

ИСТРАЖИВАЊА ГАЛАКТИЧКИХ И ВАНГАЛАКТИЧКИХ ГРАВИТАЦИОНИХ ПОЈАВА НА АСТРОНОМСКОЈ ОПСЕРВАТОРИЈИ (2023-2025)

ПРЕДРАГ ЈОВАНОВИЋ^{1,*}, ВЕСНА БОРКА ЈОВАНОВИЋ¹ и
ДУШКО БОРКА²

¹*Астрономска опсерваторија, Волгина 7, п.фах 74,
11060 Београд, Србија*

²*Лабораторија за теоријску физику и физику кондензоване материје
(020), Институт за нуклеарне науке "Винча" - Институт од
националног значаја за Републику Србију, Универзитет у Београду,
п.фах 522, 11001 Београд, Србија*

*E-mail: pjovanovic@aob.rs

Резиме: У овом раду дајемо приказ научних истраживања, као и резултата, који су остварени на Астрономској опсерваторији у Београду у вези галактичких и вангалактичких гравитационих појава. Поред тога, представљен је истраживачки тим са Астрономске опсерваторије, као и њихови сарадници из Института за нуклеарне науке "Винча". Током датог периода, од 2023. до 2025. године, истраживања су била финансирана од стране Министарства науке, технолошког развоја и иновација Републике Србије.

Кључне речи: Општа теорија релативности, теорије модификоване гравитације, црне рупе, посматране и симулиране орбите звезда, пета сила, космолошки модели, космолошке тензије

1. УВОД

Истраживања у вези галактичких и вангалактичких гравитационих појава на Астрономској опсерваторији, у периоду од 2023. до 2025. године, одвијала су се кроз наставак и проширење научних активности "Групе за гравитацију и космологију" (формиране 2022. године), под руководством др Предрага Јовановића. Истраживања обухватају гравитационе појаве на галактичким, вангалактичким и космолошким скалама, као што су: појединачне и двојне супер-

масивне црне рупе у центрима галаксија, гравитациона сочива, посматрачка космологија и космолошки модели, теорије модификоване гравитације, као и астрономска тестирања предвиђања стандардне (општа теорија релативности (ОТР)) и алтернативних теорија гравитације.

Сарадници групе су резултате својих истраживања представили на више конференција (домаћим и међународним) у виду постер секција, кратких предавања, предавања по позиву и семинара, а такође су и објавили радове у домаћим и међународним рецензираним часописима. Библиографија објављених радова дата је на крају овог рада.

2. НАУЧНО-ИСТРАЖИВАЧКА ГРУПА ЗА ГРАВИТАЦИЈУ И КОСМОЛОГИЈУ

О започетим истраживањима гравитације кроз национални пројекат ОИ 176003 "Гравитација и структура космоса на великим скалама" (2011-2019), и затим о наставку тих истраживања кроз "Групу за гравитацију и космологију" (од 2020. године), било је речи у раду са претходне конференције "Развој астрономије код Срба XII" (видети реф. П. Јовановић, В. Борка Јовановић, Д. Борка, 2024, *Публ. Астр. друш. "Руђер Бошковић"* 27, 9-30). Ова истраживања гравитације и са њом повезаних астрономских и космолошких појава и објеката се и даље настављају и проширују на Астрономској опсерваторији, уз финансирање од стране Министарства науке, технолошког развоја и иновација Републике Србије.

2.1. Истраживачки тим и проширење групе

Руководилац "Групе за гравитацију и космологију" је др Предраг Јовановић (слика 1), научни саветник, а поред њега истраживачки тим сачињавају још и др Еди Бон, виши научни сарадник, др Наташа Бон, виши научни сарадник и др Мирослава Вукчевић, виши научни сарадник.

Како се због проширења обима истраживања указала потреба и за проширењем групе, а у циљу што ефикасније реализације планираних истраживања, основана је и "Подгрупа за астроинформатику". Тим поводом, по новом решењу о групи бр. 125511 од 24. 12. 2024. године, групи се прикључују и нови сарадници: Вељко Вујчић, виши стручни сарадник (руководилац подгрупе), Владимир Бенишек, виши стручни сарадник, Ненад Миловановић, виши стручни сарадник и Сања Еркапић, стручни сарадник.

"Група за гравитацију и космологију" сада окупља осам истраживача и сарадника, а и даље се остварује сарадња са истраживачима из Института за нуклеарне науке "Винча" (слика 2) који су на истраживачкој теми "Гравитација и астрофизика честица", која се реализује у ИННВ и којом руководи др Весна Борка Јовановић.

