

НАУЧНОМ ВЕЋУ ИНСТИТУТА ЗА ФИЗИКУ У БЕОГРАДУ

Извештај комисије за избор др Петра Тадића у звање научни сарадник

На седници Научног већа Института за физику у Београду одржаној 07.03.2023. именовани смо у комисију за избор др Петра Тадића у звање научни сарадник.

Прегледом материјала који нам је достављен, као и на основу личног познавања кандидата и увида у његов рад и публикације, Научном већу Института за физику у Београду подносимо овај извештај.

1. БИОГРАФСКИ И СТРУЧНИ ПОДАЦИ О КАНДИДАТУ

Петар Тадић је рођен 29.7.1994. у Никшићу, у Црној Гори, где је завршио Основну школу „Милева Лајковић-Лалатовић“ и Гимназију „Стојан Церовић“. Основне академске студије на Физичком факултету Универзитета у Београду, смер Теоријска и експериментална физика, завршио је 2017. године са просечном оценом 10,00. Мастер академске студије је завршио 2018. године на Универзитету у Оксфорду. Мастер рад на тему „*Quasinormal modes of black branes*“ („Квазинормалне моде црних брана“) урадио је под менторством др Андреја Старинеца. По завршетку мастер академских студија, уписао је докторске студије на Математичком факултету Тринити колеџа у Даблину, у Ирској. Докторску дисертацију на тему „*Conformal bootstrap and thermalization in holographic CFTs*“ („Конформални бутстрап и термализација у холографским конформалним теоријама поља“) урадио је под менторством др Мануеле Кулакиси, а одбранио је августу 2021. године. Диплома докторских студија призната је од стране Агенције за квалификације Републике Србије 12.1.2023. године, решење број 612-03-27/2023-03.

Током основних студија, лета 2015, 2016. и 2017. године радио је стручну праксу на Институту за физику у Београду у Лабораторији за примену рачунара у науци и у Групи за гравитацију, честице и поља. Током докторских студија, 2019. и 2020. године радио је као асистент-демонстратор на курсевима Статистичка физика 1 и 2, на основним академским студијама Тринити колеџа у Даблину. По завршетку докторских студија, од септембра 2021. године запослен је као научни сарадник на постдокторском усавршавању на Универзитету Јејл у Сједињеним Америчким Државама под руководством др Дејвида Поланда. На овој позицији изучава примене конформног бутстрапа у решавању конформних теорија поља.

Током средње школе учествовао је на три Међународне физичке олимпијаде за ученике средњих школа (IPhO) 2011, 2012. и 2013. године где је два пута освојио бронзану медаљу. Године 2012. добио је награду Министарства науке Црне Горе за најбољег младог научника. Током основних студија био је добитник стипендије „Проф. др Ђорђе Живановић“ за изузетне резултате, додељене од стране Физичког факултета и Института за физику у Београду, као и стипендије „Србија за Србе из региона“, додељене од стране Министарства просвете, науке и технолошког развоја Републике Србије. Током мастер студија био је добитник стипендије Дулвертон фондације намењене најбољим студентима из источне и централне Европе за студије на Универзитету у Оксфорду. Током докторских студија био је стипендиста Ушер фондације.

Кандидат је до сада објавио осам научних радова. Радови су до сада цитирани 163 пута, не рачунајући аутоцитате.

2. ПРЕГЛЕД НАУЧНЕ АКТИВНОСТИ

У досадашњем научном раду кандидат се примарно бавио темама из области конформне теорија поља, квантне гравитације и релативистичке хидродинамике. Методолошки приступ кандидата чине теоријска изучавања и нумерички прорачуни.

Током докторских студија кандидат се бавио изучавањем холографских конформних теорија поља које за финални циљ има разумевање квантне гравитације. На основу холографске хипотезе (AdS/CFT дуалност) овакве теорије су еквивалентне гравитационим теоријама у Анти-де Ситеровом простору, иако не поседују експлицитне гравитационе степене слободе. Дефинисане су као конформне теорије поља са централним наелектрисањем много већим од један где сви примарни оператори спина већег од два имају конформне димензије много веће од један. Да би се разумели ефекти квантне гравитације, неопходно је прво разумети дуализам на семикласичном нивоу. Тада је дуална конформна теорија јако куплована и није могуће применити пертурбативану анализу.

