

Рад.јед.	б р о ј	Арх.шифра	Прилог
0801	234/3		

## Научном већу Института за физику у Београду

На седници Научног већа Института за физику у Београду одржаној 04. 03. 2025. године изабрани смо у комисију за избор др Михаила Чубровића у звање вуши научни сарадник. Прегледом приложеног материјала, као и на основу личног познавања кандидата и увида у његов рад и досада објављене научне резултате, подносимо Научном већу следећи

### ИЗВЕШТАЈ

#### 1. Биографски и стручни подаци

Михаило Чубровић је рођен 04. 05. 1985. године у Београду, где је завршио основну школу „Деспот Стефан Лазаревић” и Математичку гимназију. Основне академске студије на Физичком факултету, смер Теоријска и експериментална физика, завршио је 2008. године са просечном оценом 9,85. Дипломски рад на тему "On topological defects in quantum and classical glass systems" (О тополошким дефектима у класичним и квантним стакленим системима) урадио је под менторством др Милана Петровића, научног саветника Института за физику у Београду. Од 2003. године до завршетка студија је био стипендиста Министарства за науку.

По завршетку академских студија, уписао је докторске студије из области физике на Лоренцовом институту Универзитета у Лајдену, Холандија. Докторску дисертацију на тему "Holography, Fermi surfaces and criticality" (Холографија, Фермијеве површи и критичност) урадио је под менторством др Јана Занена (Jan Zaanen) и др Кунрада Схалма (Koenraad Schalm), а одбранио је у фебруару 2013. године. Диплома докторских студија је нострификована јануара 2017. године, решењем Министарства просвете, науке и технолошког развоја бр. 612-01-02635/2016-06. У току докторских студија био је запослен као млађи истраживач на Лоренцовом институту, и као асистент у настави на Универзитету у Лајдену.

По завршетку доктората, боравио је на постдоку на Универзитету у Келну, у групи др Ахима Роша (Achim Rosch). У току постдокторског усавршавања био је такође запослен као асистент у настави. Од 2017. године ради у Институту за физику у Београду, у Центру за изучавање комплексних система.

У периоду 2020-2022. године био је учесник пројекта "Cold atoms, Hubbard model and holography: the key to strange metals" (Key2SM) Фонда за науку Републике Србије. Током докторских студија био је добитник награде "Trots op" за научни рад на Универзитету у Лајдену. Био је ментор мастер студентима Владану Гецину, Николи Савићу, Владану Ђукићу и Драгану Марковићу. Такође је ментор докторским студентима Владану Гецину и Владану Ђукићу.

Учествовао је и презентовао своје резултате на више конференција и радионица. Михаило Чубровић имае 21 публикацију, од тога један рад у престижном часопису Science (класификован као "Highly cited paper" у бази података Web of Science). Укупно је објавио два рада у часописима категорије M21a, 16 радова у часописима категорије M21, један рад у часопису категорије M22, један рад у часопису категорије M24 и једно поглавље у зборнику водећег међународног значаја M13. Његови радови су у другим радовима цитирани укупно 502 пута без самоцитата, а Хиршов индекс износи 7 (подаци базе WoS од 19. јануара 2025).

#### 2. Преглед научне активности

Научно-истраживачки рад др Михаила Чубровића је на прелазу из области физике високих енергија и кондензоване материје, а фокусиран је на тремеђу теорије струна, нелинеарне динамике

и јако корелисаних квантних многочестичних система. Основна формална нит свих ових области је AdS/CFT кореспонденција (холографија, холографска дуалност), која се примењује с једне стране на црне рупе и њихову термодинамику и информационе проблеме а с друге стране на холографске јако купловане теорије поља као што су не-Фермијеве течности, чудни метали и квантно-критичне фазе холографски моделираних система. Ради поређења и бољег физичког разумевања, и хаос и јако корелисани системи су такође проучавани директно методама теорије поља, у нискоенергетским системима (кондензовано стање, нелинеарна оптика). Према наведеном, радови кандидата могу се поделити у следеће подцелине (наведене хронолошким редом, како су се појављивале у раду кандидата):

- холографски модели јако корелисаних квантних многочестичних система
- јако корелисани системи у класичним теоријама поља и нелинеарној оптици
- динамика и статистика црних рупа у гравитацији и теорији струна
- динамика и статистика квантно-хаотичних многочестичних система.