Истраживачи "Групе за гравитацију и космологију" и сарадници "Подгрупе за астроинформатику":

- др Предраг Јовановић, научни саветник, руководилац групе
- др Еди Бон, виши научни сарадник,



Слика 1. Руководилац групе за гравитацију и космологију (са Астрономске опсерваторије) др Предраг Јовановић.



Слика 2. Сарадници групе за гравитацију и космологију (из института "Винча") др Весна Борка Јовановић и др Душко Борка.

- др Наташа Бон, виши научни сарадник,
- др Мирослава Вукчевић, виши научни сарадник.
- Вељко Вујчић, виши стручни сарадник, руководилац подгрупе
- Владимир Бенишек, виши стручни сарадник,
- Ненад Миловановић, виши стручни сарадник,
- Сања Еркапић, стручни сарадник.

2.2. Значај остварених резултата

Ефективна теорија гравитације, која доприноси побољшању садашње теорије, а која иначе може да објасни физичке појаве без укључивања тамне материје и тамне енергије, свакако представља актуелну тему и говори о значају наших истраживања. Резултати ових истраживања представљају значајан допринос науци, што се огледа кроз следеће: објављени рецензирани радови, значајни цитати, организовање научних скупова, рецензије часописа и пројеката, као и остварена међународна сарадња.

У периоду од 2023. до 2025. године, сарадници "Групе за гравитацију и космологију" објавили су осамнаест радова у међународним часописима категорије М20, четири рада са међународних скупова М30, један рад у националном часопису М50, један рад са националног скупа М60, као и више саопштења са међународних скупова штампана у изводима. Такође су одржали неколико предавања по позиву, били рецензенти у часописима, као и гостујући уредници.

Остварена је значајна међународна сарадња, која се и даље продубљује, а то се може видети из списка аутора на објављеним радовима. Оваква изградња мреже сарадника свакако омогућава размену искустава и проширивање знања.

3. ТЕМЕ ИСТРАЖИВАЊА

Истраживања галактичких и вангалактичких гравитационих појава у оквиру "Групе за гравитацију и космологију" на Астрономској опсерваторији обухватају следеће теме:

- Појединачне и двојне црне рупе у центрима галаксија и квазара, као и њихови релативистички ефекти (нпр. орбитална прецесија и гравитациони црвени помак)
- Гравитациони таласи (из масивних двојних система и примордијални) и одговарајући електромагнетни ефекти њихових извора
- Гравитациона сочива и њихова примена у посматрачкој космологији и за изучавање расподеле видљиве и тамне материје у галаксијама - изворима и сочивима
- Провере предвиђања стандардне (општа теорија релативности) и теорија модификоване гравитације помоћу астрономских посматрања
- Стандардни Λ CDM, као и космолошки модели засновани на алтернативним теоријама гравитације и њихова могућност да објасне тензију у вези Хаблове константе
- Објашњење посматране галактичке и вангалактичке динамике (барионска Тули-ФишEROва релација код спиралних и фундаментална раван код елиптичних галаксија), као и посматраних аномалија у кретању планета Сунчевог система без хипотезе о тамној материји
- Екстремни акретори међу квазарима као индикатори удаљености у космологији
- Проучавање временске променљивости спектра активних галаксија и квазара (анализа временских серија са симултаном декомпозицијом мониторинг спектра квазара)

- Теорија нелинеарних таласа густине која може да објасни равне ротационе криве у динамици галаксија
- Убрзање ултра високо енергетских космичких зрака у турбулентној плазми.

Поред тога, сарадници "Подгрупе за астроинформатику" се баве још и следећим темама:

- SerVO – Српска виртуелна опсерваторија (servo.aob.rs)
- Сарадња са великим међународним пројектима, као што су LSST (сада Рубин опсерваторија) и VAMDC, као и групама за транзијенте (TBC) и тамну енергију (DESC)
- Сарадња са Институтом за физику Београд на атомским/молекуларним сетовима података и базама података, интегрисаним у дистрибуирану међународну интероперабилну мрежу атомских/молекуларних података – VAMDC
- Рад на AlertSim-у – симулатору аларма унутар `lsst_sims`, интерне LSST радне групе за симулације, што је резултирало правима на податке и PI+5JA слотова за групу
- Транзијенти и варијабилне звезде – детекција и класификација у реалном времену
- Активно посматрање и фотометријска истраживања бинарних астероида
- Рад и администрација на суперрачунару Ферми састављеном од 12 чворова x 12 језгара.

4. ПРИМЕРИ НАУЧНО-ИСТРАЖИВАЧКИХ АКТИВНОСТИ

Овде ћемо само укратко навести по један пример истраживања и широке међународне сарадње "Групе за гравитацију и космологију".