Резултати кандидата су представљени у следећим публикацијама категорија M20:

- Sašo Grozdanov, Pavel K. Kovtun, Andrei O. Starinets, and **Petar Tadić**, [Convergence of the Gradient Expansion in Hydrodynamics](#). Phys. Rev. Lett. 122, 251601 (2019).
DOI: 10.1103/PhysRevLett.122.251601
M21a, IF(2019)=8.57, SNIP(2019)=2.50.
- Robin Karlsson, Manuela Kulaxizi, Andrei Parnachev, and **Petar Tadić**, [Black holes and conformal Regge bootstrap](#). J. High Energ. Phys. 2019, 46 (2019).
DOI: 10.1007/JHEP10(2019)046
M21, IF(2019)=5.47, SNIP(2019)=1.30.
- Sašo Grozdanov, Pavel K. Kovtun, Andrei O. Starinets, and **Petar Tadić**, [The complex life of hydrodynamic modes](#). J. High Energ. Phys. 2019, 97 (2019).
DOI: 10.1007/JHEP11(2019)097
M21, IF(2019)=5.47, SNIP(2019)=1.30.
- Robin Karlsson, Manuela Kulaxizi, Andrei Parnachev, and **Petar Tadić**, [Leading multi-stress tensors and conformal bootstrap](#). J. High Energ. Phys. 2020, 76 (2020).
DOI: 10.1007/JHEP01(2020)076
M21, IF(2020)=5.32, SNIP(2020)=1.23.
- Robin Karlsson, Manuela Kulaxizi, Andrei Parnachev, and **Petar Tadić**, [Stress tensor sector of conformal correlators](#). J. High Energ. Phys. 2020, 19 (2020).
DOI: 10.1007/JHEP07(2020)019
M21, IF(2020)=5.32, SNIP(2020)=1.23.
- Robin Karlsson, Andrei Parnachev, and **Petar Tadić**, [Thermalization in large-N CFTs](#). J. High Energ. Phys. 2021, 205 (2021).
DOI: 10.1007/JHEP09(2021)205
M21, IF(2021)=5.62, SNIP(2021)=1.27.
- Sašo Grozdanov, Andrei O. Starinets, and **Petar Tadić**, [Hydrodynamic dispersion relations at finite coupling](#). J. High Energ. Phys. 2021, 180 (2021).
DOI: 10.1007/JHEP06(2021)180
M21, IF(2021)=5.62, SNIP(2021)=1.27.
- Robin Karlsson, Manuela Kulaxizi, Gim Seng Ng, Andrei Parnachev, and **Petar Tadić**, [CFT correlators, W-algebras and generalized Catalan numbers](#). J. High Energ. Phys. 2022, 162 (2022).
DOI: 10.1007/JHEP06(2022)162
M21, IF(2021)=5.62, SNIP(2021)=1.27.

Кандидат се бавио аналитичким решавањем јако куплованих холографских конформних теорија поља користећи непертурбативне услове конзистентности и анализом датих решења из перспективе дуалних гравитационих теорија. Резултати истраживања објављени су у четири рада:

- Robin Karlsson, Manuela Kulaxizi, Andrei Parnachev, and **Petar Tadić**, [Black holes and conformal Regge bootstrap](#). J. High Energ. Phys. 2019, 46 (2019). (врхунски међународни часопис - категорија M21)
- Robin Karlsson, Manuela Kulaxizi, Andrei Parnachev, and **Petar Tadić**, [Leading multi-stress tensors and conformal bootstrap](#). J. High Energ. Phys. 2020, 76 (2020). (врхунски међународни часопис - категорија M21)
- Robin Karlsson, Manuela Kulaxizi, Andrei Parnachev, and **Petar Tadić**, [Stress tensor sector of conformal correlators](#). J. High Energ. Phys. 2020, 19 (2020). (врхунски међународни часопис - категорија M21)
- Robin Karlsson, Andrei Parnachev, and **Petar Tadić**, [Thermalization in large-N CFTs](#). J. High Energ. Phys. 2021, 205 (2021). (врхунски међународни часопис - категорија M21)

