

ИСТРАЖИВАЊА ГРАВИТАЦИОНИХ СОЧИВА И ЦРНИХ РУПА НА АСТРОНОМСКОЈ ОПСЕРВАТОРИЈИ (2010-2011)

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

¹*Астрономска опсерваторија, Волгина 7, 11060 Београд, Србија*

*E-mail: pjovanovic@aob.rs

²*Институт за нуклеарне науке "Винча", Универзитет у Београду, П.Ф. 522,
11001 Београд, Србија*

Резиме: У овом раду приказан је основни научни циљ пројекта 176003 "Гравитација и структура космоса на великим скалама", представљен је истраживачки тим пројекта и дати су досадашњи остварени циљеви истраживања. Пројекат је пријављен у оквиру програма основних истраживања за период 2011-2014 и финансиран је од стране Министарства за образовање и науку Републике Србије.

1. УВОД

Пројекат 176003 "Гравитација и структура космоса на великим скалама" пријављен је 10. јула 2010. г. на конкурс за предлагање пројеката у оквиру програма основних истраживања за период 2011-2014. Пројекат је пријављен у оквиру области "Геонауке и астрономија", а тип пројекта је теоријско-експериментални. Реализатори истраживања су Астрономска опсерваторија у Београду (АОБ) и Институт за нуклеарне науке "Винча" (ИННВ).

2. ФИНАНСИРАЊЕ ПРОЈЕКТА

Пројекат је финансиран од стране Министарства за образовање и науку Републике Србије. Пошто је ово нов пројекат, било је неопходно наручити нове рачунаре који су основна средства за рад, што је и одобрено од стране Министарства. Потребне учесника на пројекту се разликују па је било потребно наручити рачунаре са различитим својствима. Одобрена је набавка рачунара из следеће три групе:

(1) Лаки и портабилни лаптоп рачунари са стабилним оперативним системом и са унапред инсталираним апликацијама за ту сврху (*MacOS Snow Leopard 10.6*). Намењени су истраживачима који више путују и баве се презентацијом резултата својих истраживања.

(2) Лаптоп рачунари са монитором већих димензија, графичком картом са *FERMI* и *CUDA* технологијом и без унапред инсталираног оперативног система који ће бити инсталиран од стране крајњих корисника (*Linux*). Намењени су истраживачима који ће их користити за развој и извођење паралелизованих нумеричких симулација.

(3) Радне станице са великим хард дисковима и доста *RAM* меморије које ће бити коришћене за захтевнија израчунавања, као што су нумеричке симулације следећих астрономских и космолошких појава: формирања структура на великим скалама, гравитационих сочива, сједињавања супермасивних црних рупа, емисије и детекције гравитационих таласа.

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

Накнаде за рад истраживача у бруто износу (које укључују нето износ, порез, допринос и додатна средства за време проведено на раду), исплаћене од стране Министарства за 2011. годину, износе: 3,545,532 за АОБ и 1,538,420 за ИННВ што је укупно 5,083,952 динара.

ДМТ II су коришћени за учешће свих чланова пројекта на међународним конференцијама, за набавку ситне опреме, као и за радне посете страних сарадника.