У радовима кандидата комбинују се аналитичке (теоријске) и нумеричке методе. У наредним подсекцијама приказани су главни резултати за сваку од горе аведених тема.

## 2.1 Холографски модели јако корелисаних квантних многочестичних система

Основно питање којим се баве радови на ову тему је следеће: можемо ли разумети не-Фермијеве течности и чудне метале на нивоу теорије средњег поља аналогне Ландауовој теорији Фермијевих течности, те постоји ли генеричко ("Renormalization group" (РГ) стабилно) стање интерагујућих електрона, које не нарушава никакву симетрију а које се разликује од Фермијеве течности. Идеја је да се проблем формулише преко AdS/CFT кореспонденције (холографског принципа), дуалности између отворених и затворених струна откривене крајем деведесетих година прошлога века. Дуалност повезује теорију поља (строго узев, градијентну теорију) са интеракцијама реда величине  $g$  са гравитацијом у анти-де Ситеровом простору са гравитационом константом реда  $1/g$ . Тако јако корелисани системи одговарају слабо интерагујућој, квазикласичној гравитацији. Већ први покушај је показао да чак и јако упрошћен модел, који одговара електронима ниске густине у интеракцији са (неидентификованом) јако интерагујућом градијентном теоријом, показује Фермијеве површи са стабилним квазичестицама, сличним Фермијевој течности. Свеобухватнија теорија показује да систем има две фазе, од којих једна одговара Фермијевој течности, а друга не-Фермијевој течности са неким квантно-критичним особинама (аномално скалирање по енергији, не и по импулсу). Одавде је изведен нови елемент „холографског речника“, тј. нови елемент AdS/CFT дуалности: скок дистрибуције импулса на Фермијевој површи  $Z$  одговара одређеној одржаној струји (билинеарном оператору) у AdS простору; разрађен је и општи формализам за рачун са билинеарним операторима који се може употребити и за друге параметре уређења. Даље су разматрана формална питања значајна за разумевање саме кореспонденције: испоставља се да је нестабилност критичне Фермијеве површи дуална суперрадијационој нестабилности наелектрисане црне рупе, док Фермијева течност одговара Лифшицовој геометрији. На основу тога, најзад је конструисан цео фазни дијаграм система у квазикласичном лимесу „великог  $N$ “, тј. велике градијентне-групе. Последњи корак у овом правцу је рачун поправки за коначно  $N$  и испивање стабилности фазе Фермијеве течности у фазном дијаграму, али по цену одсецања дубоко инфрацрвеног дела спектра, који се у гравитационој теорији не понаша добро и доводи до глобалне нестабилности.

У радовима ове области комбинују се аналитичка извођења на основу „холографског речника“, тј. асимптотских решења Ајнштајнових једначина, која се могу добити аналитички, и

самоусаглашено нумеричко решавање целог система једначина (за метрику, градијентна поља и поља материје) у AdS простору. Даљи кораци морају превазићи ову парадигму, јер се инфрацрвена нестабилност, по свему судећи, не може уклонити. Кандидат тренутно, заједно са докторским студентом Владаном Гецином), ради на другачијем приступу, где се Фермијева површ описује ефективним градијентним пољима чија симетрија има структуру групе петљи (енг. loop group). У том случају AdS простору нема фермиона већ се све своди на рачун са градијентним пољима, која се много лакше регуларизују.

Кандидат је такође проучавао холографске моделе јако интерагујућих електрона у спољашњем магнетном пољу. Тако је добијен (поједностављен) модел квантног Холовог ефекта у јако интерагујућем режиму и фактори попуњености у фазама Фермијеве и не-Фермијеве течности. Показује се да у овом моделу не-Фермијева фаза доводи до фракционе попуњености, док нормални метал даје целобројни ефекат. Такође је добијен модел екситона (парова електрон-шупљина) у билинеарном формализму. Показано је како долази до магнетне катализе и кондензације екситона под дејством магнетног поља, и конструисан је фазни дијаграм који је упоређен са резултатима из литературе за екситоне у двослојном графену. Најзад, проучен је и ефекат решетке на спектар холографских електрона, и нађено је да се неке особености спектра чудних метала, пре свега широка расподела спектралне тежине по импулсу уз истовремену уску расподелу по енергији, може прелиминарно објаснити мешањем инфрацрвеног хиперскалирања и универзалне квазичестичне физике у близини Фермијевој површи.