У првом раду кандидат је изучавао Реге лимес корелатора два пара идентичних скаларних оператора у холографским конформним теоријама поља, од којих један пар има конформну димензију много већу од један, реда централног наелектрисања дате теорије. Овај лимес се у гравитационој теорији може интерпретирати као расејање високоенергетске честице на црној рупи са фиксираним параметром судара. Кандидат је показао је да једнакост између фазног помака расејане честице у гравитационој теорији и аномалне димензије оператора дуплог твиста у холографској конформној теорији поља важи у вишим редовима развоја аномалне димензије по степенима инверзног централног наелектрисања.

У другом раду изучаван је исти корелатор у холографским теоријама поља у простор-времену које има више од две димензије, међутим сада у лимесу када се један од четири скаларна оператора приближава светлосном конусу другог скаларног оператора. Кандидат је показао да у овом лимесу, доминантан допринос корелатору дају размењени примарни оператори минималног твиста, који је дефинисан као разлика конформне димензије и спина примарног оператора. Битну класу оператора минималног твиста чине одржане струје, пре свега стрес-тензор. Производи више стрес-тензора такође дају примарне операторе минималног твиста за дату конформну димензију, под условом да се индекси исправно симетризују и да се не контрахују. У овом раду су изучени доприноси свих оператора минималног твиста добијених од стрес-тензора и нађен је егзактни аналитички израз који сумира бесконачан број ових оператора у сваком реду у развоју по степенима инверзног централног наелектрисања. Показано је да су коефицијенти развоја операторског производа између мулти-стрес-тензора минималног твиста и два идентична скаларна оператора одређени условима конзистенције холографске конформне теорије и самим тим не зависе од избора конкретне теорије. У трећем раду кандидат је проширио разматрање на све операторе који се могу написати као производи стрес-тензора. Нађен је аналитички облик збира свих оператора фиксног твиста и показано је да једини коефицијенти развоја операторског производа који нису фиксирани условима конзистенције јесу они за мулти-стрес-тензоре спина нула и два. Закључено је да ови коефицијенти параметризују холографске конформне теорије поља.

У четвртном раду кандидат је разматрао термализацију мулти-стрес-тензора произвољног спина у конформним теоријама поља са централним наелектрисањем много већим од један. Показано је да је термализација ових оператора еквивалентна универзалности

кофицијената развоја операторских производа датих оператора са два идентична скаларна оператора велике конформне димензије. Експлицитно је показано да је ова универзалност задовољена поређењем кофицијената израчунатих у слободној и у холографској теорији. Такође је показано да мулти-стрес-тензори задовољавају дијагонални део хипотезе термализације својствених вредности (eigenstate thermalization).

У оквиру исте научне области кандидат се бавио и генерализацијом метода коришћеног за дводимензионе конформне теорије на стрес-тензоре минималног твиста у вишедимензионим конформним теоријама, будући да су њихови кофицијенти операторског развоја универзални на исти начин као и кофицијенти оператора у Виразоровом блоку јединичног оператора у дводимензионој конформној теорији поља. Испоставља се да је Виразоров блок јединичног оператора одређен Каталановим бројевима у одређеном лимесу. Коришћењем рекурзивне релације за Каталанове бројеве кандидат је извео диференцијалну једначину чије је решење Виразоров блок јединичног оператора. У вишедимензионом случају, показао је да се уместо Каталанових бројева јавља њихова генерализација у виду броја линеарних екстензија одређеног типа парцијално уређених скупова. Кандидат је такође изучавао и генерализације Виразорове алгебре у две димензије, конкретно конформни блок јединичног оператора W_3 алгебре и његове везе са доприносима мулти-стрес-тензора минималног твиста у четвородимензионим просторвремену:

- Robin Karlsson, Manuela Kulaxizi, Gim Seng Ng, Andrei Parnachev, and **Petar Tadić**, [CFT correlators, W-algebras and generalized Catalan numbers](#). J. High Energ. Phys. 2022, 162 (2022). (врхунски међународни часопис - категорија M21)

Кандидат се бавио и релативистичком хидродинамиком јако куплованих система методама AdS/CFT дуалности. У овом приступу идеја је да се користи семикласични гравитациони дуал јако купловане теорије поља како би се изучавала динамика јако купловане теорије без гравитационих степени слободе. У оквиру ове области кандидат је објавио три рада:

- Sašo Grozdanov, Pavel K. Kovtun, Andrei O. Starinets, and **Petar Tadić**, Convergence of the Gradient Expansion in Hydrodynamics. Phys. Rev. Lett. 122, 251601 (2019). (међународни часопис изузетних вредности - категорија M21a)
- Sašo Grozdanov, Pavel K. Kovtun, Andrei O. Starinets, and **Petar Tadić**, The complex life of hydrodynamic modes. J. High Energ. Phys. 2019, 97 (2019). (врхунски међународни часопис - категорија M21)
- Sašo Grozdanov, Andrei O. Starinets, and **Petar Tadić**, Hydrodynamic dispersion relations at finite coupling. J. High Energ. Phys. 2021, 180 (2021). (врхунски међународни часопис - категорија M21)

У првом раду показано је да је радијус конвергенције хидродинамичке дисперзионе релације одређен позицијом критичних тачака придружене спектралне криве у комплексној равни импулса, које се поклапају са позицијом судара хидродинамичких мода са не-хидродинамичким модама. Нумерички су израчунати радијуси конвергенције хидродинамичких мода у $N=4$ супер-Јанг-Милс теорији у четири просторно-временске димензије. У другом раду је ова анализа проширена на гравитационе теорије у простор-временима са другим бројем димензија. У трећем раду разматрана је зависност радијуса конвергенције хидродинамичких мода од инверзне константе купловања теорије и показано је ова зависност није монотона функција у случају $N=4$ супер-Јанг-Милс теорије.

3. ЕЛЕМЕНТИ ЗА КВАЛИТАТИВНУ ОЦЕНУ НАУЧНОГ ДОПРИНОСА КАНДИДАТА

3.1. Квалитет научних резултата

Кандидат је у досадашњој каријери објавио 8 научних радова, од чега један рад категорије M21a и 7 радова категорије M21. Своја истраживања је представио и на једној конференцији, тј. остварио је један допринос категорије M34.

3.1.1. *Научни ниво и значај резултата, утицај научних радова*

Сви радови кандидата су објављени у врхунским међународним часописима, од тога један рад у врхунском међународном часопису изузетних вредности. Укупан број М бодова кандидата је 72.5, а нормирани број 66.2, што значајно превазилази минималне захтеве за звање научног сарадника.

До сада најутицајнији рад кандидата је:

- Robin Karlsson, Manuela Kulaxizi, Andrei Parnachev, and **Petar Tadić**, [Stress tensor sector of conformal correlators](#). J. High Energ. Phys. 2020, 19 (2020). DOI: 10.1007/JHEP07(2020)019

У овом раду кандидат разматра све доприносе стрес-тензор сектора корелатору са четири скаларна оператора од којих два имају конформне димензије реда централног наелектрисања холографске конформне теорије поља. Кандидат је нашао аналитички облик за суме доприноса мулти-стрес-тензора фиксног твиста и показао да сви коефицијенти развоја операторског производа могу бити израчунати из услова конзистентности конформне теорије, осим оних за мулти-стрес-тензоре спина нула и два. Такође је показао како коефицијенти развоја операторског производа мулти-стрес-тензора спина два могу бити израчунати у дуалној гравитационој теорији разматрањем фазног помака честице расејане на црној рупи. Кандидат је добио све резултате објављене у овом раду и водио интерпретацију и дискусију резултата, као и писање рада.

