

ИСТРАЖИВАЊА ГАЛАКТИЧКИХ И ВАНГАЛАКТИЧКИХ ГРАВИТАЦИОНИХ ПОЈАВА НА АСТРОНОМСКОЈ ОПСЕРВАТОРИЈИ (2014-2017)

ВЕСНА БОРКА ЈОВАНОВИЋ^{1,*}, ДУШКО БОРКА¹,
ЛУКА Ч. ПОПОВИЋ², НАТАША БОН², МАРКО СТАЛЕВСКИ²,
ЕДИ БОН² и ПРЕДРАГ ЈОВАНОВИЋ²

¹Институт за нуклеарне науке "Винча", Универзитет у Београду, п.фах 522,
11001 Београд, Србија

²Астрономска опсерваторија, Волгина 7, п.фах 74, 11060 Београд, Србија
*E-mail: vborka@vinca.rs

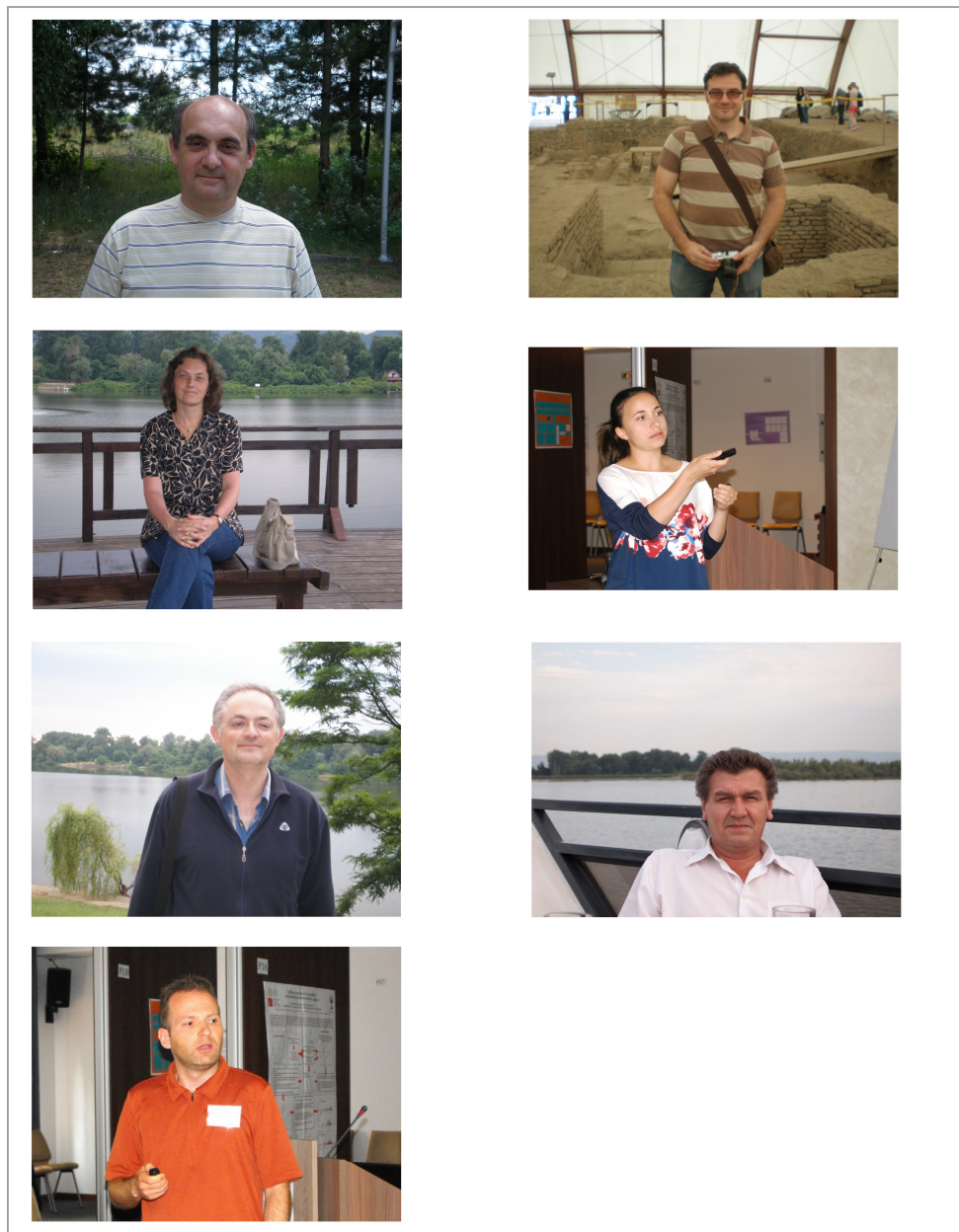
Резиме: У овом раду приказана су научна истраживања урађена на пројекту 176003 "Гравитација и структура космоса на великим скалама", представљен је истраживачки тим пројекта и дати су досадашњи остварени циљеви истраживања. Пројекат се одвија у оквиру програма основних истраживања за период 2011-2017. и финансиран је од стране Министарства просвете, науке и технолошког развоја Републике Србије.

Кључне речи: Астрономска опсерваторија, космологија, гравитација, историја астрономије

УВОД

Уговор из програма основних истраживања број 401-00-9/2011-01 о реализацији и финансирању научноистраживачког пројекта 176003 "Гравитација и структура космоса на великим скалама", који је закључен 25. јануара 2011. г., кроз више анекса је продужаван и у периоду од 2015. до 2017. године. 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). Анекс IV Уговора о реализацији Пројекта 176003 између Републике Србије и реализатора истраживања закључен је 25. маја 2015. за продужење пројектног циклуса у току 2015. године, анекс V Уговора од 3. марта 2016. за продужење до 30. јуна 2016., анекс VI Уговора од 1. јула 2016. за продужење

до 31. децембра 2016, анекс VII Уговора од 16. марта 2017. за настављање финансирања и у току 2017. године.



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

ИСТРАЖИВАЧКИ ТИМ ПРОЈЕКТА 176003

Наш пројекат окупља седам истраживача (видети слику 1), од којих су сви доктори наука:

- **др Предраг П. Јовановић** (рођен 14. 04. 1968), руководилац пројекта, научни саветник, 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), научни саветник, ИННВ, 4 ИМ

- **др Весна В. Борка Јовановић** (рођена 18. 03. 1974), научни сарадник, ИННВ, 8 ИМ

Резултати рада на пројекту ОИ 176003 представљени су на више домаћих и међународних конференција (постер секције, кратка предавања, предавања по позиву) и на семинарима, и објављени су радови у домаћим и у врхунским часописима међународног значаја.