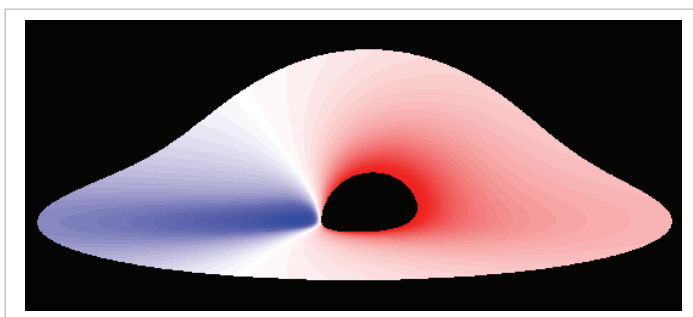
3. НАУЧНИ ЦИЉ ПРОЈЕКТА

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

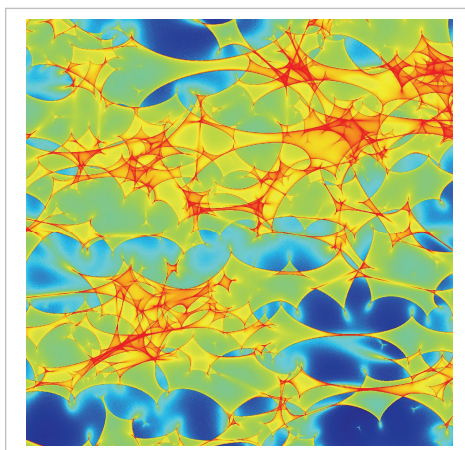
модерну астрофизику и космологију. У оквиру нашег пројекта се већ спроводе и планирају различите врсте истраживања (теоријска разматрања, нумеричке симулације и поређења моделованих резултата са астрономским посматрањима) појава везаних за гравитацију, као што су:

- 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, њихове активности, раста и зрачења из њихових акреционих дискова. До сада су из ових области добијени врло значајни резултати који су публиковани у већем броју водећих међународних часописа.



Слика 1: *Релативистички акрециони диск око максимално ротирајуће супермасивне црне рупе.*



Слика 2: *Мапа гравитационих микросочива за типични систем гравитационих сочива.*

- Гравитациона сочива

у чијем гравитационом пољу долази до савијања зрака светлости, што за последицу има појаву вишеструких ликова неког позадинског извора или појачање његовог интензитета. Група истраживача у оквиру овог пројекта се већ дуже време интензивно бави изучавањима скоро свих аспеката ове универзалне природне појаве, а добијени су значајни резултати који су такође публиковани у већем броју водећих међународних часописа. У наредном периоду, нарочита пажња ће бити посвећена применама гравитационих сочива за истраживања геометрије и физике у близини супермасивних црних рупа, особина јата галаксија и удаљених позадинских извора, расподеле видљиве и тамне материје, одређивање космолошких параметара и проучавање структуре космоса на великим скалама у различитим епохама његове еволуције.

- Тамна материја

која, према ономе што данас знамо, сачињава већину материје у космосу и коју не можемо детектовати никаквим другим средствима осим помоћу гравитационих сочива. Верује се да се тамна материја, у највећем делу, састоји од небарионских честица које слабо интерагују и које се крећу само под утицајем гравитације. Међутим, неке недавне студије тамне материје помоћу гравитационих сочива су откриле аномалије у њеној расподели, које нису у складу са претходном претпоставком. Разјашњење ових аномалија је управо један од циљева наших будућих истраживања тамне материје и неких њених могућих алтернатива, као што су на пример модификована Њутнова динамика (МОНД) или разне теорије модификоване гравитације.

- Двојне супермасивне црне рупе

које настају у галаксијама у судару и чија сједињавања представљају најмоћније изворе гравитационих таласа. Сматра се да гравитациони таласи преносе огромну количину информација и очекује се да у блиској будућности буду детектовани помоћу већег броја земаљских и свемирских интерферометара. Због тога они представљају главни предмет изучавања нове гране астрономије која је у повоју - астрономије гравитационих таласа. У оквиру нашег пројекта планирана су изучавања еволуције, акреције и сједињавања двојних супермасивних црних рупа (укључујући и одговарајућу емисију гравитационих таласа), као и галаксија у судару у којима се оне формирају.

4. ИСТРАЖИВАЧКИ ТИМ ПРОЈЕКТА 176003

Наш пројекат окупља седам истраживача (видети слику 3) од којих су шест доктора наука и један студент докторских студија и то:

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

Сарадници пројекта објавили су 5 радова у врхунским часописима међународног значаја, 2 рада у истакнутим часописима међународног значаја, 4 рада у часописима међународног значаја, 1 рад у водећем часопису националног значаја, 4 рада у часописима националног значаја, као и више апстарака са међународних и домаћих конференција. Укупно, сарадници пројекта објавили су 24 библиографске јединице везане за пројекат.