За даља истраживања је од значаја сличност аналитичког облика збира доприноса мулти-стрес тензора и збира доприноса Виразорових наследника јединичног оператора корелатору у дводимензионим конформним теоријама поља, коју је кандидат пронашао и описао. Поставио је и питање постојања алгебре Виразоровог типа у вишедимензионим конформним теоријама (која би се манифестовала у лимесу светлосног конуса). Један од кандидата за дату алгебру је W_3 алгебра која је изучавана од стране кандидата у једном каснијем раду. Под утицајем овог рада кандидата, питање постојања алгебре Виразоровог типа у вишедимензионим конформним теоријама поља је и касније изучавано у литератури од стране више аутора и за сада није пронађен пример алгебре која би задовољила све услове и дала аналитички облик стрес-тензорских доприноса непертурбативно по инверзном централном наелектрисању.

3.1.2. *Цитираност научних радова кандидата*

Према подацима о цитираности аутора изведених из базе *Web of Science* 01.2.2023., радови чији је кандидат ко-аутор цитирани су 174 пута, од чега 163 пута без аутоцитата, а Хиршов фактор је 6.

3.1.3. Параметри квалитета радова и часописа

Кандидат је објавио 8 радова у часописима:

- 7 радова у часопису *Journal of High Energy Physics* (ISSN: 1029-8479), категорија M21, IF(2021)=5.62, SNIP(2021)=1.27;
- 1 рад у часопису *Physical Review Letters* (ISSN: 0031-9007), категорија M21a, IF(2019)=8.57, SNIP(2019)=2.50.

Додатни библиометријски показатељи квалитета часописа у којима је кандидат објављивао радове приказани су у табели:

	ИФ	М	СНИП
Укупно	47.91	66	11.39
Усредњено по чланку	5.99	8.25	1.42
Усредњено по аутору	12.63	17.43	3.00

3.1.4. Степен самосталности и степен учешћа у реализацији радова у научним центрима у земљи и иностранству

Кандидат је водећи аутор на четири објављена рада, којима је дао кључни допринос у погледу дефинисања проблема, иницијалне теоријске анализе, нумеричких и аналитичких прорачуна, интерпретације резултата и писања рада. Наведени радови су:

- Robin Karlsson, Manuela Kulaxizi, Andrei Parnachev, and **Petar Tadić**, [Stress tensor sector of conformal correlators](#). *J. High Energ. Phys.* 2020, 19 (2020).
- Robin Karlsson, Andrei Parnachev, and **Petar Tadić**, [Thermalization in large-N CFTs](#). *J. High Energ. Phys.* 2021, 205 (2021).
- Robin Karlsson, Manuela Kulaxizi, Gim Seng Ng, Andrei Parnachev, and **Petar Tadić**, [CFT correlators, W-algebras and generalized Catalan numbers](#). *J. High Energ. Phys.* 2022, 162 (2022).
- Sašo Grozdanov, Andrei O. Starinets, and **Petar Tadić**, [Hydrodynamic dispersion relations at finite coupling](#). *J. High Energ. Phys.* 2021, 180 (2021).

Редослед аутора на радовима је одређен алфабетски, не према доприносу аутора. На осталим радовима кандидат је значајно допринео иницијалној теоријској анализи, нумеричким и аналитичким прорачунима и интерпретацији резултата.

Кандидат је већину досадашњих научних активности обављао на Тринити колеџу у Даблину у Ирској и Јејл универзитету у Сједињеним Америчким Државама. Кроз наведене доприносе остварио је сарадњу, између осталог, са истраживачима са Универзитета у Оксфорду и Универзитета у Единбургу у Уједињеном Краљевству, Универзитета у Љубљани у Словенији и Универзитета у Викторији у Канади.

3.2. Ангажованост у формирању научних кадрова

Као студент докторских студија, током 2019. и 2020. године кандидат је радио као асистент-демонстратор на курсевима Статистичка физика 1 и 2, на основним академским студијама Тринити колеџа у Даблину.