У периоду од 2014. до 2017. г. сарадници пројекта објавили су 15 радова у међународним часописима М20 (врхунски часописи међународног значаја М21 и истакнути часописи међународног значаја М22), а библиографија објављених радова је дата на крају овог рада.

Као што се може видети из списка аутора на објављеним радовима, остварена је интензивна међународна сарадња са страним колегама, што је за последицу имало вишеструку корист у погледу трансфера знања и усавршавања истраживача.

ФИНАНСИРАЊЕ ПРОЈЕКТА

Пројекат је финансиран од стране Министарства просвете, науке и технолошког развоја Републике Србије. Након продужетка пројекта, набављено је више рачунара као и остале ситне опреме.

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

ДМТ II су коришћени за: учешће свих чланова пројекта на међународним и домаћим конференцијама, организовање међународних конференција, набавку ситне опреме, трошкове објављивања резултата и њихову промоцију и популаризацију, као и за радне посете страних сарадника.

Ситна опрема

Пошто је на интернет страници Јединице за управљање пројектима, преко које је до сада вршено наручивање ситне опреме, дат збирни преглед свих наруџбина од почетка пројектног циклуса до 2016, наводимо збирни приказ у том периоду.

У периоду 2011-2016. из кредита (ДМТ2) укупно је одобрено ситне опреме: 18.407,42 ЕУР, а од тога за потпројекат ON176003-1 на Астрономској опсерваторији у Београду: 12.271,61 ЕУР, а за потпројекат ON176003-2 у Институту за нуклеарне науке "Винча": 6.135,81 ЕУР. На потпројекту ON176003-1 је до сада књижено 4,002.23 ЕУР за ситну опрему и 8,020.09 ЕУР за потрошни материјал, или укупно 12,022.32 ЕУР. На потпројекту ON176003-2 је до сада књижено 1,534.00 ЕУР за ситну опрему и 4,470.46 ЕУР за потрошни материјал, или укупно 6,004.46 ЕУР. Ситна опрема се састојала од рачунара (десктопови, лаптопови и таблети), штампача и скенера. Сва књижена опрема на оба потпројекта је испоручена и у функцији је.

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 по годинама, за 2014. годину су износиле: 3.447.702,68 за АОБ и 1.748.800,00 за ИННВ, што је укупно 5.196.502,68 динара. За 2015. годину ова средства су износила: 4.153.987,70 за АОБ и 1.751.700,00 за ИННВ, што је укупно 5.905.687,70 динара. У 2016. износи су следећи: 4.175.553,44 за АОБ и 1.769.348,00 за ИННВ, или укупно 5.944.901,44 динара.

НАУЧНИ ЦИЉ ПРОЈЕКТА

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

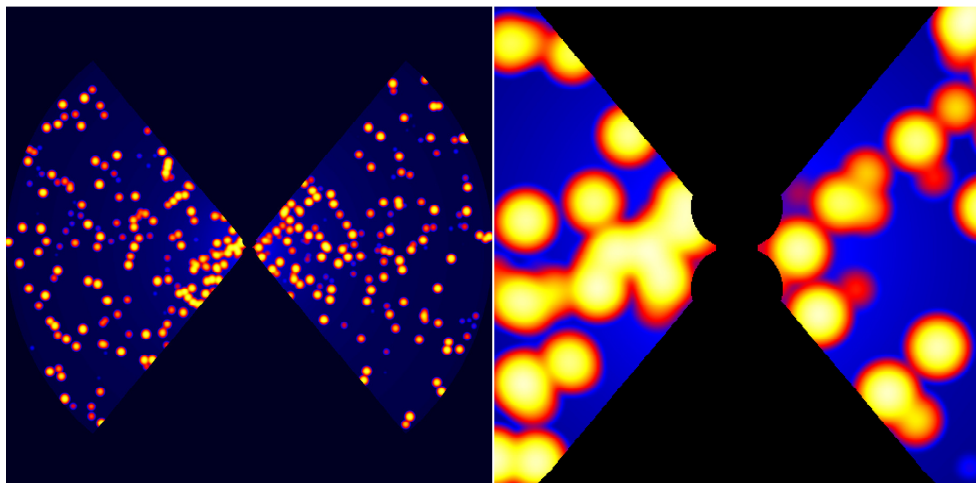
модерну астрофизику и космологију. Поред напред наведених научних циљева, пројекат има такође за циљ да буде основа за образовање младих научника као и за међународну сарадњу у овој области. У оквиру нашег пројекта спроводе се различите врсте истраживања (теоријска разматрања, нумеричке симулације и поређења моделованих резултата са астрономским посматрањима) која обухватају следеће гравитационе појаве на галактичким и вангалактичким скалама: (1) супермасивне црне рупе, (2) двојне супермасивне црне рупе, (3) гравитациона сочива, (4) модификована гравитација као алтернатива тамној материји.

Дакле, истраживања на пројекту обухватају следеће гравитационе појаве:

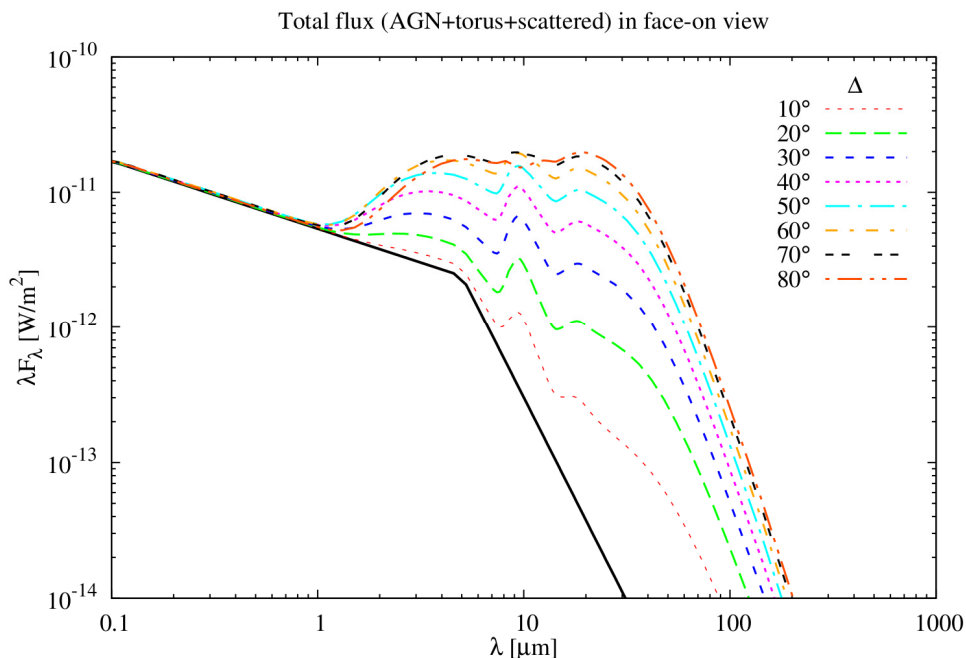
1. Супермасивне црне рупе

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 (СМЦР) у језгрима активних галаксија (АГ) и квазара, њихове активности и зрачења из њихових релативистичких акреционих дискова. Такође, изучава се инфрацрвено зрачење емитовано из торуса прашине у језгрима активних галаксија и квазара.