Овој подобласти припадају радови [A2, B1-B4, B6, B13, D1]. Најважнији од наведених су:

**M. Čubrović**, J. Zaanen, K. Schalm, String theory, quantum phase transitions and the emergent Fermi liquid, *Science* **325**, 439 (2009) [arXiv:0904.1993[hep-th]]

**M. Čubrović**, J. Zaanen, K. Schalm, Constructing the AdS dual of a Fermi liquid: black holes with Dirac hair, *Journal of High Energy Physics* **2011**, 17 (2011) [arXiv:1012.5681[hep-th]]

**M. Čubrović**, Y. Liu, K. Schalm, Y.-W. Sun, J. Zaanen, Spectral probes of the holographic Fermi liquid ground state: Dialing between the electron star and the AdS Dirac hair, *Physical Review D* **84**, 086002 (2013) [arXiv:1106.1798[hep-th]]

N. Chagnet, V. Đukić, **M. Čubrović** and K. Schalm, Emerging Fermi liquids from regulated quantum electron stars, *Journal of High Energy Physics* **2022**, 222 (2022) [arXiv:2204.10092[hep-th]]

## 2.2 Јако корелисани системи у класичним теоријама поља и нелинеарној оптици

Холографски модели чудних метала и не-Фермијевих течности представљају у извесном смислу квантне критичне фазе, јер имају степене законе скалирања не у једној тачки, већ у читавој области простора. То их чини занимљивим и повезује са неким експерименталним резултатим. Са друге стране у јако корелисаним системима квантне критичне тачке могу такође да се разликују од уобичајене парадигме фазних прелаза између уређених и неуређених фаза. У [B7] је показано како холографски суперпроводници могу имати критичну тачку у којој истовремено долази и до кондензације електронских парова и до деконфинирања позадинских  $U(N)$  градијентних поља. Сличне ситуације у којима се комбинују нарушење симетрије и деконфинирање пронађене су и у [B8, B9] на примеру вртлога у нелинеарном оптичком систему. Ту деконфинирање одговара прелазу Березинског-Костерлиц-Таулеса (БКТ), који се види и у холографским системима, а симетрије могу бити геометријске, као у [B8], или сложеније, везане за колективно понашање, као

у [B9]. Овакве ситуације су познате и у литератури о егзотичном магнетизму и Сачдев-Је-Китајев (Sachdev-Ye-Kitaev) моделима, а предност класичних модела које смо користили је да су добрим делом доступни и аналитичком раду.

У ову област спадају радови [B7, B8, B9]:

**M. Čubrović**, Confinement/deconfinement transition from symmetry breaking in gauge/gravity duality, *Journal of High Energy Physics* **2016**, 102 (2016) [arXiv:1605.07849[hep-th]]

**M. Čubrović** and M. S. Petrović, Quantum criticality in photorefractive optics: Vortices in laser beams and antiferromagnets, *Physical Review A* **96**, 053824 (2017) [arXiv:1701.03451[physics.optics]]

T. Kukulj and **M. Čubrović**, Spontaneous isotropy breaking for vortices in nonlinear left-handed metamaterials, *Physical Review A* **100**, 053853 (2019) [arXiv:1812.08805[physics.optics]]

