

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

Предраг Јовановић¹, Весна Борка Јовановић²,
Душко Борка²

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

²Лабораторија за теоријску физику и физику кондензоване
материје (020), Институт за нуклеарне науке "Винча",
п. фах 522, 11001 Београд, Србија



Преглед предавања

- 1) Група за гравитацију и космологију
- 2) Примери истраживања и међународне сарадње:
 - Испитивања модификоване гравитације са петом силом
 - Допринос белој књизи (енг. "White Paper") COST акције CosmoVerse
- 4) Најважнији остварени резултати

Група за гравитацију и космологију

- Научно-истраживачка група за гравитацију и космологију је основана на Астрономској опсерваторији 2022. године на предлог др Предрага Јовановића
- **Предмет истраживања:** гравитациона интеракција и са њом повезане астрономске и космолошке појаве и објекти, као што су: појединачне и двојне супремасивне црне рупе у центрима галаксија и квазара, гравитациони таласи, гравитациона сочива, провере предвиђања опште теорије релативности и теорија модификоване гравитације, као и космолошки модели засновани на њима
- **Научни циљ истраживања:** добијање нових фундаменталних сазнања о гравитационој интеракцији и њеним ефектима на различитим астрофизичким скалама, почевши од Сунчевог система, преко галактичких, вангалактичких до космолошких скала
- **Врсте истраживања:** теоријска разматрања, нумеричке симулације и поређење добијених резултата са астрономским посматрањима
- **Чланови групе:**
 1. др Предраг Јовановић (руководилац), научни саветник,
 2. др Наташа Бон, виши научни сарадник,
 3. др Мирослава Вукчевић, виши научни сарадник,
 4. др Еди Бон, виши научни сарадник
- **Сарадња** са следећим истраживачима из ИНН Винча који раде у оквиру теме "Гравитација и астрофизика честица":
 1. др Весна Борка Јовановић, научни сарадник и
 2. др Душко Борка, научни саветник

Теме истраживања

- 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

Подгрупа за астроинформатику

- Подгрупа је основана 2024. године у оквиру групе за гравитацију и космологију ради интегрисања мултидисциплинарних знања и техника како би постигла научне циљеве путем приступа утемељеног на подацима
- **Чланови подгрупе:**
 1. Вељко Вујчић (руководилац), виши стручни сарадник,
 2. Ненад Миловановић, стручни сарадник,
 3. Владимир Бенишек, стручни сарадник и
 4. Сања Еркапић, стручни сарадник
- **Теме којима се бави подгрупа**
- SerVO – Српска виртуелна опсерваторија, веб портал групе (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

Модификована гравитација са петом силом

- **Пета сила:** додатна одбојна (антигравитациона) сила која опонаша ефекте тамне енергије и која истовремено објашњава равне ротационе криве спиралних галаксија без хипотезе о тамној материји
- Описује се помоћу модификованог Њутновог гравитационог потенцијала са експоненцијалном поправком Јукавиног типа
- Изучавали смо следеће моделе пете силе:

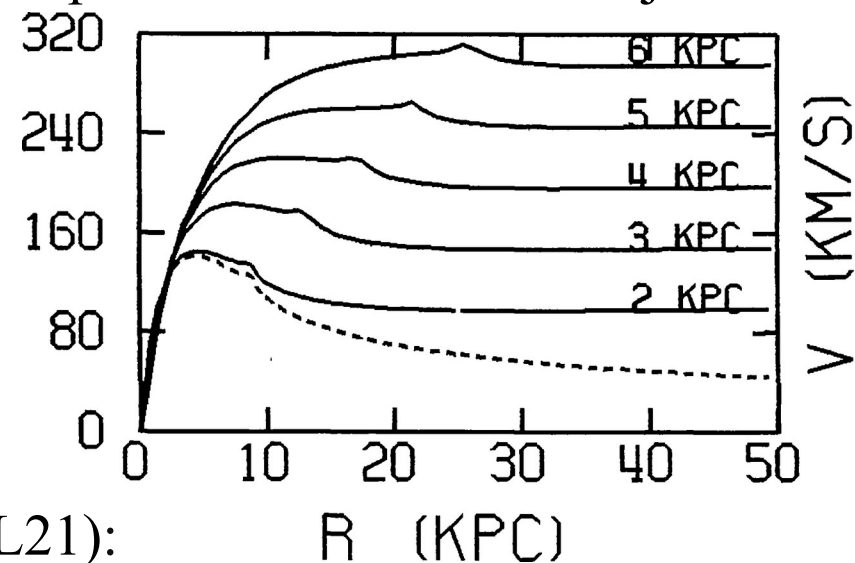
1. Виллов феноменолошки модел

(Will, 1998, PRD, 57, 206):

$$\Phi_W(r) = -\frac{GM}{r} e^{-\frac{r}{\lambda}}$$

2. Сандерсов модел (Sanders, 1984, A&A, 136, L21):