Једна од симулација торуса прашине дата је на слици 2, док је на слици 3 одговарајућа расподела спектралне енергије зрачења торуса.



Слика 2: Профил густине торуса прашине око СМЦР (геометрија и расподела прашине) за типични двофазни модел. Делови веће густине приказани су жутом бојом, а мање густине плавом (логаритамска скала боја). (M. Stalevski et al., MNRAS 458, 2288 (2016)).



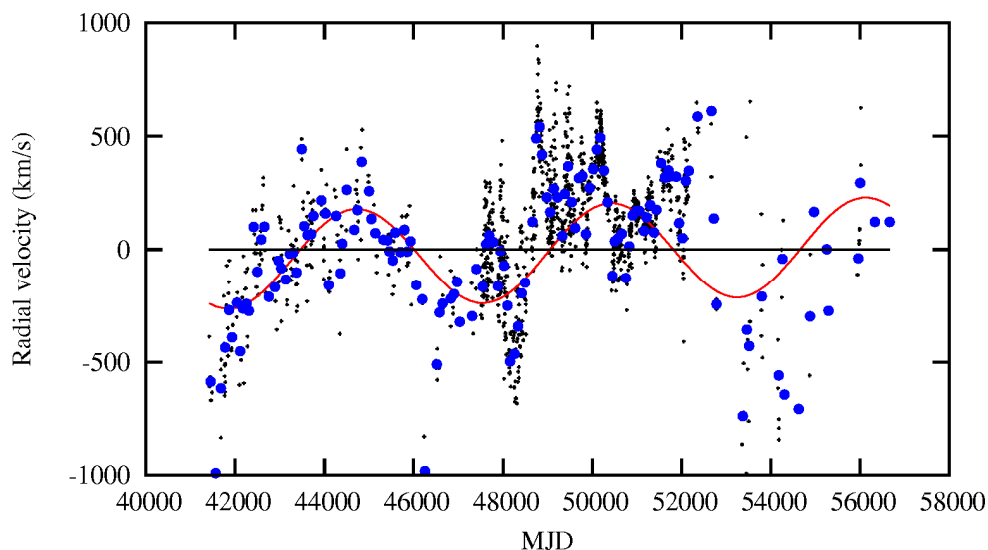
Слика 3: Распореде спектралних енергија за различите вредности полу-угла торуса (тј. фактора покривања). Пуна линија означава распореду централног извора (акреционог диска).

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 недавно су детектовани од стране *LIGO* и *VIRGO* колаборација.

Двојне супермасивне црне рупе у језгрима активних галаксија могу бити детектоване на основу периодичности у електромагнетном зрачењу из њихових галаксија-домаћина.

Пример такве периодичности дат је на слици 4 у случају криве радијалних брзина активне галаксије NGC 5548.

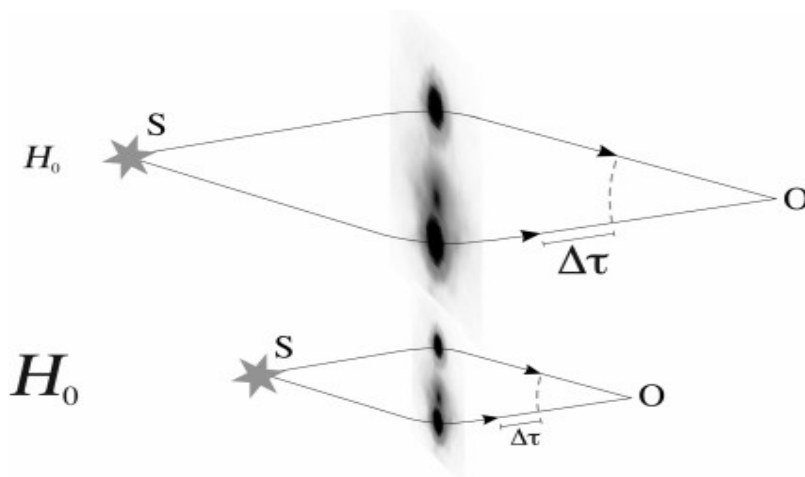


Слика 4: Криве радијалних брзина активне галаксије NGC 5548 добијене из фита широке H β линије помоћу Гаусијана. Пуна црвена линија показује најбољи фит синусоиде са периодом од 5700 дана. (E. Bon et al., *Astrophys. J. Suppl. Ser.* 225, 29 (2016)).

3. Гравитациона сочива

су масивни астрономски објекти у чијем гравитационом пољу долази до савијања зрака светлости, што за последицу има појаву вишеструких ликова неког позадинског извора (макросочива) или појачање његовог интензитета (микросочива). Нарочита пажња је посвећена испитивањима утицаја гравитационих микросочива на зрачење релативистичких акреционих дискова око СМЦР у АГЈ, као и на примене гравитационих сочива у посматрачкој космологији.

Тренутно један студент из Мексика у оквиру програма *AstroMundus* ради мастер тезу из ове области. Главни циљ је да се помоћу посматраних временских кашњења сигнала код квазара са вишеструким ликовима одреди вредност Хаблове константе (видети слику 5) и да се добијени резултати упореде са одговарајућим вредностима које је *Planck* колаборација добила из посматрања *CMBR*.



