Borka, P. Jovanović, V. Borka Jovanović, A. F. Zakharov, *Orbits of S2 like stars near the Galactic center in R^n and Yukawa gravity: comparison*, The Book of a Short Contributions and Extended Abstracts of the Balkan Workshop 2013, Vrnjačka Banja, Serbia, April 25-29, p. 23-24 (2013).

2. V. Borka Jovanović, S. R. Ignjatović, P. Jovanović, D. Borka, *Masses of b-mesons with contributions of Fermi-Breit and Glozman-Riska hyperfine interactions*, The Book of a Short Contributions and Extended Abstracts of the Balkan Workshop 2013, Vrnjačka Banja, Serbia, April 25-29, p. 25-26 (2013).

3. S. R. Ignjatović, V. Borka Jovanović, *On some models of the exotic hadron states*, The Book of a Short Contributions and Extended Abstracts of the Balkan Workshop 2013, Vrnjačka Banja, Serbia, April 25-29, p. 45-46 (2013).

4. P. Jovanović, V. Borka Jovanović, D. Borka, *Composite profile of the Fe K α spectral line emitted from a binary system of supermassive black holes*, Book of abstracts of the IX Serbian Conference on Spectral Line Shapes in Astrophysics, Banja Koviljaca, Serbia, May 13-17, p. 37 (2013).

5. L. Č. Popović, P. Jovanović, *Supermassive Binary Black Hole - Possible Observational Effects in the X-ray Emission*, The Book of a Short Contributions and Extended Abstracts of the Balkan Workshop 2013, Vrnjačka Banja, Serbia, April 25-29, p. 55-56 (2013).

6. E. Bon, P. Jovanović, P. Marziani, A. I. Shapovalova, L. Č. Popović, J. Sulentic, N. Bon, *Spectroscopic detection of supermassive binary black hole systems in AGN*, Book of abstracts of the IX Serbian Conference on Spectral Line Shapes in Astrophysics, Banja Koviljaca, Serbia, May 13-17, p. 31 (2013).

7. E. Bon, P. Jovanović, P. Marziani, A. I. Shapovalova, N. Bon, J. Sulentic, L. Č. Popović, *Detecting outflows in super massive binary black hole systems*, Book of

abstracts of the IX Serbian Conference on Spectral Line Shapes in Astrophysics, Banja Koviljača, Serbia, May 13-17, p. 61 (2013).

8. A. Kovačević, L. Popović, A. Šapovalova, D. Ilić, E. Bon, P. Jovanović, *Probability of finding close binary massive black holes with orbital period less than 15.6 years*, Book of abstracts of the IX Serbian Conference on Spectral Line Shapes in Astrophysics, Banja Koviljača, Serbia, May 13-17, p. 68 (2013).

Радови у водећим часописима националног значаја - M51

1. D. Urošević, V. Borka Jovanović, *The brightness temperatures of the main Galactic radio-loops at 22 MHz*, Open Astronomy Journal **4**, 218-221 (2011).

2. M. Stalevski, *SKIRTOR - database of modeled AGN dusty torus SEDs*, Bulgarian Astronomical Journal **18(3)**, 3-13 (2012).

Радови у часописима националног значаја - M52

1. V. Borka Jovanović, *Estimation of brightnesses and spectral indices of radio loops*, Publications of the Astronomical Observatory of Belgrade **91**, 121-127 (2012).

2. N. Bon, *The contribution of stellar populations in AGN spectra*, Publications of the Astronomical Observatory of Belgrade **91**, 229-234 (2012).

3. M. Stalevski, J. Fritz, M. Baes, T. Nakos, L. Č. Popović, *Radiative transfer modeling of AGN dusty tori as a clumpy two-phase medium*, Publications of the Astronomical Observatory of Belgrade **91**, 235-239 (2012).

4. V. Borka Jovanović, D. Borka, R. Skeoch, P. Jovanović, *Spectral index distribution of radio AGNs: case study of 3C 349*, Publications of the Astronomical Observatory of Belgrade **91**, 255-260 (2012).

Радови у научним часописима - M53

1. D. Borka, P. Jovanović, V. Borka Jovanović, A. F. Zakharov, *Orbital precession in R^n gravity: simulations vs observations (the S2 star orbit case)*, Sveske fizičkih nauka (SFIN) year XXVI Series A: Conferences No. A1, 61-66 (2013).

2. P. Jovanović, *Strong gravity and relativistic accretion disks around supermassive black holes*, Sveske fizičkih nauka (SFIN) year XXVI Series A: Conferences No. A1, 215- 222 (2013).

Радови на скуповима националног значаја штампани у целини - M63

1. С. Игњатовић, В. Борка Јовановић, *О егзотичним мезонским стањима и њиховим моделима*, Зборник радова XII Конгреса физичара Србије, Врњачка Бања, Србија, 28. април - 2. мај, 208-211 (2013).

2. В. Борка Јовановић, П. Јовановић, Д. Борка, *Расподела спектралних индекса код радио лобова: случај галаксије NGC 6251*, Зборник радова XII

Конгреса физичара Србије, Врњачка Бања, Србија, 28. април - 2. мај, 367-370 (2013).

3. П. Јовановић, *Изучавање супермасивних црних рупа у језгрима активних галаксија*, Зборник радова XII Конгреса физичара Србије, Врњачка Бања, Србија, 28. април - 2. мај, 380-383 (2013).

Одбрањена докторска дисертација М71

1. М. Stalevski, 2012, *Investigating the structure of active galactic nuclei: the dusty torus*.

Захвалница

Овај рад је урађен у оквиру пројекта 176003 "Гравитација и структура космоса на великим скалама" који је финансиран од стране Министарства просвете, науке и технолошког развоја Републике Србије.

INVESTIGATION OF GALACTIC AND EXTRAGALACTIC GRAVITATIONAL PHENOMENA AT THE ASTRONOMICAL OBSERVATORY (2012-2013)

Here we present the most important results obtained during 2012 and 2013 by the researchers within the scientific project 176003 "Gravitation and the large scale structure of the Universe". The project is proposed in the frame of fundamental research programme for 2011-2014 period and is supported by Ministry of Education, Science and Technological Development of the Republic of Serbia.

Key words: Gravitation, Cosmology, Astronomy