Слика 3: Истраживачки тим: Предраг Јовановић (седи у првом реду), Лука Поповић (први с лева), Наташа Бон, (друга с лева), Еди Бон (трећи с лева), Душко Борка, (четврти с лева), Весна Борка Јовановић (друга с десна), Марко Сталевски (први с десна).

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 оквиру пројекта, у 2010, 2011 и 2012. години су остварени следећи резултати:

1) У склопу изучавања структуре барионске материје, испитиване су елементарне честице које су данас у фази интензивних експерименталних и теоријских изучавања у светским центрима. На основу података међународне колаборације "Група за податке о честицама" ("*Particle Data Group*", <http://pdg.lbl.gov>) процењена је маса конститутивних кваркова који чине основне градивне елементе барионске материје. Из ове области је објављен један рад у међународном часопису (V. Borka Jovanović, S. R. Ignjatović, D. Borka, P. Jovanović, 2010, *Physical Review D*, 82, 117501). Да би се објаснила нова експериментално детектована стања урађена је систематска анализа стања скаларних тетракваркова који садрже *c*-кварк. Објављен је рад у часопису међународног значаја (V. Borka Jovanović, D. Borka, 2012, *Romanian Journal of Physics*, у штампи).

2) Настављена су претходна истраживања централних супермасивних црних рупа у галаксијама и квазарима, при чему су та истраживања проширена и на радио лобове код удаљених активних галактичких језгара. Из ове области су објављена три рада у међународним часописима (P. Jovanović, V. Borka Jovanović, D. Borka, 2011, *Baltic Astronomy*, 20, 468; P. Jovanović, 2012, *New Astronomy Reviews*, 56, 37; L. Ѓ. Popović, P. Jovanović, M. Stalevski, S. Anton, A. H. Andrei, J. Kovačević, M. Baes, 2012, *Astronomy & Astrophysics*, 538, 107);

3) Унапређен је постојећи модел за главни покретачки механизам активних галаксија и квазара (акреција материје у централну супермасивну црну рупу у виду акреционог диска), тако што је у тај модел укључен и торус прашине који окружује акрециони диск. Из ове области су, као резултат сарадње са др Мартеном Баесом са опсерваторије Универзитета у Генту, Белгија, објављена три рада у међународним часописима (M. Stalevski, J. Fritz, M. Baes, T. Nakos, L. Ѓ. Popović, 2011, *Baltic Astronomy*, 20, 490; M. Baes, J. Verstappen, I. De Looze, J. Fritz, W. Saftly, E. V. Perez, M. Stalevski, S. Valcke, 2011, *The Astrophysical Journal Supplement*, 196, 22; M. Stalevski, J. Fritz, M. Baes, T. Nakos, Luka Ѓ. Popović, 2012, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 420, 2756). Такође, приведено је крају и писање једног рада који је послат у водећи међународни часопис, а у коме се изучава утицај

гравитационих сочива на инфрацрвено зрачење емитовано из торуса прашине.

4) У циљу свеобухватнијег изучавања структуре и расподеле материје на великим скалама, као и њеног зрачења у различитим спектралним областима, покренута су истраживања радио емисије великих галактичких петљи, као и остатака супернових. Из ове области су објављена два рада у међународним часописима (D. Urošević, V. Borka Jovanović, 2011, *Open Astronomy Journal*, 4, 218; D. Borka, V. Borka Jovanović, D. Urošević, 2012, *Revista Mexicana de Astronomia y Astrofisica*, 48, 53);

5) Проучаване су неке могуће последице недавно откривених неслагања хипотезе о тамној материји са посматрањима, као што је то случај код барионске Тали-Фишерове релације за галаксије богате гасом, а такође и потенцијалне алтернативе тамној материји, као што су МОНД и модификована гравитација и њихове последице на пертурбована кретања звезда око супермасивне црне рупе у центру наше Галаксије. Објављен је један рад у међународном часопису (P. Jovanović, 2012, *Romanian Journal of Physics*, у штампи);