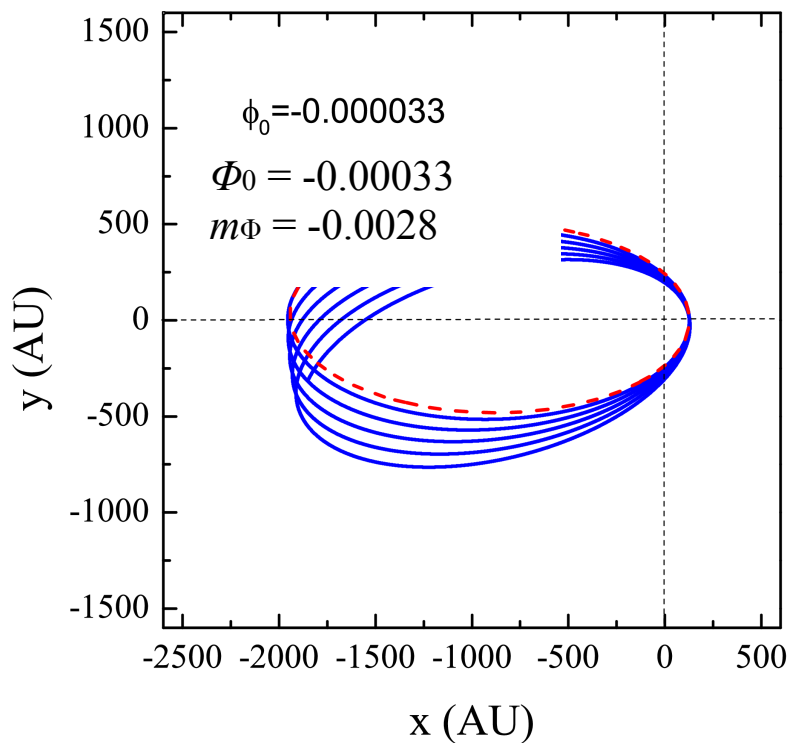
Слика 5: Одређивање Хаблове константе из временског кашњења светлости између различитих ликова гравитационих сочива.

4. Модификована гравитација као алтернатива тамној материји

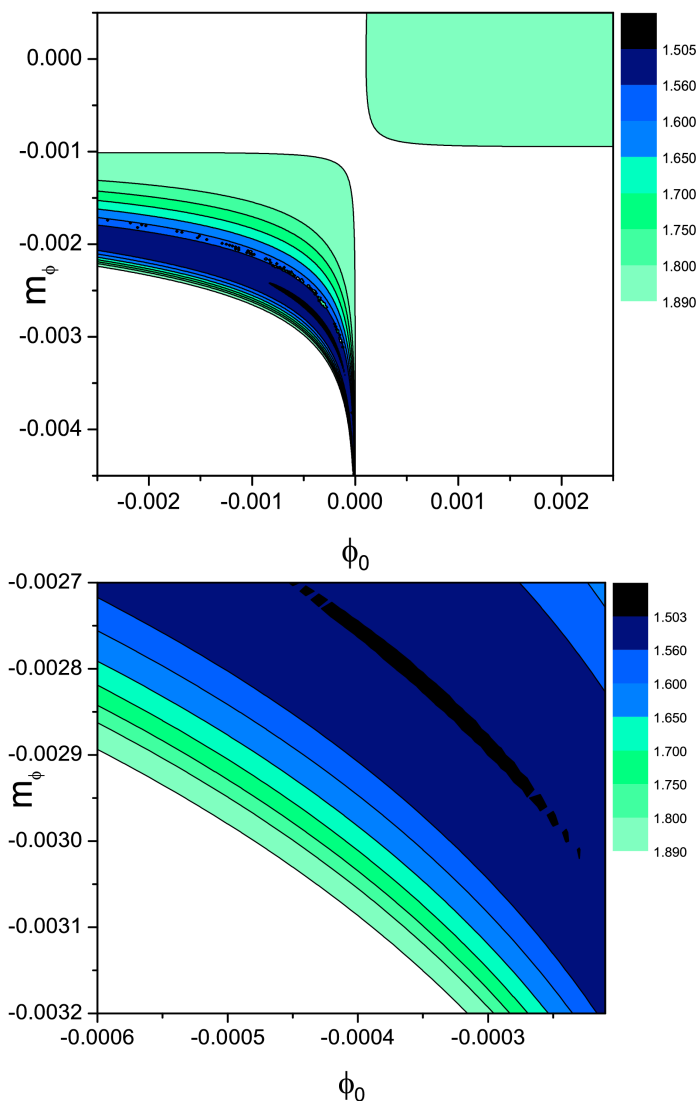
даје могућност да се објасни посматрана галактичка и екстрагалактичка динамика коришћењем гравитационих потенцијала изведених из проширених теорија гравитације без узимања у обзир присуства тамне материје. Проширене теорије гравитације могу имати посматрачке ефекте на астрономским и космолошким скалама.

У периоду 2014-2017 наставили смо тестирање модификованих гравитација (R^n , Јукава, Сандерс, хибридна гравитација, ...) помоћу астрономских посматрања кретања S-звезда око СМЦР у центру наше Галаксије. Пример симулиране орбите S2 звезде у хибридној гравитацији је дат на слици 6, а одговарајући параметарски простор на слици 7.

У овом периоду покренули смо потпуно нова тестирања модификованих гравитација помоћу астрономских посматрања на вангалактичким скалама, као што су фундаментална раван елиптичних галаксија и барионска Тали-Фишера релација спиралних галаксија.



Слика 6: Поређење орбита S2 звезде у Њутновој гравитацији (црвена испрекидана линија) и хибридној гравитацији (плава пуна линија), за време 5 орбиталних периода.
(D. Borka et al., *Astropart. Phys.* 79, 41 (2016)).



Слика 7: Мапе редукованог χ^2 по параметарском простору Φ_0 - m_ϕ за све симулиране орбите S2 звезде које дају исти или бољи фит у односу на Њутнове орбите. Како χ^2 опада (бољи фит) боје су тамније. Црна боја у средини даје интервал за највероватније вредности параметара хибридне гравитације.

Напомена: ради прегледности, на доњој слици је приказан један део параметарског простора.

ОСТВАРЕНИ ЦИЉЕВИ ИСТРАЖИВАЊА

Основни научни циљ пројекта 176003 је истраживање следећих вангалактичких и космолошких гравитационих појава: супермасивних црних рупа у центрима галаксија и квазара, двојних супермасивних црних рупа у галаксијама у судару, гравитационих сочива, тамне материје и њених потенцијалних алтернатива. Поред научних циљева, пројекат има такође за циљ да буде основа за образовање младих научника као и за међународну сарадњу у овој области.

Од планираних активности у 2014. остварени су следећи резултати:

(1) Настављена су истраживања могућих алтернатива тамној материји у облику раличитих теорија модификоване гравитације, а такође и тестирање ових теорија помоћу астрономских посматрања у оквиру наше галаксије. Резултати из ове области су представљени на неколико домаћих и међународних конференција, а објављен је и један рад у водећем међународном часопису: S. Capozziello, D. Borka, P. Jovanović, and V. Borka Jovanović, "Constraining extended gravity models by S2 star orbits around the Galactic Centre", *Phys. Rev. D* 90, 044052 (2014), као и један рад у међународним часопису: A. F. Zakharov, D. Borka, V. Borka Jovanović, P. Jovanović, "Constraints on R^n gravity from precession of orbits of S2-like stars: A case of a bulk distribution of mass", *Adv. Space Res.*, Vol. 54, Issue 6, 1108-1112 (2014).