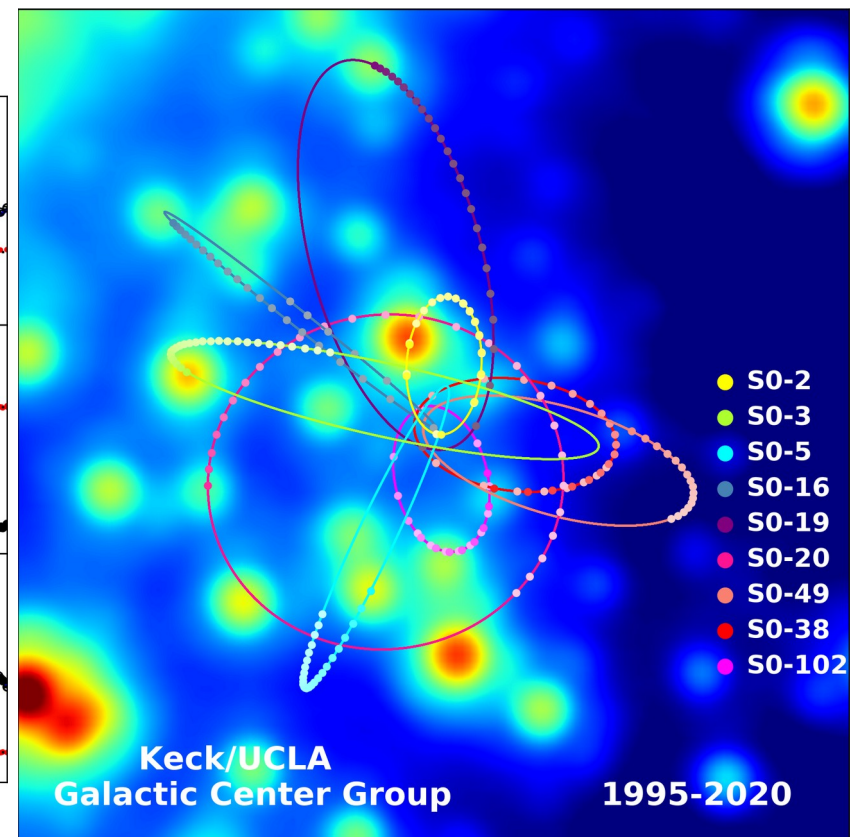
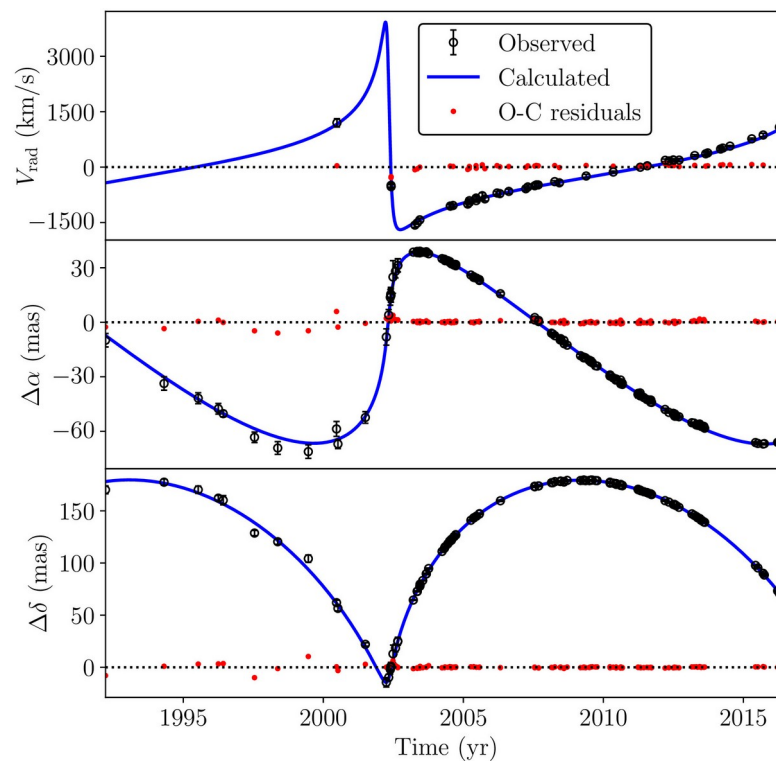
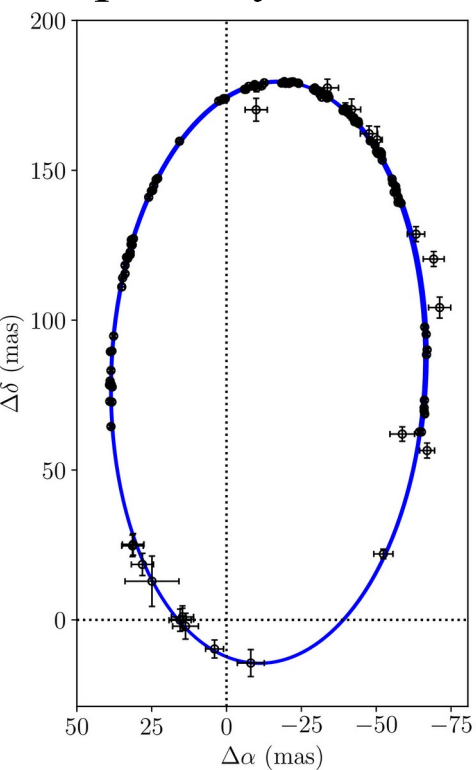
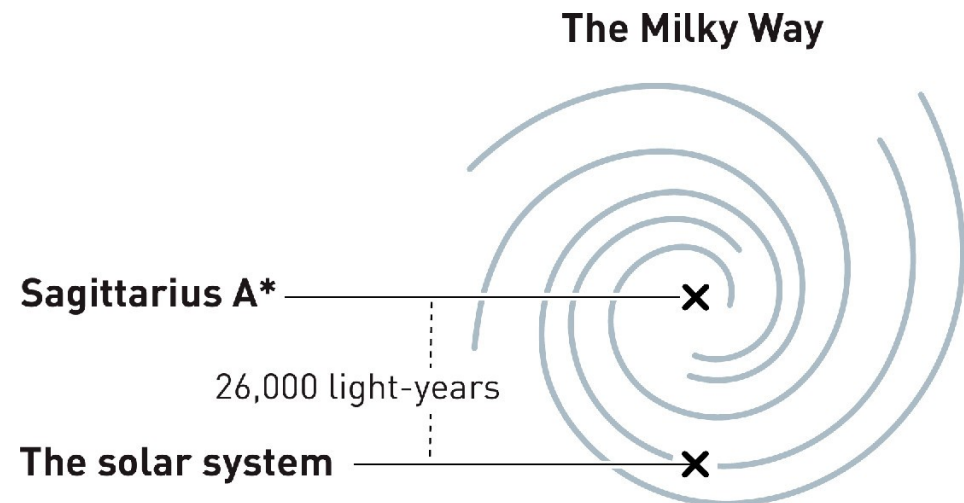
$$\Phi_S(r) = -\frac{G_\infty M}{r} \left(1 + \alpha e^{-r/\lambda}\right), \quad G_0 = G_\infty (1 + \alpha) \quad \wedge \quad \alpha \sim -1$$