### 2.3 Динамика и статистика црних рупа у гравитацији и теорији струна

Главни правац данашњег рада кандидата, започет 2019. године, јесте испитивање структуре и динамике црних рупа анализом хаоса, хидродинамике и статистике како пробних поља, тако и микроскопских степени слободе у метрикама са хоризонтом. Овај правац се темељи на концепту брзог скремблинга и MSS хипотези о црним рупама као максимално хаотичним објектима, што има кључну улогу у покушајима разјашњења информационог парадокса у формализму реплика и острва сплетености. Циљ је да се детаљно проучи да ли сама црна рупа као и поља која у њу упадају могу да понесу сву потребну информацију да њену еволуцију учине унитарном. Ту се појављује и проблем факторизације партиционе функције, повезан са општим питањем физичке интерпретације реплика које се појављују у рачунању ентропије сплетености. Посебан интерес кандидата је разматрање ових питања у режиму квантне гравитације, тј. у теорији струна: ту већина већ добро утемељених резултата у вези хаоса и термодинамике црних рупа не важи, и налазимо се умногоме на непознатој територији која захтева нов приступ.

Већ из саме MSS неједнакости и границе њеног важења може се закључити много, и неколико радова кандидата посвећено је управо питању шта можемо закључити из наважења MSS хипотезе у одређеним случајевима. Кандидат је најпре показао да MSS граница важи не само за Љапуновљев експонент дуалних теорија поља већ и за класично кретање у пољу црне рупе, како честица тако и објеката као што су струне и бране које произилазе из корекција на класичну гравитацију, али само ако се изворна граница модификује узимањем у обзир квантних бројева струне односно бране. У дуалној теорији поља овакви објекти одговарају композитним операторима велике димензије. Затим је показано да се MSS скала такође модификује у случају губитка локалне ротационе симетрије. Ово се види на примеру отворене струне у пољу ротирајуће D1-D5-р црне рупе, али не и за честицу у истој геометрији, јер се честица увек може локално пренети коротирајући систем (а отворена струна не може јер је у питању екстендирани објект). За овај пример (који холографски одговара пару кваркова у термалној плазми) показан је такође прави смисао MSS са гравитационе стране: то је скала термализације која одговара имагинарном делу квазинормалне моде црне рупе. Са једне стране MSS хипотеза је уопштена и модификована тако да важи како за квантни Љапуновљев експонент у временски неуређеним корелационим функцијама (енг. Out-of-Time-Ordered Correlator - ОТОС) тако и за класични Љапуновљев експонент у геометрији црне рупе. Са друге стране показано је да је у питању скала која у разним објектима одговара разним физичким процесима и уопште се не своди на заједнички именилац; чим се симетрија наруши, све ове скале се раздвајају и разликују се од MSS скале.

Ово повлачи и да цела ОТОС функција садржи знанто више информација него сам Љапуновљев експонент. Ово је нарочито изражено када димензије оператора не чине дискретан спектар као у конформним теоријама поља (што се односи на већину практичних ситуација, осим уобичајених квантних критичних тачака – не и квантних критичних фаза): квантни Љапуновљеви експоненти тада губе смисао, и мора се посматрати цела временски неуређена корелациона функција. Њено понашање је међутим универзално, и показује два робусна режима, који разликују чисто хаотичну од мешане динамике. Док је у класичном хаосу овакве системе могуће разликовати нпр. путем Поенкареових пресека, до сада није било начина да се мешана динамика јасно детектује у квантом случају (осим путем статистике енергетског спектра, што је захтева знатно обимније прорачуне).

Све наведено показује и да статистика брзофлукутирајућих степени слободе у квантним црним рупама мора бити сложенија од статистике случајних матрица, јер одступања од наивног максималног хаоса нужно имплицирају да постоје корелације између амплитуда различитих процеса. У оквиру једног матричног модела стекова брана у теорији струна типа IIB кандидат је експлицитно показао да ове корелације на крају доводе до решења која се факторизују када се посматра много реплика при рачунању ентропије. Факторизација је последица тзв. полу-црвоточних решења, која управо одговарају развијеном квантном хаосу, док субводеће корекције долазе од црвоточина и најзад од тополошки тривијалних (декуплованих) решења, која показују мешовит или чисто интеграбилан спектар.

У наведеним радовима полази се од решења супергравитације или теорије струна која садрже црну рупу. С друге стране, важно је и питање како улазимо у режим универзалног максималног хаоса када се систем приближава класичној црној рупи, тј. како изгледа сам прелаз. У том циљу проучена је матрица расејања високопобуђене струне, која на критичном окупационом броју постаје црна рупа, по принципу комплементарности струна-црна рупа. Нађена су систематска одступања од хаотичне динамике (и статистике случајних матрица) у виду квази-инваријантних стања, која се такође могу објаснити случајним матричним моделима, али сложенијим.