4.1. Истраживања модификоване гравитације са петом силом

Концепт пете силе је настао као резултат модерних покушаја обједињавања гравитације са другим фундаменталним интеракцијама у природи. Пета сила представља ефективну одбојну (антигравитациону) интеракцију која на галактичким скалама може да уравнотежи привлачну Њутнову гравитациону силу и да на тај начин објасни приближно равне ротационе криве спиралних галаксија без потребе за тамном материјом. Пета сила се такође јавља у оквиру теорија масивне гравитације и неких проширених теорија гравитације, тако што се у граничном случају слабог поља манифестује у облику експоненцијалне (Јукавине) корекције Њутновог гравитационог потенцијала.

У оквиру наших истраживања, бавили смо се испитивањима могућег утицаја пете силе на посматране орбите S-звезда око супермасивне црне рупе Sgr A* која се налази у центру Млечног пута. У том циљу смо симулирали звездане орбите у Јукавиној гравитацији и фитовали их у посматране орбите неколико

S-звезда око Sgr A*. На тај начин смо добили ограничења на параметре Јукавине интеракције који описују јачину и домет пете силе. Под претпоставком да домет Јукавине интеракције одговара Комптоновој таласној дужини гравитона, израчунали смо и одговарајућу горњу границу за масу гравитона. Испоставило се да је тако добијено ограничење за масу гравитона било у складу са одговарајућом вредношћу коју је колаборација *LIGO/Virgo* добила на основу мерења гравитационих таласа.

Поред тога, претпостављајући да орбитална прецесија S-звезда незнатно одступа од предвиђања опште теорије релативности за Шварцшилдову прецесију (као што је то 2020. и 2022. године измерено у случају звезде S2 од стране колаборације *GRAVITY*), такође смо испитивали и могућност да пета сила представља узрок оваквих могућих малих одступања. Добијени резултати су показали да би у том случају било могуће искористити таква незнатна одступања у циљу даљег пооштравања ограничења на јачину и домет пете силе, као и на горњу границу за масу гравитона.

4.2. Кратак преглед нашег доприноса белој књизи *COST* акције CA21136 (*CosmoVerse*)

Сарадници "Групе за гравитацију и космологију" су чланови и активно учествују у све три радне групе *COST* акције CA21136 - *Addressing observational tensions in cosmology with systematics and fundamental physics (CosmoVerse)*. Ова *COST* акција је посвећена једном од најактуелнијих проблема у савременој космологији, а то су космолошке тензије. Космолошке тензије представљају статистички значајна неслагања у мереним вредностима неколико важних параметара, добијеним на основу посматрања из раних и касних космолошких епоха. Најважније су следеће три тензије: H_0 тензија, тензија звучног хоризонта и S8 тензија.

H_0 тензија је статистички најзначајнија од њих и она представља неслагање између вредности Хаблове константе, добијеним на основу посматрања космичког микроталасног позадинског зрачења и супернових типа Ia. Тензија звучног хоризонта је неслагање у размерама звучног хоризонта густинских таласа у примордијалној плазми, док S8 тензија представља неслагање у амплитуди флукуација материје на космолошким скалама, добијеним на основу посматрања из раних и касних космолошких епоха.

Један од најзначајних резултата ове *COST* акције је бела књига, документ који садржи анализу и предлоге за решавање наведених посматрачких тензија у савременој космологији. Сарадници "Групе за гравитацију и космологију" су коаутори ове беле књиге, као што се може видети из следеће референце:

E. Di Valentino, J. Levi Said, A. Riess, ... , D. Borka, P. Jovanović, V. Borka Jovanović et al., *The CosmoVerse White Paper: Addressing observational tensions in cosmology with systematics and fundamental physics*, arXiv:2504.01669, Phys. Dark. Universe (2025).

Конкретно, сарадници групе су узели учешће и дали значајан допринос у писању следећа 4 потпоглавља ове беле књиге:

- 2.1.11. The baryonic Tully-Fisher relation approach (контрибутори: В. Борка Јовановић, Д. Борка и П. Јовановић)

- 2.1.14. Strong lensing and time delay measurements (контрибутор: П. Јовановић)
- 4.3.1. Modified gravity in light of cosmic tensions (контрибутори: В. Борка Јовановић, Д. Борка и П. Јовановић)
- 4.6. The cosmological principle (контрибутори: В. Борка Јовановић, Д. Борка и П. Јовановић)

У оквиру потпоглавља 2.1.11 су поменути и цитирани резултати истраживања у оквиру групе који се односе на објашњење барионске Тули-Фишерове релације код спиралних и фундаменталне равни код елиптичних галаксија помоћу теорија модификоване гравитације и без хипотезе о тамној материји. Поред тога, у оквиру секције 2.1.11.b (Theoretical models and their implications) такође је уврштен и следећи график: Fig. 22 [Reprinted under CC BY 4.0. from: V. Borka Jovanović, D. Borka, and P. Jovanović, Contrib. Astron. Obs. Skalnat Pleso 55/2, 24-33 (2025)].