3.3. Нормирање броја коауторских радова, патената и техничких решења

Од 8 радова, 3 рада су нумерички прорачуни од којих један има три аутора, а два имају по 4 аутора, тако да се сва три рада рачунају са пуним бројем бодова. Осталих 5 радова су теоријски радови, један од њих има три аутора, па се рачуна са пуним бројем бодова, а на осталим радовима бодови се нормирају. Укупан број М бодова је 66, а нормирани број је 60.

3.4. Активност у научним и научно-стручним друштвима

3.4.1 Рецензије научних радова

Кандидат је рецезент у два научна часописа: *Journal of High Energy Physics* и *Nuclear Physics, Section B*.

3.5. Утицај научних резултата

Утицај научних резултата огледа се у подацима о цитираности, наведеним у секцији 3.1.2.

Кандидат је одржао и 7 семинара по позиву на којима је представио своје научне резултате, на Тринити колеџу у Даблину 2019. године, Универзитету у Љубљани 2020. године, Holotube Junior 2020 серији предавања, Институту за физику у Београду и Јејл универзитету у САД 2021. године, Универзитету у Оксфорду и Универзитету у Бостону 2022 године.

3.6. Конкретан допринос кандидата у реализацији радова у научним центрима у земљи и иностранству

Кандидат је водећи аутор на 4 објављена рада, којима је дао кључан допринос у погледу дефинисања проблема, иницијалне теоријске анализе, нумеричких и аналитичких прорачуна, интерпретације резултата и писања рада.

Кандидат је већину досадашњих научних активности обављао на Тринити колеџу у Даблину у Ирској, као студент докторских студија и Јејл универзитету у Сједињеним Америчким Државама, на постдокторском усавршавању.

4. ЕЛЕМЕНТИ ЗА КВАНТИТАТИВНУ ОЦЕНУ НАУЧНОГ ДОПРИНОСА КАНДИДАТА

Остварени резултати кандидата:

Категорија	М бодова по раду	Број радова	Укупно М бодова	Нормирани број М бодова
M21a	10	1	10	10
M21	8	7	56	49.7
M34	0.5	1	0.5	0.5
M70	6	1	6	6

Поређење са минималним квантитативним резултатима за избор у звање научни сарадник:

Минимални број М бодова	Неопходно	Остварено, број М бодова без нормирања	Остварено, нормирани број М бодова
Укупно	16	72.5	66.2
M10+M20+M31+M32+M33+M41+M42+M90	10	66	59.7
M11+M12+M21+M22+M23	6	66	59.7

5. ЗАКЉУЧАК

На основу анализе научне активности и показатеља рада кандидата, комисија је закључила да научни рад др Петра Тадића представља оригиналан допринос у области физике високих енергија, а пре свега на пољу AdS/CFT кореспонденције, конформне теорије поља и конформног бутстрапа. Посебно треба истаћи његове резултате у повезивању формализма конформне теорије поља са другим областима, који би били од великог значаја при сарадњи са колегама са Института за физику у Београду, а такође и континуирану сарадњу кандидата са иностраним стручњацима. Имајући у виду досадашњи научни рад и постигнуте резултате кандидата, као и достигнути ниво истраживачке компетентности и самосталности, сматрамо да др Петар Тадић испуњава све квантитативне и квалитативне услове за избор у звање научни сарадник прописане Правилником о стицању истраживачких и научних звања Министарства науке, технолошког развоја и иновација. На основу наведеног, предлагемо Научном већу Института за физику у Београду да донесе одлуку о прихватању предлога за избор др Петра Тадића у звање научни сарадник.

У Београду, 08.03.2023.

Чланови комисије :



др Милица Миловановић
научни саветник
Институт за физику у Београду



др Михаило Чубровић
научни сарадник
Институт за физику у Београду



проф. др Марија Димитријевић Ћирић
редовни професор
Физичког факултета Универзитета у Београду