- Сандерсов модел се добија у њутновској граници $f(R)$ теорија гравитације
- Параметар α описује јачину пете силе, а λ описује њен домет
- Домет пете силе λ одговара Комптоновој таласној дужини гравитона: $\lambda = \frac{h}{m_g c}$, где је m_g - маса гравитона

Испитивања пете силе у центру наше галаксије

- Одређивање јачине и домета пете силе помоћу фитовања посматраних орбита S-звезда око $Sgr A^*$ у центру Млечног пута
- Пета сила као могуће објашњење за детектована мала одступања у кретању S-звезда од предвиђања опште теорије релативности
- Доле: најбољи фит посматране орбите звезде S2 око $Sgr A^*$ помоћу симулиране орбите у Виловом потенцијалу



Маса гравитона из орбита S-звезда око Sgr A*

Table 4. Best-fit values of the graviton Compton wavelength, λ , SMBH mass, M , and distance, R , to the GC and the osculating orbital elements $a, e, i, \Omega, \omega, P, T$ of the S2 star orbit.

Parameter	Value	Fit Error	Unit
λ	82,175.7	9828.05	AU
M	4.15	0.27	$10^6 M_{\odot}$
R	8.33	0.198	kpc
a	0.1229	0.00430	arcsec
e	0.8797	0.01597	
i	134.89	1.984	°
Ω	224.57	5.208	°
ω	62.78	4.562	°
P	15.98	0.362	yr
T	2018.12219	0.696709	yr

$$\Delta\varphi_{obs} = \Delta\varphi_Y + \Delta\varphi_{GR} \Rightarrow$$

$$m_g(P, e; f_{SP}) \approx \frac{4\pi h}{P} \sqrt{\frac{3(f_{SP} - 1)}{(\sqrt{1 - e^2})^3}}$$

1. Директним фитовањем орбите звезде S2 у Јукава гравитацији у посматрања:

$$m_g < (1.5 \pm 0.8) \times 10^{-22} \text{ eV}$$

2. Из посматране прецесије S2 звезде коју мери GRAVITY:

$$\Delta\varphi_{obs} = f_{sp} \frac{6\pi GM}{c^2 a(1 - e^2)}$$

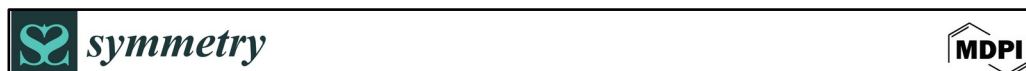
(за S2: $\Delta\varphi_{obs} = f_{sp} \times 12'.1$)

и теоријског предвиђања Јукава гравитације:

Table 1. The Compton wavelength of the graviton, λ , and its mass, m_g , as well as their relative and absolute errors, calculated for three different values of f_{SP} in the case of the S2 star.

f_{SP}	Δf_{SP}	$\lambda \pm \Delta\lambda$ (AU)	$m_g \pm \Delta m_g$ (10^{-24} eV)	R.E. (%)
1.100	0.190	66361.5 $\pm$ 63890.7	124.9 $\pm$ 120.2	96.3
1.010	0.160	209853.4 $\pm$ 1681506.5	39.5 $\pm$ 316.5	801.3
1.141	0.144	55886.4 $\pm$ 29251.3	148.3 $\pm$ 77.6	52.3

Symmetry **2024**, *16*, 397. <https://doi.org/10.3390/sym16040397>



Article

Constraints on Graviton Mass from Schwarzschild Precession in the Orbits of S-Stars around the Galactic Center

Predrag Jovanović ^{1,*}, Vesna Borka Jovanović ², Duško Borka ² and Alexander F. Zakharov ³

Journal of Cosmology and Astroparticle Physics
An IOP and SISSA journal

JCAP03 (2023) 056

Constraints on Yukawa gravity parameters from observations of bright stars

P. Jovanović, ^{a,*} V. Borka Jovanović, ^b D. Borka ^b and A.F. Zakharov ^c

PHYSICAL REVIEW D **109**, 064046 (2024)

Improvement of graviton mass constraints using GRAVITY's detection of Schwarzschild precession in the orbit of S2 star around the Galactic Center

Predrag Jovanović ¹, Vesna Borka Jovanović ², Duško Borka ^{2,*} and Alexander F. Zakharov ³

Пример цитирања наших резултата I

Astron Astrophys Rev (2024) 32:3

<https://doi.org/10.1007/s00159-024-00154-z>

REVIEW ARTICLE



Experimental studies of black holes: status and future prospects

Reinhard Genzel^{1,2,3}  · Frank Eisenhauer^{1,4} · Stefan Gillessen¹

Further tests of General Relativity near a MBH GRAVITY Collaboration et al. (2019b) confirmed the Equivalence Principle in the orbit of S2 through a test of the linear positional invariance. In that paper the redshift data are split into spectroscopy of the hydrogen Br γ line and the HeI 2.1 μm line, and the gravitational redshift term is computed for the two data sets. Einstein's Equivalence Principle stipulates that in free fall the motion should only depend on mass/energy, and not on composition. And indeed, GRAVITY Collaboration et al. (2019b) set an upper limit of a few 10^{-2} to the fractional difference of the gravitational redshift in hydrogen and helium. In another paper, Hees et al. (2017, 2020) used the Galactic Center data to set limits on a hypothetical fifth force, and variations in the fine structure constant. (Jovanović et al. 2024) analyzed the Schwarzschild precession of S2 in the framework of Yukawa gravity theory, and set an upper limit to the mass of the graviton, which is compatible with limits from aLIGO gravitational-wave data.