У потпоглављу 2.1.14. су наведени и резултати неких наших ранијих истраживања временских скала и хроматских ефеката код гравитационих микросочива који су од значаја за мерења временског кашњења сигнала, па самим тим и за прецизност одређивања вредности Хаблове константе из таквих мерења у случају гравитационих сочива са више ликова.

Потпоглавље 4.3.1. је посвећено теоријама модификоване гравитације, имајући у виду да космолошки модели засновани на овим теоријама могу да представљају један од начина за превазилажење космолошких тензија. У оквиру овог потпоглавља су наведене, између осталог, и референце на неке од најважнијих резултата наших истраживања теорија масивне гравитације, снаге и домета пете силе, као и одређивања горње границе за масу гравитона.

Као што је познато, **космолошки принцип** на коме је заснован стандардни Λ CDM космолошки модел постулира хомогеност и изотропност свемира. Имајући у виду да резултати неких нових посматрачких студија указују на могуће нарушење изотропности, ми смо у оквиру секције 4.6. указали да би због тога можда било потребно постулирати нови, слабији космолошки принцип који не укључује изотропност. Ово би било аналогно начину на који је тренутно прихваћени космолошки принцип добијен слабљењем **савршеног космолошког принципа** који му је претходио. Такође смо указали да у том случају већ постоје егзактна космолошка решења Ајнштајнових једначина која описују такозване Бјанкијеве космолошке моделе. Тада би неки од тих модела могао да постане стандардни космолошки модел уместо тренутно прихваћеног Λ CDM модела. Ове наше сугестије су уврштене у секцију 4.6, чиме смо такође дали значајан допринос у писању текста беле књиге.

5. ОСТВАРЕНИ РЕЗУЛТАТИ

Главне остварене резултате истраживања гравитационих појава на АОБ, у периоду 2023-2025, можемо да разврстамо на следећи начин:

- учешће на конференцијама,
- организација конференција,
- наставна активност,
- учешће на међународним пројектима,
- међународна сарадња,
- значајни цитати,
- објављени радови.

5.1. Учешће на конференцијама и организација конференција

Сарадници групе су учествовали на више домаћих и међународних стручних скупова, где су дали значајан допринос кроз одржана предавања или кроз организацију скупова. Овде наводимо конференције од 2023. до 2025. године, при чему учешће у Научним и Организационим комитетима означавамо са: *.

2023

- 16th Photonics Workshop
<http://www.photonicsworkshop.ipb.ac.rs/16/>
- Развој астрономије код Срба XII
<http://servo.aob.rs/eeditons/CDS/Razvoj%20astronomije%20kod%20Srba/>
- 14th SCSLSA *
<http://www.scslsa.matf.bg.ac.rs/>
- 3rd Conference on Nonlinearity *
<http://www.nonlinearity2023.matf.bg.ac.rs/>
- V Meeting on Astrophysical Spectroscopy - A&M DATA *
<http://asspectro2023.ipb.ac.rs/>

2024

- 32nd SPIG
<https://www.spig2024.ipb.ac.rs/>
- 11th Mathematical Physics Meeting *
<http://www.mphys11.ipb.ac.rs/>
- Building bridges between climate science and society through a transdisciplinary network *
http://servo.aob.rs/ini/files/Final_announcement_Kopaonik_2024.pdf
- XIV SBAC
<https://www.aob.rs/en/news-en/meetings/225-xiv-sbac-en>
- International Meeting on Data for Atomic and Molecular Processes in Plasmas - A&M DATA *
<https://asspectro.ipb.ac.rs/2024/>
- Meeting on new trends in Astronomy & Earth Observation *
http://servo.aob.rs/ini/files/announcement_INI_Bgd2024.pdf

2025

- Развој астрономије код срба XIII
<https://www.aob.rs/en/publishing-en/doi/conferences-papers-and-proceedings>

- Nonlinearity, nonlocality and ultrametricity *
<http://dragovich80.matf.bg.ac.rs>

У оквиру наведених конференција, у периоду од 2023. до 2025. године, саопштена су следећа предавања по позиву:

- P. Jovanović, *Optical and X-ray counterpart of subparsec supermassive binary black holes*, 14th Serbian Conference on Spectral Line Shapes in Astrophysics, Bajina Bašta, Serbia, June 19-23, 2023.
- V. Borka Jovanović, *Study of radio spectral index of radio galaxy DA 240*, V Meeting on Astrophysical Spectroscopy - A&M DATA: Astronomy & Earth Observation, Palić, Serbia, September 12-15, 2023.
- D. Borka, *Constraining theories of gravity by velocity distribution of elliptical galaxies*, V Meeting on Astrophysical Spectroscopy - A&M DATA: Astronomy & Earth Observation, Palić, Serbia, September 12-15, 2023.
- M. Vukčević, *On the conditions for soliton formation in the galactic environment*, 32nd SPIG, Belgrade, Serbia, August 26-30, 2024.
- V. Borka Jovanović, *X-shaped radio galaxy 3C 315*, International Meeting on Data for Atomic and Molecular Processes in Plasmas: Advances in Standards and Modelling, Palić, Serbia, November 12-15, 2024.
- P. Jovanović, *Possible influence of a fifth force on stellar orbits around the Galactic Center*, Belgrade, Serbia, May 26-30, 2025.
- M. Vukčević, *Scattering of UHECR at small pitch angle by plasma wave turbulence*, Belgrade, Serbia, May 26-30, 2025.

5.2. Наставна активност

У погледу наставне активности, у периоду између 2023. и 2025. године, др Предраг Јовановић је ангажован од стране Универзитета у Београду као предавач на следећим докторским и мастер студијама:

(i) др Предраг Јовановић је професор на докторским студијама студијског програма "Астрономија и астрофизика" на Математичком факултету Универзитета у Београду за предмете "Класична космологија" и "Одабрана поглавља савремене космологије" (акредитациони циклус 2022-2029);

(ii) др Предраг Јовановић је предавач на предметима "Gravitation and Cosmology" и "Gravitational Lenses" у оквиру програма MASS (Master in Astrophysics and Space Science) заједничких Erasmus Mundus мастер студија између универзитета у Италији, Немачкој, Србији и Француској (<https://www.master-mass.eu>).

5.3. Учешће на међународним пројектима и међународна сарадња

Међународна научна сарадња "Групе за гравитацију и космологију", као и њихових сарадника из ИННВ, огледа се кроз објављивање заједничких резултата са ауторима из иностраних научних институција, а такође и кроз учешће у међународним научним пројектима. Сарадници су ангажовани као представници Србије (Management Committee Members) у руководећем телу COST

акције: CA21136 (*CosmoVerse: Addressing observational tensions in cosmology with systematics and fundamental physics*), 2022-2026.

5.4. Значајни цитати

(i) Цитати од стране добитника Нобелове награде (31 цитат):

Сарадници П. Јовановић, Д. Борка и В. Борка Јовановић су остварили резултате признате на светском нивоу, што се види на основу 31 цитата добитника Нобелове награде. Конкретно, 14 наших научних радова је цитирано 31 пута од стране добитника Нобелове награде за физику за 2020. годину, др Рајнхард Гензела и др Андреје Гез, у следећим њиховим радовима:

1. A. Hees, T. Do, A. Ghez et al., *Physical Review Letters*, Volume 118, Issue 21, id.211101 (2017);
2. D. S. Chu, T. Do, A. Hees, A. Ghez et al., *The Astrophysical Journal*, Volume 854, Issue 1, article id. 12 (2018);
3. A. Hees, T. Do, B. M. Roberts, A. Ghez et al., *Physical Review Letters*, Volume 124, Issue 8, article id.081101 (2020);
4. GRAVITY Collaboration, A. Amorim, ..., R. Genzel et al., *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 489, 4606 (2019);
5. R. Genzel, F. Eisenhauer, S. Gillessen, *Astron. Astrophys. Rev.* 32, 3-1-37 (2024);
6. GRAVITY Collaboration, K. Abd El Dayem, ..., R. Genzel et al., *Astron. Astrophys.*, 692, A242-1-12 (2024);
7. GRAVITY Collaboration, K. Abd El Dayem, ..., R. Genzel et al., *Astron. Astrophys.*, 698, L15 (2025);

(ii) Цитат међународне колаборације за Физику честица и космологију

Резултати, објављени у раду: 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.* 2016, No. 05, 045-1-10 (2016), уврштени су у званичну табелу са подацима изменских и Хигсових бозона (од 2019. године) коју објављује међународна колаборација за физику честица и космологију Particle Data Group (<https://pdg.lbl.gov/>).

Ови резултати су део књиге: S. Navas et al. (Particle Data Group), *Review of Particle Physics*, *Phys. Rev. D* 110, 030001 (2024), DOI: 10.1103/PhysRevD.110.030001. Књига је доступна и у штампаној и у PDF верзији, а цитат је на страни 1186. (https://pdg.lbl.gov/2024/html/computer_read.html)

5.5. О објављеним радовима (у периоду 2023-2025)

Сарадници АОБ су постигли запажене научне резултате који се огледају у квалитету публикованих радова, а који су упоредиви са светским стандардима.