Кандидат наставља рад у овим правцима: с једне стране на динамици у геометријама микростања као што је LLM геометрија, где се микроскопске динамичке величине могу довести у везу са коефицијентом прозрачности и термодинамиком микростања, а с друге стране на даљем разумевању матрице расејања високопобуђених струна.

У ову групу спадају радови [B10-B12, B15-B16]:

**M. Čubrović**, The bound on chaos for closed strings in Anti-de Sitter black hole backgrounds, *Journal of High Energy Physics* **2019**, 150 (2019) [arXiv:1904.06295[hep-th]]

D. Marković and **M. Čubrović**, Detecting few-body quantum chaos: out-of-time ordered correlators at saturation, *Journal of High Energy Physics* **2022**, 023 (2022) [arXiv:2202.09443[hep-th]]

**M. Čubrović**, Replicas, averaging and factorization in the IIB matrix model, *Journal of High Energy Physics* **2022**, 136 (2022) [arXiv:2203.10697[hep-th]]

V. Đukić and **M. Čubrović**, Correlation functions for open strings and chaos, *Journal of High Energy Physics* **2024**, 025 (2024) [arXiv:2310.15697[hep-th]]

N. Savić and **M. Čubrović**, Weak chaos and string dynamics in the string S-matrix, *Journal of High Energy Physics* **2024**, 101 (2024) [arXiv:2401.02211[hep-th]]

## 2.4 Динамика и статистика квантно-хаотичних многочестичних система

Проблеми мешане (регуларно-хаотичне) динамике и њене везе са транспортом и статистиком често су везани за најосновније разумевање многочестичних система, и класичних и нарочито квантних, где ефекти тунелирања и интерференције нивоа додају још један ниво сложености. Ови универзални проблеми с једне стране повезују квантни хаос у високоенергетским и нискоенергетским системима, а с друге стране у овим другим често су везани за директно мерљиве величине. Главно интересовање кандидата у овом контексту је да, као и у претходној подцилини, разуме ефекат мешане динамике али сада пре свега у вези са транспортом, како због богатства феноменологије транспорта тако и због, најчешће, широке доступности транспортних величина мерењу. После раних покушаја са класичним и квазикласичним системима, кандидат се посветио раду на транспорту у једнодимензионим квантним ланцима, где је нађено да чак и у одсуству неуређености сложена динамика генерички доводи до аномалног транспорта и одсуства хидродинамичког одговора на пертурбације. Досадашњи рад је ограничен углавном на прве поправке класичној динамици, али се планира проучавање систематског развоја за Вигнерову псевдорасподелу, а за мале системе и коришћење егзактне дијагонализације.

У ову подобласт спадају радови [A1, C1, B5, B14], из којих издвајамо

D. Marković and M. Čubrović, Chaos and anomalous transport in a semiclassical Bose-Hubbard chain Phys. Rev. E **109**, 034213 (2024)

## 3. Елементи за квалитативну анализу научног доприноса

### 3.1 Квалитет научних резултата

Кандидат је до сада објавио 20 радова, од тога 2 у часописима категорије M21a (међународни часопис изузетне вредности), 16 у часописима категорије M21 (врхунски међународни часопис), 1 у часопису категорије M22 (водећи међународни часопис) и један у часопису категорије M24. Такође је објавио једно поглавље у зборнику водећег међународног значаја M13.

У периоду након одлуке Научног већа о предлогу за стицање претходног научног звања, кандидат је објавио 10 радова, од тога 9 у часописима категорије M21 (врхунски међународни часопис). Одржао је и више предавања на научним скуповима, од тога 3 по позиву.

#### 3.1.1 Научни ниво и значај резултата

Радови кандидата највећим делом (18 од 20 радова) су објављени у врхунским међународним часописима, од тога 2 у највишој категорији M21a. Радови [A2], [B2] и [B3] формирали су нову тачку гледишта на високо корелисане фермионе и инспирисали даљи рад низа аутора у истом правцу. Рад [B10] је указао на дубоке везе теорије струна и квантног хаоса и такође је инспирисао даљи рад других аутора у покушају да разумеју везу динамике струне и временски неуређених корелационих функција у теорији поља.