Пример цитирања наших резултата II

A&A, 692, A242 (2024)

<https://doi.org/10.1051/0004-6361/202452274>

© The Authors 2024

**Astronomy
&
Astrophysics**

Improving constraints on the extended mass distribution in the Galactic center with stellar orbits

GRAVITY Collaboration*: K. Abd El Dayem¹, R. Abuter⁴, N. Aimar^{1,7} , P. Amaro Seoane^{14,2,20,15},
A. Amorim^{8,7}, J. Beck², J. P. Berger^{3,4}, H. Bonnet⁴, G. Bourdarot², W. Brandner⁵, V. Cardoso^{7,17} ,
R. Capuzzo Dolcetta²¹ , Y. Clénet¹, R. Davies² , P. T. de Zeeuw¹⁰ , A. Drescher² , A. Eckart^{6,13} , F. Eisenhauer^{2,19},
H. Feuchtgruber², G. Finger², N. M. Förster Schreiber² , A. Foschi¹, F. Gao¹³, P. Garcia^{10,7} , E. Gendron¹,
R. Genzel^{2,11}, S. Gillessen² , M. Hartl², X. Haubois⁹, F. Haussmann², G. Heißel^{16,1}, T. Henning⁵, S. Hippler⁵ ,
M. Horrobin⁶, L. Jochum⁹, L. Jocou³ , A. Kaufer⁹ , P. Kervella¹, S. Lacour^{1,4}, V. Lapeyrère¹, J.-B. Le Bouquin³,
P. Léna¹ , D. Lutz², F. Mang², N. More², T. Ott², T. Paumard¹ , K. Perraut³ , G. Perrin¹, O. Pfuhl^{4,2}, S. Rabien²,
D. C. Ribeiro², M. Sadun Bordoni^{2,*,**} , S. Scheithauer⁵ , J. Shangguan² , T. Shimizu², J. Stadler^{12,2}, O. Straub^{2,18},
C. Straubmeier⁶ , E. Sturm², L. J. Tacconi², I. Urso¹ , F. Vincent¹, S. D. von Fellenberg^{13,2} ,
F. Widmann², E. Wieprecht², J. Woillez⁴, and F. Zhang^{22,23,24} 

Additionally, a deviation from general relativity, such as the one introduced by massive gravity theories or $f(R)$ -gravity, could modify the gravitational potential through a Yukawa-like correction in the Newtonian limit, adding an additional precession of the stellar orbits to the prograde SP and the retrograde precession induced by an extended mass distribution (Hees et al. 2017; De Martino et al. 2021; Tan & Lu 2024; Jovanović et al. 2024a,b). For the specific case of massive gravity, the additional precession would be prograde and equal to $\delta\varphi_Y = \pi \sqrt{1 - e^2} \frac{a^2}{\lambda^2}$ (Jovanović et al. 2024a), where $\lambda = \frac{\hbar}{m_g c}$ is the Compton wavelength of the massive graviton, m_g the mass of the graviton, and $\hbar$ the reduced Planck constant. From the observed precession of the S2 star, it is thus possible to derive a lower limit on λ and an upper limit on m_g , as is done in Hees et al. (2017); Jovanović et al. (2024a,b).

Пример цитирања наших резултата III

arXiv:2504.02908v1 [astro-ph.GA]

Astronomy & Astrophysics manuscript no. aanda
April 7, 2025

©ESO 2025

On the presence of a fifth force at the Galactic Center

The GRAVITY Collaboration[★] : K. Abd El Dayem¹, R. Abuter⁴, N. Aimar^{10,7}, P. Amaro Seoane^{14,2,19}, A. Amorim^{8,7}, J.P. Berger^{3,4}, H. Bonnet⁴, G. Bourdarot², W. Brandner⁵, V. Cardoso^{7,16}, Y. Clénet¹, R. Davies², P.T. de Zeeuw²⁰, A. Drescher², A. Eckart^{6,13}, F. Eisenhauer^{2,18}, H. Feuchtgruber², G. Finger², N.M. Förster Schreiber², A. Foschi^{1,2★★}, P. Garcia^{10,7}, E. Gendron¹, R. Genzel^{2,11}, S. Gillessen², M. Hartl², X. Haubois⁹, F. Haussmann², T. Henning⁵, S. Hippler⁵, M. Horrobin⁶, L. Jochum⁹, L. Jocu³, A. Kaufer⁹, P. Kervella¹, S. Lacour^{1,4}, V. Lapeyrère¹, J.-B. Le Bouquin³, P. Léna¹, D. Lutz², F. Mang², N. More², J. Osorno¹, T. Ott², T. Paumard¹, K. Perraut³, G. Perrin¹, S. Rabien², D. C. Ribeiro², M. Sadun Bordoni², S. Scheithauer⁵, J. Shangguan²¹, T. Shimizu², J. Stadler^{12,2}, O. Straub^{2,17}, C. Straubmeier⁶, E. Sturm², L.J. Tacconi², I. Urso¹, F. Vincent¹, S.D. von Fellenberg^{13,2}, E. Wieprecht², and J. Woillez⁴