Овде дајемо преглед објављених радова М20 категорије, разврстаних по годинама:

2023 7 радова ($4xM21 + 2xM22 + 1xM23$)
2024 8 радова ($3xM21 + 4xM22 + 1xM23$)
2025 3 рада ($2xM21 + 0xM22 + 1xM23$)

Укупан број M20 радова: $9xM21 + 6xM22 + 3xM23 = 18$.

БИБЛИОГРАФИЈА НАУЧНИХ РАДОВА САРАДНИКА "ГРУПЕ ЗА ГРАВИТАЦИЈУ И КОСМОЛОГИЈУ"

Радови у врхунским међународним часописима - M21

1. V. Borka Jovanović, D. Borka, A. Arsenić, P. Jovanović, *Spectral index distribution over radio lobes of 4C 14.11 using astrophysical data in FITS format*, Adv. Space Res. 71, 1227-1234 (2023).
2. D. Borka, V. Borka Jovanović, S. Capozziello, P. Jovanović, *Velocity distribution of elliptical galaxies in the framework of Non-local Gravity model*, Adv. Space Res. 71, 1235-1244 (2023).
3. P. Jovanović, V. Borka Jovanović, D. Borka, A. F. Zakharov, *Constraints on Yukawa gravity parameters from observations of bright stars*, J. Cosmol. Astropart. P. 2023, No. 03, 056-1-26 (2023).
4. Y.-J. Chen, D.-W. Bao, S. Zhai, ... E. Bon, ... et al., *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 520, 1807 (2023).
5. P. Jovanović, V. Borka Jovanović, D. Borka, A. F. Zakharov, *Improvement of graviton mass constraints using GRAVITY's detection of Schwarzschild precession in the orbit of S2 star around the Galactic Center*, Phys. Rev. D 109, 064046-1-16 (2024).
6. M. Vukčević, *Nonlinear Density Wave Theory in a Gaseous Disk*, Astron. J 167, 15 (2024).
7. M. Vukčević, *Scattering of the UHECR at small pitch angle by damped plasma waves*, JHEA 43, 153 (2024).
8. P. Jovanović, S. Simić, V. Borka Jovanović, D. Borka, L. Č. Popović, *The comparison of an optical and X-ray counterpart of subparsec supermassive binary black holes*, Adv. Space Res. 75, 1441-1458 (2025).
9. E. Di Valentino, J. Levi Said, A. Riess, ... , D. Borka, P. Jovanović, V. Borka Jovanović et al., *The CosmoVerse White Paper: Addressing observational tensions in cosmology with systematics and fundamental physics*, arXiv:2504.01669, Phys. Dark. Universe, у штампи (2025).

Радови у истакнутим међународним часописима - M22

1. N. Đ. Lazarov, V. Borka Jovanović, D. Borka, P. Jovanović, *Geodesic equations in the weak field limit of general $f(R)$ gravity theory*, Filomat 37, 8575-8581 (2023).
2. D. Borka, V. Borka Jovanović, P. Jovanović, *Bounds on graviton mass and constraining Yukawa like gravitational potential from planetary motion in the Solar System*, Filomat 37, 8591-8601 (2023).

3. P. Jovanović, V. Borka Jovanović, D. Borka, A. F. Zakharov, *Constraints on Graviton Mass from Schwarzschild Precession in the Orbits of S-Stars around the Galactic Center*, Symmetry 16, 397-1-16 (2024).
4. M. Vukčević, D. Savić, P. Jovanović, *Probing the Nonlinear Density Wave Theory of Spiral Galaxies by Baryonic Tully-Fisher Relation*, Universe 10, 359 (2024).
5. D. W. Xu, S. Komossa, D. Grupe, ..., E. Bon, et al., *Changing-Look Narrow-Line Seyfert 1 Galaxies, their Detection with SVOM, and the Case of NGC 1566*, Universe 10, 61 (2024).
6. P. Marziani, A. Floris, A. Deconto-Machado, S. Panda, M. Sniegowska, K. Garnica, D. Dultzin, M. D'Onofrio, A. Del Olmo, E. Bon, N. Bon, *From Sub-Solar to Super-Solar Chemical Abundances along the Quasar Main Sequence*, Physics 6, 216-236 (2024).