(2) Настављена су раније започета истраживања посматрачких ефеката супермасивних црних рупа и њихових двојних система, а добијени резултати су изложени на неколико домаћих и међународних научно-стручних скупова, укључујући и једно предавање по позиву: P. Jovanović, "Central supermassive black hole of the Milky Way", *Book of abstracts of the XVII National Conference of Astronomers of Serbia*, 19 (2014), а такође из штампе је изашао и рад у међународним часопису: P. Jovanović, V. Borka Jovanović, D. Borka, T. Bogdanović, "Composite profile of the Fe $K\alpha$ spectral line emitted from a binary system of supermassive black holes", *Adv. Space Res.*, Vol. 54, Issue 7, 1448-1457 (2014).

(3) Настављена су и истраживања активних галаксија и квазара, а добијени резултати су објављени у једном раду у међународним часопису: N. Bon, L. Č. Popović, E. Bon, "Efficiency tests for estimating the gas and stellar population parameters in Type 2 objects", *Adv. Space Res.*, Vol. 54, Issue 7, 1389-1400 (2014). Поред тога, у оквиру сарадње са колегама из иностранства, настављен је и рад на моделовању и изучавању торуса прашине у центрима активних галаксија и квазара, а добијени резултати су објављени у једном раду у водећем међународном часопису: C. Ricci, Y. Ueda, K. Ichikawa, S. Paltani, R. Boissay, P. Gandhi, M. Stalevski and H. Awaki, "The narrow Fe $K\alpha$ line and the molecular torus in active galactic nuclei: an IR/X-ray view", *Astron. Astrophys.* 567, A142 (2014).

(4) Током 2014. године су настављена и истраживања структуре и фундаменталних особина материје, а добијени резултати су објављени у једном раду у истакнутом међународном часопису: V. Borka Jovanović, D. Borka, P. Jovanović, J. Milošević, S. R. Ignjatović, "Masses of constituent quarks confined in open bottom hadrons", *Mod. Phys. Lett. A* 29, 1450202 (2014).

(5) И поред веома ограничених финансијских средстава, сарадници на пројекту су учествовали на неколико научно-стручних скупова у земљи и иностранству, у оквиру којих су презентовали резултате истраживања остварене у оквиру пројекта.

(6) Као што се може видети из списка аутора на објављеним радовима, не само да је остварена интезивна међународна сарадња са страним истраживачима, већ је она у току 2014. године и значајно проширена.

Такође, из горе наведеног се може видети да је у потпуности остварен план за 2014. годину да се резултати истраживања у оквиру пројекта објаве у најмање три рада у међународним часописима, као и у зборницима са неколико међународних и домаћих конференција на којима су били презентовани.

Од планираних активности у 2015. остварени су следећи резултати:

(1) Настављена су истраживања могућих алтернатива тамној материји у облику различитих теорија модификоване гравитације, а такође и тестирање ових теорија помоћу астрономских посматрања у оквиру наше галаксије. Резултати из ове области су представљени на неколико домаћих и међународних конференција, а објављено је и једно поглавље у истакнутој монографији међународног значаја (M13): D. Borka, P. Jovanović, V. Borka Jovanović, A. F. Zakharov, "S2 like star orbits near the galactic center in R^n and Yukawa gravity", Nova Science Publishers, Chapter 9, ISBN: 978-1-63483-120-8, 343-362, New York (2015). Такође, у току 2015. године је завршен још један рад из исте области и послат у врхунски међународни часопис (M21): D. Borka, S. Capozziello, P. Jovanović, V. Borka Jovanović, "Probing hybrid modified gravity by stellar motion around Galactic Centre", *Astroparticle Physics* 79 (2016) 41–48 (2016). Поред наведених истраживања у оквиру наше галаксије, у току 2015. године она су проширена и на друге галаксије у циљу тестирања теорија модификоване гравитације и на великим, вангалактичким скалама. На основу добијених резултата је припремљен један рад који је такође послат у врхунски међународни часопис (M21): V. Borka Jovanović, S. Capozziello, P. Jovanović, D. Borka, "Recovering the fundamental plane of galaxies by $f(R)$ gravity", *Physics of the Dark Universe* 14 (2016) 73–83.

(2) Настављена су истраживања посматрачких ефеката јаког гравитационог поља у околини супермасивних црних рупа које се налазе у језгрима активних галаксија, а добијени резултати су изложени на једној међународној конференцији и објављени у једном раду у истакнутом међународном часопису (M22): N. Bon, E. Bon, P. Marziani, P. Jovanović,

"Gravitational redshift of emission lines in the AGN spectra", *Astrophysics and Space Science*, 360, 41 (2015).

(3) И поред веома ограничених финансијских средстава, сарадници на пројекту су учествовали на неколико научно-стручних скупова у земљи и иностранству, у оквиру којих су презентовали резултате истраживања остварене у оквиру пројекта.

(4) Као што се може видети из списка аутора на објављеним радовима, у току 2015. године је остварена интензивна међународна сарадња са страним колегама.

(5) Такође, из горе наведеног се може видети да је скоро у потпуности остварен план за 2015. годину да се резултати истраживања у оквиру пројекта објаве у најмање три рада у међународним часописима, као и у зборницима са неколико међународних и домаћих конференција на којима су били презентовани.

Од планираних активности у 2016. остварени су следећи резултати:

(1) Настављена су истраживања могућих алтернатива тамној материји у облику различитих теорија модификоване гравитације, а такође и тестирање ових теорија помоћу астрономских посматрања у оквиру наше галаксије. Резултати из ове области су представљени на неколико домаћих и међународних конференција (постер секције, кратка предавања, предавања по позиву) и на семинарима, а објављени су и радови у врхунским часописима међународног значаја (M21): D. Borka, S. Capozziello, P. Jovanović, V. Borka Jovanović, *Probing hybrid modified gravity by stellar motion around Galactic Center*, *Astropart. Phys.* 79, 41-48 (2016); A. F. Zakharov, P. Jovanović, D. Borka, V. Borka Jovanović, *Constraining the range of Yukawa gravity interaction from S2 star orbits II: bounds on graviton mass*, *J. Cosmol. Astropart. P.* 5, 045-1-10 (2016). Поред наведених истраживања у оквиру наше галаксије, у току 2016. године она су проширена и на друге галаксије у циљу тестирања теорија модификоване гравитације и на великим, вангалактичким скалама, а на основу добијених резултата објављен је још један рад у врхунском међународном часопису (M21): V. Borka Jovanović, S. Capozziello, P. Jovanović, D. Borka, *Recovering the fundamental plane of galaxies by $f(R)$ gravity*, *Phys. Dark Universe* 14, 73-83 (2016).