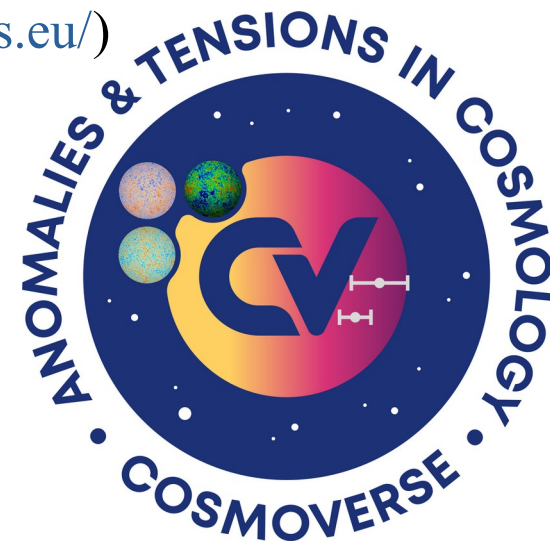
References

- Borka, D., Jovanović, P., Jovanović, V. B., & Zakharov, A. F. 2013, JCAP, 11, 050
- Borka, D., Jovanović, V. B., Capozziello, S., Zakharov, A. F., & Jovanović, P. 2021, Universe, 7, 407
- Capozziello, S., Borka, D., Jovanović, P., & Jovanović, V. B. 2014, Phys. Rev. D, 90, 044052
- Jovanović, P., Borka, D., Borka Jovanović, V., & Zakharov, A. F. 2021, Eur. Phys. J. D, 75, 145
- Jovanović, P., Borka Jovanović, V., Borka, D., & Zakharov, A. F. 2024a, Symmetry, 16, 397
- Jovanović, P., Jovanović, V. B., Borka, D., & Zakharov, A. F. 2023, JCAP, 03, 056
- Jovanović, P., Jovanović, V. B., Borka, D., & Zakharov, A. F. 2024b, Phys. Rev. D, 109, 064046
- Zakharov, A. F., Jovanović, P., Borka, D., & Borka Jovanović, V. 2018, JCAP, 04, 050
- Zakharov, A. F., Jovanovic, P., Borka, D., & Jovanovic, V. B. 2016, JCAP, 05, 045

Допринос белој књизи COST акције CosmoVerse

- Чланство у све три радне групе COST акције CA21136 "CosmoVerse"
(<https://www.cost.eu/actions/CA21136/> и <https://cosmoversetensions.eu/>)

- Рад на писању текста у оквиру 4 потпоглавља беле књиге
- *Бела књига*: документ који садржи анализу и предлоге за решавање посматрачких тензија у савременој космологији
- *Космолошке тензије*: статистички значајна неслагања у мереним вредностима параметара, добијеним на основу посматрања из раних и касних космолошких епоха



- Најважније космолошке тензије:

- H_0 тензија:** статистички најзначајније неслагање између вредности Хаблове константе
- Тензија звучног хоризонта:** неслагање у размерама звучног хоризонта густинских таласа у примордијалној плазми
- $S8$ тензија:** неслагање у амплитуди флуктуација материје на космолошким скалама

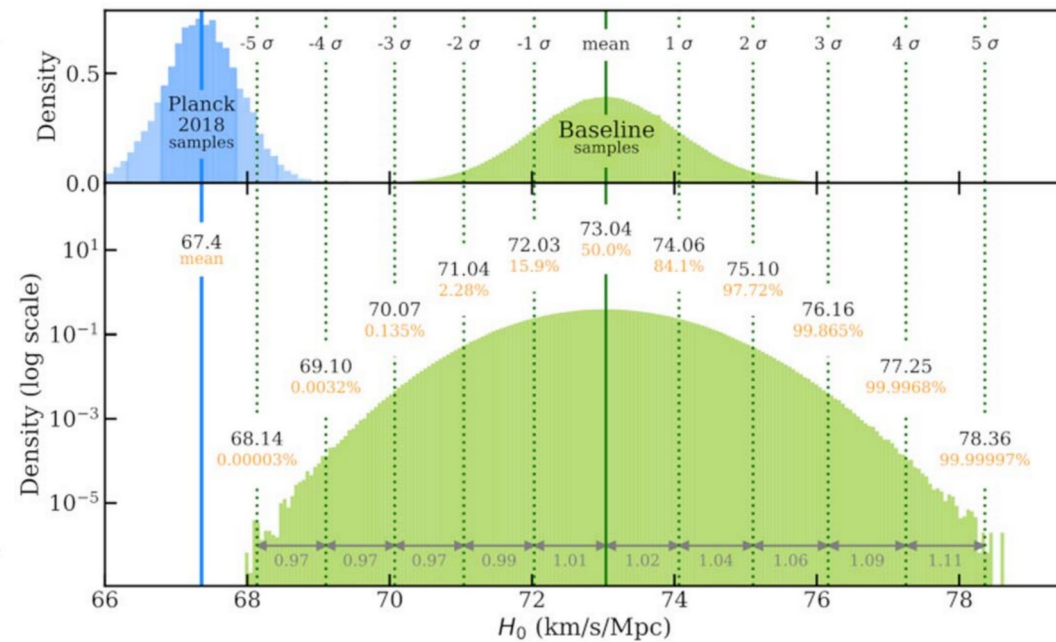
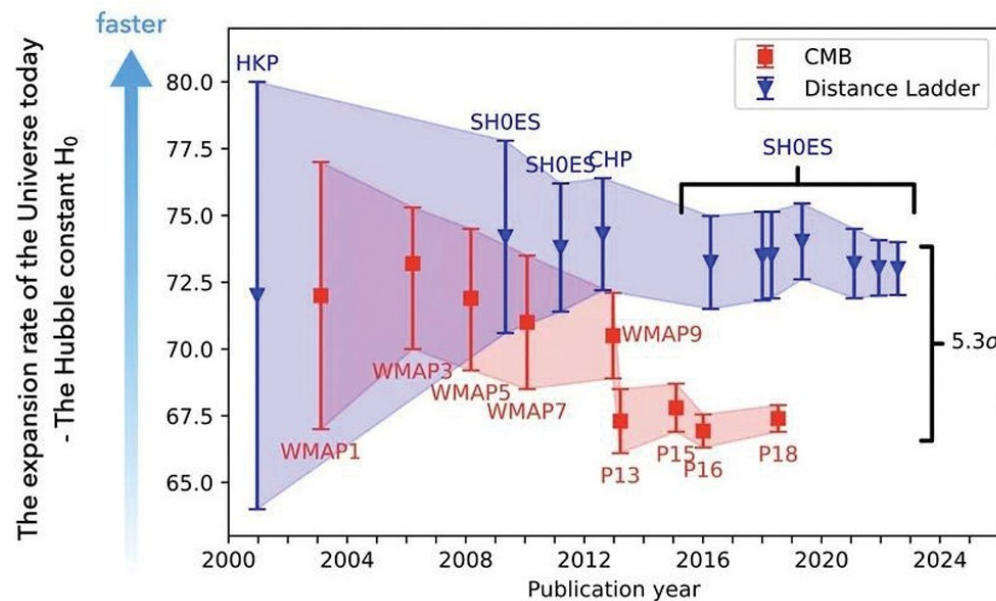
arXiv:2504.01669v1 [astro-ph.CO]