Радови у међународним часописима - M23

1. V. Borka Jovanović, D. Borka, P. Jovanović, *Study of spectral index of giant radio galaxy from Leahy's Atlas: DA 240*, Contrib. Astron. Obs. Skalnat Pleso 53, 188-196 (2023).
2. R. Zamanov, K. A. Stoyanov, G. Latev, J. Marti, A. Takey, E. G. Elhosseiny, M. D. Christova, M. Minev, V. Vujčić, M. Moyseev, V. Marchev, *Luminosity class of the symbiotic stars 4U1954+ 319 and ZZ CMi*, Serbian Astronomical Journal 208, 41-46 (2024).
3. V. Borka Jovanović, D. Borka, P. Jovanović, *The baryonic Tully-Fisher relation and Fundamental Plane in the light of modified gravity*, Contrib. Astron. Obs. Skalnat Pleso 55, 24-33 (2025).

Предавања по позиву са међународних скупова штампана у целини - M31

1. V. Borka Jovanović, D. Borka, P. Jovanović, *X-shaped radio galaxy 3C 315*, Book of abstracts and contributed papers of the International Meeting on Data for Atomic and Molecular Processes in Plasmas: Advances in Standards and Modelling, Palić, Serbia, November 12-15, p. 30-39 (2024).

Предавања по позиву са међународних скупова штампана у изводима - M32

1. V. Borka Jovanović, D. Borka, P. Jovanović, *Study of radio spectral index of radio galaxy DA 240*, Book of abstracts and contributed papers of the V Meeting on Astrophysical Spectroscopy - A&M DATA - Astronomy & Earth Observations, Palić, Serbia, September 12-15, p. 19-20 (2023).
2. D. Borka, V. Borka Jovanović, S. Capozziello, P. Jovanović, *Constraining theories of gravity by velocity distribution of elliptical galaxies*, Book of abstracts and contributed papers of the V Meeting on Astrophysical Spectroscopy - A&M DATA - Astronomy & Earth Observations, Palić, Serbia, September 12-15, p. 21-22 (2023).
3. E. Bon, N. Bon, P. Marziani, *Spectroscopic modeling of supermassive binary black hole orbits in active galactic nuclei*, Book of Abstracts of the 16th

Photonics Workshop, Kopaonik, March 12-15; ISBN 978-86-82441-59-5, 12 (2023).

4. N. Bon, E. Bon, L. Č. Popović, *The Investigation of The Central Activity and Stellar Population Parameters in Active Galactic Nuclei*, Book of Abstracts of the 16th Photonics Workshop, Kopaonik, March 12-15; ISBN 978-86-82441-59-5, 13 (2023).
5. N. Bon, E. Bon, P. Marziani, C. M. Gaskell, S. Panda, *Variability Of Agns In The Context Of The Main Sequence Of Quasars*, Abstract Book 14th SCSLSA, ISBN 978-86-82296-04-1, page 38 (2023).
6. E. Bon, C. M. Gaskell, N. Bon, P. Marziani, S. Panda, *Optical Reverberation Mapping Of The Fe II Lines In Ngc 4051*, Abstract Book 14th SCSLSA, ISBN 978-86-82296-04-1, page 37 (2023).

Саопштења са међународних скупова штампана у целини - М33

1. V. Borka Jovanović, D. Borka, P. Jovanović, *Flux densities and spectral indices of Relaxed Double radio galaxy 3C 84*, PoS BPU11, 043-1-7 (2023).
2. S. Panda, E. Bon, P. Marziani, et al., *Boletim da Sociedade Astronomica Brasileira*, 34, 246 (2023).
3. E. Bon, P. Marziani, N. Bon, *Varability along the main sequence of quasars, Contributed papers and abstracts of invited lectures, topical invited lectures and progress reports: 32nd SPIG*, 178-181 (2024).

Саопштења са међународних скупова штампана у изводима - М34

1. P. Jovanović, S. Simić, V. Borka Jovanović, D. Borka, L. Č. Popović, *Optical and X-ray counterpart of subparsec supermassive binary black holes*, Book of Abstracts of the XIV Serbian Conference on Spectral Line Shapes in Astrophysics, Bajina Bašta, Serbia, June 19-23, p. 18-19 (2023).
2. V. Borka Jovanović, D. Borka, P. Jovanović, *Bounds on graviton mass from stelar orbits around Sgr A**, Book of abstracts of the XIV Serbian-Bulgarian Astronomical Conference, Vrnjačka Banja, Serbia, September 23-27, p. 15 (2024).
3. P. Jovanović, V. Borka Jovanović, S. Capozziello, D. Borka, *Influence of Solar Activity on Earth's Climate*, Book of abstracts and contributed papers of the conference "Building bridges between climate science and society through a transdisciplinary network", Kopaonik Mt, Serbia, September 10-14, p. 105-106 (2024).
4. V. Borka Jovanović, D. Borka, S. Capozziello, P. Jovanović, *Constraining the Deser-Woodard non-local gravity by Fundamental plane of elliptical galaxies*, Book of abstracts and contributed papers of the International Meeting on Data for Atomic and Molecular Processes in Plasmas: Advances in Standards and Modelling, Palić, Serbia, November 12-15, p. 82-83 (2024).
5. P. Jovanović, V. Borka Jovanović, D. Borka, *Bounds on graviton mass from astrometric data of S-stars*, Book of abstracts and contributed papers of the International Meeting on Data for Atomic and Molecular Processes in