(2) Настављена су истраживања посматрачких ефеката јаког гравитационог поља у околини појединачних и двојних супермасивних црних рупа које се налазе у језгрима активних галаксија, а добијени резултати су изложени на једној међународној конференцији и објављени у једном раду у врхунском часопису међународног значаја (M21): E. Bon, S. Zucker, H. Netzer, P. Marziani, N. Bon, P. Jovanović, A. I. Shapovalova, S. Komossa, C. M. Gaskell, L. Č. Popović, S. Britzen, V. H. Chavushyan, A. N. Burenkov, S. Sergeev, G. La Mura, J. R. Valdes, M. Stalevski, *Evidence for Periodicity in 43 year-long Monitoring of NGC 5548*, *Astrophys. J. Suppl. S.* 225, 29-1-15 (2016).

(3) Развој теоријских модела области у околини централних супермасивних црних рупа активних галаксија и поређење предвиђања ових модела са посматрачким подацима такође је резултовало објављивањем једног M21 рада: M. Stalevski, C. Ricci, Y. Ueda, P. Lira, J. Fritz, M. Baes *The dust covering factor in active galactic nuclei*, Mon. Not. R. Astron. Soc. 458, 2288-2302 (2016).

(4) И поред веома ограничених финансијских средстава, сарадници на пројекту су учествовали на неколико научно-стручних скупова у земљи и иностранству, у оквиру којих су презентовали резултате истраживања остварене у оквиру пројекта.

(5) Као што се може видети из списка аутора на објављеним радовима, и у току 2016. године је остварена интензивна међународна сарадња са страним колегама, што је за последицу имало вишеструку корист у погледу трансфера знања и усавршавања и обуке младих истраживача.

(6) Такође, из горе наведеног се може видети да је у потпуности остварен план за 2016. годину да се резултати истраживања у оквиру пројекта објаве у најмање три рада у међународним часописима, као и у зборницима са неколико међународних и домаћих конференција на којима су били презентовани.

До краја 2017. г. планира се, поред наставка раније планираних истраживачких активности, и рад на промоцији и популаризацији до сада добијених резултата астрофизичких истраживања гравитације и са њом повезаних вангалактичких и космолошких појава и објеката, као што су:

1) тамна материја и њене алтернативе у облику теорија модификоване гравитације које се заснивају на поправкама и/или проширењима опште теорије релативности;

2) појединачне и двојне супермасивне црне рупе, посматрачки ефекти јаког гравитационог поља у њиховој близини, зрачење из њихових релативистичких акреционих дискова као и из осталих делова галаксија у чијим центрима се оне налазе;

3) гравитациона сочива и њихове примене за испитивање расподеле и особина видљиве и тамне материје на великим скалама, као и у оквиру самих објеката који играју улогу гравитационих сочива.

Имајући у виду да су у оквиру овог пројекта у претходном периоду остварени значајни резултати из наведених области, планирано је да се они популаришу и представе широј научној заједници у оквиру предавања по позиву на неколико научних скупова, при чему ће акценат ових предавања бити на значају добијених фундаменталних сазнања о наведеним појавама и њиховом могућем доприносу будућим истраживањима помоћу великих европских и светских посматрачких и експерименталних постројења, као што су на пример детекција гравитационих таласа помоћу будуће свемирске опсерваторије за гравитационе таласе eLISA и испитивање физике у близини хоризонта догађаја око црне рупе у центру наше галаксије помоћу будућег

GRAVITY пројекта и 40-метарског европског екстремно великог телескопа (E-ELT). Поред тога, планирана је и израда једне монографије међународног значаја (M12) у којој ће такође бити дат преглед до сада спроведених истраживања у оквиру пројекта 176003, као и најзначајних резултата који су остварени у претходном периоду. Осим наведених прегледа до сада добијених резултата, планирано је публикување и једног рада у врхунском међународном часопису (M21), у оквиру кога ће бити објављени резултати нових истраживања околних области супермасивних црних рупа у језгрима активних галаксија.

БИБЛИОГРАФИЈА НАУЧНИХ РАДОВА САРАДНИКА ПРОЈЕКТА 176003 У ПЕРИОДУ 2014-2017

Поглавље у истакнутој монографији међународног значаја - M13

1. D. Borka, P. Jovanović, V. Borka Jovanović, A. F. Zakharov, *S2 like star orbits near the galactic center in R^n and Yukawa gravity*, Nova Science Publishers, Chapter 9, pages 343-362, New York (2015).

Радови у врхунским часописима међународног значаја - M21

1. S. Capozziello, D. Borka, P. Jovanović, V. Borka Jovanović, *Constraining extended gravity models by S2 star orbits around the Galactic Centre*, Phys. Rev. D 90, 044052-1-8 (2014).

2. C. Ricci, Y. Ueda, K. Ichikawa, S. Paltani, R. Boissay, P. Gandhi, M. Stalevski and H. Awaki, *The narrow Fe K α line and the molecular torus in active galactic nuclei: an IR/X-ray view*, Astron. Astrophys. 567, A142 (2014).

3. D. Borka, S. Capozziello, P. Jovanović and V. Borka Jovanović, *Probing hybrid modified gravity by stellar motion around Galactic Center*, Astroparticle Physics 79 (2016) 41–48 (2016).

4. A. F. Zakharov, P. Jovanović, D. Borka, V. Borka Jovanović, *Constraining the range of Yukawa gravity interaction from S2 star orbits II: Bounds on graviton mass*, Journal of Cosmology and Astroparticle Physics 05 (2016) 045.

5. V. Borka Jovanović, S. Capozziello, P. Jovanović, D. Borka, *Recovering the fundamental plane of galaxies by $f(R)$ gravity*, Physics of the Dark Universe 14 (2016) 73–83.

6. E. Bon, S. Zucker, H. Netzer, P. Marziani, N. Bon, P. Jovanović, A. I. Shapovalova, S. Komossa, C. M. Gaskell, L. Č. Popović, S. Britzen, V. H. Chavushyan, A. N. Burenkov, S. Sergeev, G. La Mura, J. R. Valdes, M. Stalevski, *Evidence for Periodicity in 43 year-long Monitoring of NGC 5548*, Astrophys. J. Suppl. S. 225, 29-1-15 (2016).

7. M. Stalevski, C. Ricci, Y. Ueda, P. Lira, J. Fritz, M. Baes *The dust covering factor in active galactic nuclei*, Mon. Not. R. Astron. Soc. 458, 2288-2302 (2016).

8. S. Capozziello, P. Jovanović, V. Borka Jovanović, D. Borka, *Addressing the missing matter problem in galaxies through a new fundamental gravitational radius*, Journal of Cosmology and Astroparticle Physics 6, 044-1-17 (2017).