The CosmoVerse White Paper: Addressing observational tensions in cosmology with systematics and fundamental physics

The CosmoVerse Network
(April 3, 2025)

H_0 тензија

- Статистички значајно неслагање између мерених вредности за H_0 добијених на основу посматрања CMBR (рани свемир) и SN Ia (касни свемир)
- SN Ia: $H_0 = 74.0 \pm 1.4 \text{ km s}^{-1} \text{ Mpc}^{-1}$ (Riess et al. 2019, ApJ, 876, 85)
- Planck, 2018 (са прецизношћу од 1%): $H_0 = 67.4 \pm 0.5 \text{ km s}^{-1} \text{ Mpc}^{-1}$



(Riess et al. 2022, ApJL, 934, L7)

- Неслагање је $> 5\sigma$ и веће је од систематских грешака у подацима
- 2σ = радозналост, 3σ = тензија, 4σ = неслагање или проблем, 5σ = криза
- Семинари CosmoVerse-a: <https://www.youtube.com/@cosmoverseseminars2112> и <https://cosmoversetensions.eu/for-scientists/cosmoverse-seminars/>

H_0 тензија

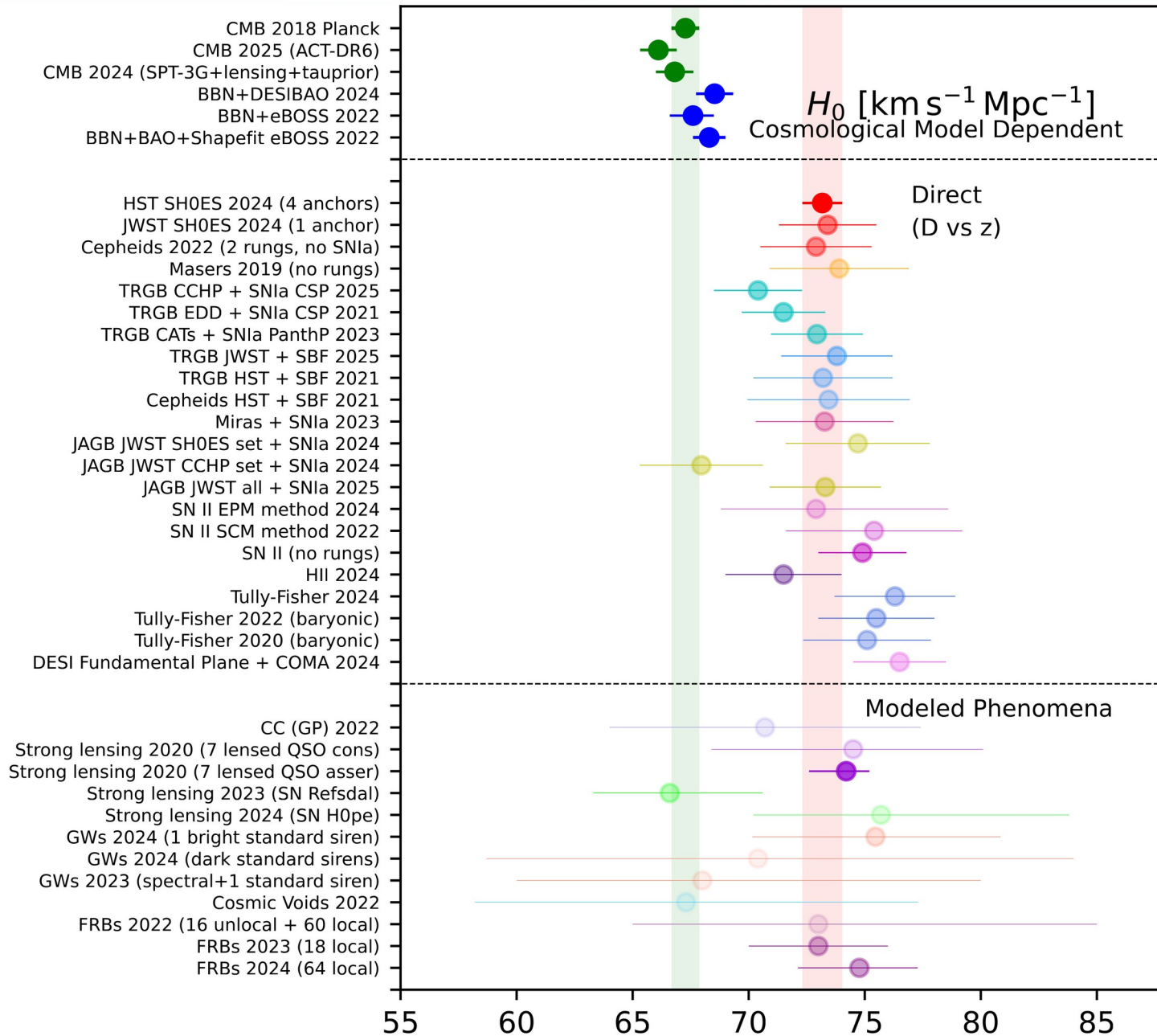


FIG. 2: Summary of H_0 estimates from all the cosmological probes in this White Paper following the order of the different sections.