- Plasmas: Advances in Standards and Modelling, Palić, Serbia, November 12-15, p. 86-87 (2024).
6. V. Borka Jovanović, D. Borka, A. F. Zakharov, P. Jovanović, *Orbital precession of S-stars in Yukawa-like gravity: Case of bulk mass distribution*, Book of abstracts and contributed papers of the Meeting on new trends in Astronomy & Earth Observation, Belgrade, Serbia, November 25-29, p. 75-77 (2024).
 7. E. Bon, S. Panda, P. Marziani, N. Bon, *Unlocking the secrets of the unruly AGN continuum: insights from NGC 5548*, in: EAS2024, European Astronomical Society Annual Meeting, 260 (2024).
 8. E. Bon, S. Panda, N. Bon, P. Marziani, *Probing the shallowing BLR response to optical continuum in AGN*, Programme and abstracts: VI Conference on Active Galactic Nuclei and Gravitational Lensing, 10-11 (2024).
 9. Marziani, Paola, Mengistue, S. Terefe, del Olmo, A., Perea, J., Deconto-Machado, A., Pović, M., Bon, E. Bon, N., *The disk plus (failed) wind system of 3C 47: A story of accretion disks and binary black holes*, Programme and abstracts: VI Conference on Active Galactic Nuclei and Gravitational Lensing, 20-21 (2024).
 10. S. Tošić, V. Srećković, V. Vujčić, *Small Molecules Essential To Astrophysics: Collisional And Radiative Processes*, Contributed papers and abstracts of invited lectures, topical invited lectures and progress reports: 32nd SPIG, 64 (2024).
 11. V. Vujčić, V. A. Srećković, O. Kounchev, F. Iacob, *A&M Datasets For Ltp Treatment Of Plants*, Contributed papers and abstracts of invited lectures, topical invited lectures and progress reports: 32nd SPIG, 158 (2024).
 12. V. A. Srećković, N. Pop, M. S. Dimitrijević, M. D. Christova, V. Vujčić, *Dataset For Photodissociation Of Small Molecular Ions*, Contributed papers and abstracts of invited lectures, topical invited lectures and progress reports: 32nd SPIG, 186 (2024).
 13. P. Jovanović, D. Borka, V. Borka Jovanović, *Possible influence of a fifth force on stellar orbits around the Galactic Center*, Book of abstracts of the Nonlinearity, Nonlocality and Ultrametricity, Belgrade, Serbia, May 26-30, p. 31 (2025).

Радови у националним часописима - M53

1. V. Borka Jovanović, D. Borka, P. Jovanović, *Constraints on graviton mass from S2-like star orbits around Sgr A**, Publ. Astron. Obs. Belgrade 107, 51-56 (2025).

Саопштења са скупова националног значаја - M63

1. П. Јовановић, В. Борка Јовановић, Д. Борка, *Истраживања галактичких и вангалактичких гравитационих појава на Астрономској опсерваторији (2019-2023)*, Зборник радова конференције "Развој астрономије код Срба XII", Београд, Србија, 18-22. април 2023., Публ. Астр. друш. "Руђер Бошковић" 27, 9-30 (2024).

Захвалница

Овај рад је финансиран од стране Министарства науке, технолошког развоја и иновација Републике Србије кроз пројекте бр. 451-03-136/2025-03/200002 и 451-03-136/2025-03/200017.

INVESTIGATION OF GALACTIC AND EXTRAGALACTIC GRAVITATIONAL PHENOMENA AT THE ASTRONOMICAL OBSERVATORY (2023-2025)

In this paper we give the review about the scientific researches, as well as the results, obtained at the Astronomical Observatory Belgrade, regarding galactic and extragalactic gravitational phenomena. Besides, the research team from Astronomical Observatory is presented, as well as their coworkers from Vinča Institute of Nuclear Sciences. During the period between 2023 and 2025, the researches were supported by Ministry of Science, Technological Development and Innovations of the Republic of Serbia.

Keywords: General Relativity, modified gravity theories, black holes, observed and simulated stellar orbits, fifth force, cosmological models, cosmological tensions