Радови у истакнутим часописима међународног значаја - M22

1. V. Borka Jovanović, D. Borka, P. Jovanović, J. Milošević, S. R. Ignjatović, *Masses of constituent quarks confined in open bottom hadrons*, Mod. Phys. Lett. A 29, 1450202-1-15 (2014).

2. A. F. Zakharov, D. Borka, V. Borka Jovanović, P. Jovanović, *Constraints on R^n gravity from precession of orbits of S2-like stars: case of bulk distribution of mass*, Advances in Space Research 54 (2014) 1108-1112.

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*, Advances in Space Research 54 (2014) 1448-1457.

4. N. Bon, L. Č. Popović, E. Bon, *Efficiency tests for estimating the gas and stellar population parameters in Type 2 objects*, Adv. Space Res. 54, 1389-1400 (2014).

5. N. Bon, E. Bon, P. Marziani, P. Jovanović, *Gravitational redshift of emission lines in the AGN spectra*, ApSS 360, 41-1-8 (2015).

6. P. Jovanović, V. Borka Jovanović, D. Borka, L. Č. Popović, *Line shifts in accretion disks – the case of Fe K α* , Astrophysics and Space Science (2016) 361:75, p. 1-8 (2016).

7. V. Borka Jovanović, P. Jovanović, D. Borka, *SNR radio spectral index distribution and its correlation with polarization: a case study of Lupus Loop*, Rev. Mex. AA, 53, 1–8 (2017).

Предавање по позиву са међународног скупа штампано у целини - M31

1. D. Borka, *Orbits of S2 star in Yukawa gravity: simulations vs observations*, 8th MATHEMATICAL PHYSICS MEETING: Summer School and Conference on Modern Mathematical Physics, 24 - 31 August 2014, Belgrade, Serbia.

2. P. Jovanović, *Central supermassive black hole of the milky way*, Publ. AOB No. 94, 161 – 169, (2016).

Предавање по позиву са међународног скупа штампано у изводу - M32

1. P. Jovanović, *Central supermassive black hole of the Milky Way*, Book of abstracts of the XVII National Conference of Astronomers of Serbia, Belgrade, Serbia, September 23-27, p. 19 (2014).

2. M. Stalevski, C. Ricci, Y. Ueda, P. Lira, *Revealing difficulties for obtaining the dust covering factor of AGNs from iron ka line and the ratio of L_{IR}/L_{AGN} luminosities*, Book of abstracts of the Serbian Conference on Spectral Line Shapes in Astrophysics, Srebrno jezero, Serbia, June 15-19, p. 67 (2015).

3. D. Borka, P. Jovanović, V. Borka Jovanović, S. Capozziello, *Hybrid modified gravity around massive compact objects*, 10th Serbian Conference on Spectral Line Shapes in Astrophysics, Srebrno jezero, Serbia, June 15-19, p. 23, 2015.

4. P. Jovanović, V. Borka Jovanović, D. Borka, L. Č. Popović. *Line shift in accretion disks-the case of FeKa*, Book of abstracts of the X Serbian Conference on Spectral Line Shapes in Astrophysics, Srebrno Jezero, Serbia, June 15-19, p. 41 (2015).

5. E. Bon, *Binarity in AGN and microquasars*, Book of abstracts of the X Serbian Conference on Spectral Line Shapes in Astrophysics, Srebrno Jezero, Serbia, June 15-19, p. 20 (2015).

6. E. Bon, P. Marziani, J. Sulentic, N. Bon, *Searching for a BBH signature in quasar spectra: a 4DE1 perspective*, Book of abstracts of the X Serbian Conference on Spectral Line Shapes in Astrophysics, Srebrno Jezero, Serbia, June 15-19, p. 20 (2015).

7. N. Bon, E. Bon, L. Č. Popović, *Gravitational redshift of emission lines in the AGN spectra*, Book of abstracts of the X Serbian Conference on Spectral Line Shapes in Astrophysics, Srebrno Jezero, Serbia, June 15-19, p. 22 (2015).

8. S. Simić, E. Bon, *Contribution to sed of AGNs induced by possible density perturbations in complex geometry of binary systems*, Book of abstracts of the X Serbian Conference on Spectral Line Shapes in Astrophysics, Srebrno Jezero, Serbia, June 15-19, p. 63 (2015).

9. M. Smailagić, E. Bon, *Modelling line emission from sub parsec spiral structures around eccentric orbits of supermassive binary black hole systems*, Book of abstracts of the X Serbian Conference on Spectral Line Shapes in Astrophysics, Srebrno Jezero, Serbia, June 15-19, p. 65 (2015).

10. M. Smailagić, E. Bon, *Line shapes emitted from spiral structures around symmetric orbits of supermassive binary black holes*, Book of abstracts of the X Serbian Conference on Spectral Line Shapes in Astrophysics, Srebrno Jezero, Serbia, June 15-19, p. 66 (2015).

Радови на скуповима међународног значаја штампани у целини - М33

1. P. Jovanović, V. Borka Jovanović, D. Borka, *Shape of the Fe Ka line emitted from a relativistic accretion disk with an empty gap*, Contributed papers and abstracts of invited lectures, topical invited lectures, progress reports and workshop lectures of the 27th Summer School and International Symposium on the Physics of Ionized Gases, Belgrade, Serbia, August 26-29, p. 485-488 (2014).

2. M. Baes, M. Stalevski, P. Camps, J. Fritz, L. Č. Popović, *Radiative transfer simulations of multiphase AGN tori: thermal emission and polarisation*, Proceedings IAU Symposium No. 305, "Polarimetry: From the Sun to Stars and Stellar Environments", November 30 – December 5, 2014, Punta Leona, Costa Rica, pp 377-380, vol. 10 (2015).

3. V. Borka Jovanović, P. Jovanović, D. Borka, *A Short Overview of Our Contribution to Green's Catalogue of Galactic Supernova Remnants*, Contributed papers and abstracts of invited lectures, topical invited lectures, progress reports and workshop lectures, 28th Summer School and International Symposium on the Physics of Ionized Gases, Belgrade, Serbia, Aug. 29-Sep. 2, p. 389-392 (2016).

4. V. Borka Jovanović, P. Jovanović, D. Borka, S. Capozziello, *Fundamental Plane of Elliptical Galaxies and $f(R)$ Gravity*, Contributed papers and abstracts of invited lectures, topical invited lectures, progress reports and workshop lectures, 28th Summer School and International Symposium on the Physics of Ionized Gases, Belgrade, Serbia, Aug. 29-Sep. 2, p. 393-396 (2016).