Наш допринос у 4 потпоглавља беле књиге

2.1.11. *The baryonic Tully-Fisher relation approach*

Coordinator: Khaled Said

Contributors: Benoit Famaey, Cláudio Gomes, Duško Borka, Esha Bhatia, Jenny G. Sorce, Maurice H.P.M. van Putten, Milan Milošević, Paolo Salucci, Paula Boubel, Predrag Jovanović, and Vesna Borka Jovanović

2.1.14. *Strong lensing and time delay measurements*

Coordinator: Tommaso Treu

Contributors: Alba Domi, Alexander Bonilla Rivera, Ali Övgün, Anowar J. Shajib, Clecio Roque De bom, David Valls-Gabaud, Dominique Sluse, Eoin O Colgain, Frédéric Courbin, Jenny Wagner, Lindita Hamolli, Predrag Jovanović, Sherry H. Suyu, Simon Birrer, Tanja Petrushevska, and Veronica Motta

4.3.1. *Modified gravity in light of cosmic tensions*

Coordinator: Francesco Bajardi, Micol Benetti, Salvatore Capozziello

Contributors: Adrià Gómez-Valent, Alessandro Vadalà, Ali Övgün, Amare Abebe, Andronikos Paliathanasis, Anil Kumar Yadav, Araceli Soler Oficial, Christian Pfeifer, Daniel Blixt, David Benisty, Diego Rubiera-Garcia, Duško Borka, Emmanuel N. Saridakis, Erik Jensko, Francisco S. N. Lobo, Gabriel Farrugia, Gaetano Lambiase, Giuseppe Sarracino, Hussain Gohar, Ilim Cimdiker, Inês S. Albuquerque, Ismael Ayuso, Joan Solà Peracaula, Konstantinos F. Dialektopoulos, László Á. Gergely, Marcin Postolak, Marco de Cesare, Maria Caruana, Mariaveronica De Angelis, Nihan Katırcı, Nils A. Nilsson, Noemi Frusciante, Pierros Ntelis, Predrag Jovanović, Rebecca Briffa, Rocco D'Agostino, Saeed Rastgoo, Sanjay Mandal, Sergei D. Odintsov, Tiago B. Gonçalves, Tiziano Schiavone, Vesna Borka Jovanović, and Vincenzo Salzano

4.6. *The cosmological principle*

Coordinator: Eoin Ó Colgáin

Contributors: Alexander Bonilla Rivera, András Kovács, Anil Kumar Yadav, Antonio da Silva, Asta Heinesen, Daniele Oriti, Dario Bettoni, David Benisty, David L. Wiltshire, Diego Rubiera-Garcia, Dinko Milakovic, Duško Borka, Ebrahim Yusofi, Elias C. Vagenas, Giuseppe Fanizza, Goran S. Djordjević, Hassan Abdalla, Ido Ben-Dayana, Iryna Vavilova, Jenny G. Sorce, Jenny Wagner, Jessica Santiago, John K. Webb, José Pedro Mimoso, Juan Garcia-Bellido, Laura Mersini-Houghton, Leandros Perivolaropoulos, M.M. Sheikh-Jabbari, Maciej Bilicki, Marie-Noëlle Célerier, Marina Cortês, Milan Milošević, Nihan Katırcı, Nils A. Nilsson, Özgür Akarsu, Predrag Jovanović, Saurya Das, Tajron Jurić, Víctor H. Cárdenas, Valerio Marra, Vesna Borka Jovanović, and Wojciech Hellwing

Неки од наших резултата у белој књизи

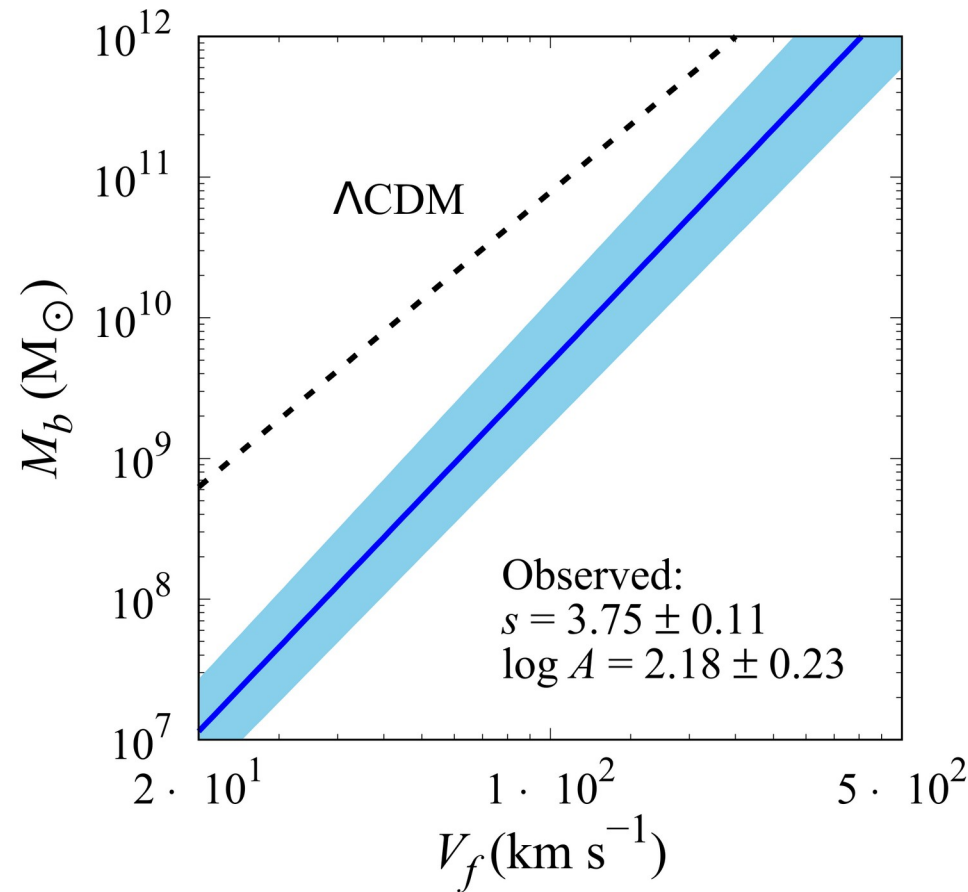


FIG. 22: Comparison between the BTFR obtained from error-weighted fits of galaxies with accurate distances from Ref. [359] to the BTFR predicted by ΛCDM cosmology. The observed BTFR (blue solid line) includes a light blue band representing the intrinsic scatter of 0.1 dex. The ΛCDM prediction is shown as a black dashed line. Both relations are plotted using equations from Ref. [359]: Eq. (6) for the observed BTFR and Eq. (8) for the ΛCDM prediction. [Reprinted under CC BY 4.0. from: V. Borka Jovanović, D. Borka, and P. Jovanović, Contrib. Astron. Obs. Skalnate Pleso 55/2, 24 - 33 (2025)].