6) Започета је сарадња са др Тамаром Богдановић са одсека за астрономију Универзитета у Мериленду, САД, као и са др Александром Захаровим са Института за теоријску и експерименталну физику из Москве, Русија, а током њихових боравака у Београду развијени су софтверски алати, добијени прелиминарни резултати и започето писање два рада за међународне часописе из области везаних за изучавање сједињавања двојних супермасивних црних рупа и модификованих теорија гравитације. Као резултат ове сарадње објављен је рад у међународном часопису (D. Borka, P. Jovanović, V. Borka Jovanović, A. F. Zakharov, *Physical Review D*, 2012, у штампи);

7) Сарадник на пројекту, др Наташа Бон је успешно одбранила своју докторску дисертацију под називом "The Contribution of Stellar Populations to AGN Spectra".

Ово су само најважнији резултати а остало се може видети из библиографије објављених радова која је дата у следећем поглављу.

**БИБЛИОГРАФИЈА НАУЧНИХ РАДОВА САРАДНИКА ПРОЈЕКТА
176003 У ПЕРИОДУ 2010-2012**

Радови у врхунским часописима међународног значаја - M21

1. V. Borka Jovanović, S. R. Ignjatović, D. Borka, P. Jovanović, *Constituent quark masses obtained from hadron masses with contributions of Fermi-Breit and Glazman-Riska hyperfine interactions*, Physical Review D **82**, 117501 (2010).
2. M. Baes, J. Verstappen, I. De Looze, J. Fritz, W. Saftly, E. Vidal Perez, M. Stalevski, S. Valcke, *Efficient Three-dimensional NLTE Dust Radiative Transfer with SKIRT*, The Astrophysical Journal Supplement **196**, 22 (2011).
3. L. Č. Popović, P. Jovanović, M. Stalevski, S. Anton, A. H. Andrei, J. Kovačević, M. Baes, *Photocentric variability of quasars caused by variations in their inner structure. Consequences for GAIA measurements*, Astronomy & Astrophysics **538**, 107 (2012).
4. D. Borka, P. Jovanović, V. Borka Jovanović, A. F. Zakharov, *Constraints on R^n gravity from precession of orbits of S2-like stars*, Physical Review D, у штампи (2012).
5. M. Stalevski, J. Fritz, M. Baes, T. Nakos, Luka Č. Popović, *3D radiative transfer modelling of the dusty tori around active galactic nuclei as a clumpy two-phase medium*, Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, **420**, 2756 (2012).

Радови у истакнутим часописима међународног значаја - M22

1. P. Jovanović, *The broad Fe Ka line and supermassive black holes*, New Astronomy Reviews **56**, 37 (2012).
2. D. Borka, V. Borka Jovanović, D. Urošević, *Spectra of the HB 21 supernova remnant: Evidence of spectrum flattening at the low frequencies*, Revista Mexicana de Astronomia y Astrofisica **48**, 53 (2012).

Радови у часописима међународног значаја - M23

1. M. Stalevski, J. Fritz, M. Baes, T. Nakos, L. Č. Popović, *AGN dusty tori as a clumpy two-phase medium: the 10 μm silicate feature*, Baltic Astronomy **20**, 490 (2011).
2. P. Jovanović, V. Borka Jovanović, D. Borka, *Influence of black hole spin on the shape of the Fe Ka spectral line*, Baltic Astronomy **20**, 468 (2011).
3. P. Jovanović, *Recent observational challenges to dark matter paradigm*, Romanian Journal of Physics, у штампи (2012).
4. V. Borka Jovanović, D. Borka, *Mass formulas for single-charm tetraquarks with Fermi-Breit hyperfine interaction*, Romanian Journal of Physics, у штампи (2012).