Радови на скуповима међународног значаја штампани у изводима - М34

1. D. Borka, P. Jovanović, V. Borka Jovanović, S. Capozziello, *Constraints on $f(R, \varphi)$ (Sanders-like) gravity potential from orbit of S2 star*, Book of abstracts of the XVII National Conference of Astronomers of Serbia, Belgrade, Serbia, September 23-27, p. 32 (2014).

2. V. Borka Jovanović, D. Borka, *Distribution of radio spectral index over the Lupus loop*, Book of abstracts of the XVII National Conference of Astronomers of Serbia, Belgrade, Serbia, September 23-27, p. 33 (2014).

3. M. S. Dimitrijević, L. Č. Popović, Z. Simić, P. Jovanović, D. Jevremović, *Activities of the group for astrophysical spectroscopy 2011-2014*, Book of abstracts of the XVII National Conference of Astronomers of Serbia, Belgrade, Serbia, September 23-27, p. 75 (2014).

4. M. Stalevski, *The dusty torus of active galactic nuclei*, Book of abstracts of the XVII National Conference of Astronomers of Serbia, Belgrade, Serbia, September 23-27, p. 62 (2014).

5. D. Borka, P. Jovanović, V. Borka Jovanović, S. Capozziello, *Hybrid modified gravity around massive compact objects*, Book of abstracts of the X Serbian Conference on Spectral Line Shapes in Astrophysics, Srebrno Jezero, Serbia, June 15-19, p. 23 (2015).

6. V. Borka Jovanović, P. Jovanović, D. Borka, S. Capozziello, *$f(R)$ gravity and dynamics of stellar systems*, Book of abstracts of the X Serbian Conference on Spectral Line Shapes in Astrophysics, Srebrno Jezero, Serbia, June 15-19, p. 24 (2015).

7. A. F. Zakharov, S. Simić, L. Č. Popović, P. Jovanović, *Image structure of gravitational macrolens as a tool for evaluation of microlens clustering*, IAU General Assembly, Meeting 29, (Honolulu, Hawaii, USA, August 3rd - 14th 2015), p. 2254666 (2015).

8. P. Jovanović, V. Borka Jovanović, D. Borka and L. Č. Popović, *Line shift in accretion disks-the case of FeK_{α}* , Book of abstracts 10th Serbian Conference on Spectral Line Shapes in Astrophysics, p. 41, Astronomical Observatory, Belgrade, 2015.

9. D. Borka, S. Capozziello, V. Borka Jovanović, P. Jovanović, *Testing extended theories of gravity at different astrophysical scales*, Serbia - Italia: Italian - Serbian Bilateral Cooperation on Science, Technology and Humanities (Edited by P. R. Andjus and P. Battinelli, ISBN 978-86-7522-048-0), Belgrade, Serbia, November 16, p. 107-108 (2015).

10. D. Borka, P. Jovanović, V. Borka Jovanović, S. Capozziello, *Constraints on Sanders gravity from precession of orbits of S2-like stars: a case of a bulk distribution of mass*, Book of abstracts of the X Serbian-Bulgarian Astronomical Conference, Belgrade, Serbia, May 30 - June 3, p. 36 (2016).

11. V. Borka Jovanović, P. Jovanović, D. Borka, S. Capozziello, *R^n gravity as viable alternative to dark matter: application to stellar dynamics*, Book of abstracts of the X Serbian-Bulgarian Astronomical Conference, Belgrade, Serbia, May 30 - June 3, p. 15 (2016).

12. D. Borka, V. Borka Jovanović, P. Jovanović, S. Capozziello, A. F. Zakharov, *$f(R)$ gravity: application to stellar dynamics and to fundamental plane of elliptical galaxies*, Book of abstracts of the Annual NewCompStar Conference 2017, Warsaw, Poland, Staszic Palace, March 27 - March 31, p. 4 (2017).

Рад у тематском зборнику националног значаја - M45

1. П. Јовановић, В. Борка Јовановић, Д. Борка, Е. Бон, М. Сталевски, Н. Бон, Ј. Ч. Поповић, *Истраживања гравитационих сочива и црних рупа на астрономској опсерваторији (2010-2011)*, Зборник радова конференције "Развој астрономије код Срба VII", Београд, Србија, 18. - 22. април 2012., Публ. Астр. друш. "Руђер Бошковић" 13, 399-408 (2014).

2. Предраг Јовановић, Душко Борка, Весна Борка Јовановић, Лука Ч. Поповић, Наташа Бон, Марко Сталевски, Еди Бон, *Истраживања галактичких и вангалактичких гравитационих појава на астрономској опсерваторији (2012-2013)*, Зборник радова конференције "Развој астрономије код Срба VIII", Београд, Србија, 22. - 26. април 2014., Публ. Астр. друш. "Руђер Бошковић" 16, 113-125 (2016).

Радови у водећим часописима националног значаја - M51

1. A. F. Zakharov, P. Jovanović, D. Borka, V. Borka Jovanović, *Graviton mass evaluation with trajectories of bright stars at the Galactic Center*, J. Phys.: Conf. Ser. 798, 012081-1-5 (2017).

Радови у научним часописима - M53

1. A. F. Zakharov, P. Jovanović, D. Borka, V. Borka Jovanović, *Trajectories of bright stars at the Galactic Center as a tool to evaluate a graviton mass*, QUARKS-2016, EPJ Web of Conferences 125, 01011-1-8 (2016).

2. D. Borka, P. Jovanović, V. Borka Jovanović and S. Capozziello, *Constraints on $f(R, \varphi)$ (sanders-like) gravity potential from orbit of S2 star*, Publ. AOB No. 94, 172 - 177, (2016).

3. V. Borka Jovanović, D. Borka and P. Jovanović, *Distribution of radio spectral index over the Lupus loop*, Publ. AOB No. 94, 178 - 182, (2016).

4. A. F. Zakharov, P. Jovanović, D. Borka, V. Borka Jovanović, *Graviton mass bounds from an analysis of bright star trajectories at the Galactic Center*, Baldin ISHEPP XXIII, EPJ Web of Conferences 138, 01010 (2017).

Захвалница

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

INVESTIGATION OF GALACTIC AND EXTRAGALACTIC GRAVITATIONAL PHENOMENA AT THE ASTRONOMICAL OBSERVATORY (2014-2017)

In this paper we present the primary scientific objectives of the project 176003 "Gravitation and the large scale structure of the Universe", as well as the research team of the project, and we describe realized scientific aims. The project is proposed in the frame of fundamental research programme for 2011-2017 period and is supported by Ministry of Education, Science and Technological Development of the Republic of Serbia.

Key words: Astronomical Observatory, cosmology, gravity, history of astronomy