Остварени резултати

Главни остварени резултати истраживања у периоду 2023-2025:

- Учесће на конференцијама и њихова организација
- Предавања по позиву
- Наставна активност
- Учесће на пројектима и међународна сарадња
- Значајни цитати
- Објављени радови категорије M20
- Остали објављени радови

Учешће на конференцијама и њихова организација

- Сарадници групе су учествовали на неколико домаћих и међународних стручних скупова (* учешће у Научним и Организационим комитетима):

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://aspectro2023.ipb.ac.rs/>

2024

- 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://aspectro.ipb.ac.rs/2024/>
- Meeting on new trends in Astronomy & Earth Observation *: http://servo.aob.rs/ini/files/announcement_INI_Bgd2024.pdf



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.
- 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.

Наставна активност

- У периоду између 2023. и 2025. године, др Предраг Јовановић је ангажован од стране Универзитета у Београду 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*"
 - 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>).
- Следећи универзитети учествују у овим мастер студијама:
 - Универзитет у Риму "Тор Вергата" (координатор): <https://web.uniroma2.it/en>
 - Универзитет у Београду, Србија (партнер): <http://www.matf.bg.ac.rs/eng/>
 - Универзитет у Бремену, Немачка (партнер): <https://www.uni-bremen.de/en/>
 - Универзитет у Ници "Азурна обала", Француска (партнер): <https://univ-cotedazur.eu/>

Учешће на 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 учествују и ангажовани су 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.
- др Еди Бон је добио пројекат на позив Министарства за културу, у вези са промоцијом науке кроз уметност, за скулптуру која ће бити постављена у кругу опсерваторије (скулптура за слушање позадинског микроталасног зрачења, односно првих акустичких таласа у свемиру (БАО)), а за реализацију је стигло од Министарства 500000 РСД (аутори су Иван Бон и Еди Бон)
- др Мирослава Вукчевић има међународну сарадњу у оквиру пројекта "*Nonhomogeneous Astrophysical Radiators (NAR) and a New Class of Gamma-Ray Bursts (GRBs)*", Руководилац пројекта: R. Moradi, Chinese Academy of Science, Beijing Natural Science Foundation

Значајни цитати I

1. 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 Андрее Гез, у следећим њиховим радовима:
 - A. Hees, T. Do, A. Ghez et al., Physical Review Letters, Volume 118, Issue 21, id.211101 (2017);
 - D. S. Chu, T. Do, A. Hees, A. Ghez et al., The Astrophysical Journal, Volume 854, Issue 1, article id. 12 (2018);
 - A. Hees, T. Do, B. M. Roberts, A. Ghez et al., Physical Review Letters, Volume 124, Issue 8, article id.081101 (2020);
 - GRAVITY Collaboration, A. Amorim, ..., R. Genzel et al., Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 489, 4606 (2019);
 - R. Genzel, F. Eisenhauer, S. Gillessen, Astron. Astrophys. Rev. 32, 3-1-37 (2024);
 - GRAVITY Collaboration, K. Abd El Dayem, ..., R. Genzel et al., Astron. Astrophys., 692, A242-1-12 (2024).
 - GRAVITY Collaboration, K. A. El Dayem, ..., R. Genzel et al., arXiv:2504.02908 (2025).

Значајни цитати II

1. 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)

Преглед радова категорије M20 по годинама

- Сарадници групе су постигли запажене научне резултате који се огледају у квалитету публикованих радова, а који су упоредиви са светским стандардима
- Овде дајемо преглед објављених радова M20 категорије, разврстаних по годинама:

2023: 7 радова ($4 \times M21 + 2 \times M22 + 1 \times M23$)

2024: 8 радова ($3 \times M21 + 4 \times M22 + 1 \times M23$)

2025: 3 рада ($2 \times M21 + 0 \times M22 + 1 \times M23$)

Укупан број M20 радова: $9 \times M21 + 6 \times M22 + 3 \times M23 = 18$

Радови објављени у периоду 2023-2025 (део 1)

• 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).

Радови објављени у периоду 2023-2025 (део 2)

• Радови у врхунским међународним часописима – M21 (наставак)

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. Ђ. 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).

Радови објављени у периоду 2023-2025 (део 3)

• Радови у истакнутим међународним часописима – M22 (наставак)

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).

Радови објављени у периоду 2023-2025 (део 4)

- **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).

Радови објављени у периоду 2023-2025 (део 5)

• Предавања по позиву са међународних скупова штампана у изводима – M32 (наставак)

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 - M33

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, *Variability along the main sequence of quasars*, Contributed papers and abstracts of invited lectures, topical invited lectures and progress reports: 32nd SPIG, 178-181 (2024).

Радови објављени у периоду 2023-2025 (део 6)

• 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 stellar 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).

Радови објављени у периоду 2023-2025 (део 7)

- Саопштења са међународних скупова штампана у изводима – М34 (наставак)
- 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).

Радови објављени у периоду 2023-2025 (део 8)

• Саопштења са међународних скупова штампана у изводима – М34 (наставак)

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).

• Радови у националним часописима - М53

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 - М63

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).



Хвала на пажњи!