Радови на скуповима међународног значаја штампани у изводима - М34

1. P. Jovanović, V. Borka Jovanović, D. Borka, *Influence of black hole spin on the shape of the Fe α spectral line*, Book of abstracts of the VIII Serbian Conference on Spectral Line Shapes in Astrophysics, Divčibare, Serbia, June 6-10, p. 51 (2011).
2. V. Borka Jovanović, D. Borka, *Mass formulas for single-charm tetraquarks with Fermi-Breit hyperfine interaction*, Book of Short Contributions, Balkan Summer Institute - BSI2011, Niš - Donji Milanovac, Serbia, August 19 - September 1, p. 53 (2011).
3. P. Jovanović, *Recent observational challenges to dark matter paradigm*, Book of Short Contributions, Balkan Summer Institute - BSI2011, Niš - Donji Milanovac, Serbia, August 19 - September 1, (2011).
4. V. Borka Jovanović, *Estimation of brightnesses and spectral indices of radio loops*, Book of abstracts of the XVI National Conference of Astronomers of Serbia, Belgrade, Serbia, October 10-12, p. 30 (2011).
5. N. Bon, *The contribution of stellar populations in AGN spectra*, Book of abstracts of the XVI National Conference of Astronomers of Serbia, Belgrade, Serbia, October 10-12, p. 60 (2011).
6. M. Stalevski, P. Jovanović, L. Č. Popović, M. Baes, T. Jakšić, *Microlensing of infrared radiation from AGN dusty tori*, Book of abstracts of the XVI National Conference of Astronomers of Serbia, Belgrade, Serbia, October 10-12, p. 62 (2011).
7. E. Bon, *Hidden emission of accretion disk in broad line region of active galaxies*, Book of abstracts of the XVI National Conference of Astronomers of Serbia, Belgrade, Serbia, October 10-12, p. 63 (2011).
8. V. Borka Jovanović, D. Borka, R. Skeoch, P. Jovanović, *Spectral index distribution of radio AGNs: case study of 3C 349*, Book of abstracts of the XVI National Conference of Astronomers of Serbia, Belgrade, Serbia, October 10-12, p. 65 (2011).

Радови у водећим часописима националног значаја - М51

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

Радови у часописима националног значаја - М52

1. V. Borka Jovanović, *Estimation of brightnesses and spectral indices of radio loops*, Publications of the Astronomical Observatory of Belgrade, у штампи (2012).
2. N. Bon, *The contribution of stellar populations in AGN spectra*, Publications of the Astronomical Observatory of Belgrade, у штампи (2012).

3. M. Stalevski, P. Jovanović, L. Č. Popović, M. Baes, T. Jakšić, *Microlensing of infrared radiation from AGN dusty tori*, Publications of the Astronomical Observatory of Belgrade, у штампи (2012).
4. V. Borka Jovanović, D. Borka, R. Skeoch, P. Jovanović, *Spectral index distribution of radio AGNs: case study of 3C 349*, Publications of the Astronomical Observatory of Belgrade, у штампи (2012).

Одбрањена докторска дисертација М71

N. Bon, 2011, *The contribution of stellar populations to AGN spectra*.

Семинари

1. Предраг Јовановић, "О тамној страни космоса", Центар за културу Смедерево, Смедерево, 15. новембар 2011.
2. Предраг Јовановић, "Гравитациона сочива и посматрачка космологија", канцеларија SEENET-MTP (*Southeastern european Network in Mathematical and Theoretical Physics*) мреже, Природно-математички факултет у Нишу, Ниш, 23. фебруар 2012.
3. Предраг Јовановић, "Ефекти гравитације на космолошким скалама", семинар Катедре за астрономију, Математички факултет, Београд, 24. април 2012.
4. Предраг Јовановић, "Гравитационе појаве на космолошким скалама", Циклус АСТРОНОМИЈА – ОД ПОСМАТРАЊА ЗВЕЗДА ДО НАЈФУНДАМЕНТАЛНИЈИХ ПИТАЊА, поводом 125 година Астрономске опсерваторије у Београду, Задужбина Илије М. Коларца, Београд, 31. мај 2012.

Награде и признања

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

Захвалница.

Овај рад је урађен у оквиру пројекта 176003 "Гравитација и структура космоса на великим скалама", финансиран од стране Министарства за образовање и науку Републике Србије.

GRAVITATIONAL LENSES AND BLACK HOLES RESEARCHES AT THE ASTRONOMICAL OBSERVATORY (2010-2011)

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 2011-2014 period and is supported by Ministry of education and science of the Republic of Serbia.