Пет најважнијих радова из изборног периода су:

[1] M. Čubrović, The bound on chaos for closed strings in Anti-de Sitter black hole backgrounds

Journal of High Energy Physics **2019**, 150 (2019) [arXiv:1904.06295[hep-th]]  
[https://doi.org/10.1007/JHEP12\(2019\)150](https://doi.org/10.1007/JHEP12(2019)150)  
цитиран 18 пута, ИФ за 2019. годину 5.875 (M21)

- [2] D. Marković and M. Čubrović, Detecting few-body quantum chaos: out-of-time ordered correlators at saturation, Journal of High Energy Physics **2022**, 023 (2022) [arXiv:2202.09443[hep-th]]  
[https://doi.org/10.1007/JHEP05\(2022\)023](https://doi.org/10.1007/JHEP05(2022)023)  
цитиран 6 пута, ИФ за 2020. годину 5.810 (M21)
- [3] M. Čubrović, Replicas, averaging and factorization in the IB matrix model, Journal of High Energy Physics **2022**, 136 (2022) [arXiv:2203.10697[hep-th]]  
[https://doi.org/10.1007/JHEP09\(2022\)136](https://doi.org/10.1007/JHEP09(2022)136)  
цитиран 1 пут, ИФ за 2020. годину 5.810 (M21)
- [4] V. Đukić and M. Čubrović, Correlation functions for open strings and chaos, Journal of High Energy Physics **2024**, 025 (2024) [arXiv:2310.15697[hep-th]]  
[https://doi.org/10.1007/JHEP04\(2024\)025](https://doi.org/10.1007/JHEP04(2024)025)  
ИФ за 2022. годину 5.4 (M21)
- [5] N. Savić and M. Čubrović, Weak chaos and string dynamics in the string S-matrix, Journal of High Energy Physics **2024**, 101 (2024) [arXiv:2401.02211[hep-th]]  
[https://doi.org/10.1007/JHEP03\(2024\)101](https://doi.org/10.1007/JHEP03(2024)101)  
ИФ за 2022. годину 5.4 (M21)

У раду [1] кандидат је (као једини аутор) проучио кретање затворене струне са фазном ротацијом (енг. winding) у геометријама различитих црних рупа са AdS асимптотиком. Нађено је да класични Љапуновљев експонент задовољава модификовану MSS границу, помножену угаоним моментум струне. У дуалној теорији поља, ово одговара операторима веома велике конформне димензије, који су далеко од Регеове трајекторије. Показује се дакле да струна, као екстендирани објекат који излази ван оквира класичне гравитације, захтева модификацију границе хаоса, али минималну.

У раду [2] кандидат је осмислио начин да се у системима где нема велике градијентне групе (великог  $N$ ) те нема ни MSS границе ни квантног Љапуновљевог експонента (експонент је једнак нули у генеричком смислу) ипак пронађе универзални аспект, и то у режиму сатурације: на највећим временским скалама, када корелациона функција достигне константну вредност, ова вредност се скалира са температуром по једном од два закона, од којих један одговара развијеном хаосу, а други мешаној регуларно-хаотичној динамици. Ово дакле очекујемо и за квантне моделе црних рупа. У самом раду, аутор и његов студент су проучили понашање временски неуређених корелационих функција за ансамбле Гаусових случајних матрица, за једноставне квантномеханичке моделе као што је Ено-Хаилсов хамилтонијан и за BMN матрични модел у теорији струна.

У раду [3] кандидат је, као једини аутор, размотрио веза динамике са статистиком, посебно са партиционим функцијама у присуству реплика, на примеру ИККТ матричног модела, који описује струне и бране у теорији струна типа IB. Основни циљ овог рада је допринос решењу парадокса факторизације – реплике које се уводе при рачунању ентропије гравитационих система се могу међусобно купловати (што даје црвоточине као решења), што значи да се гравитациона партициона функција не факторизује, док се партициона функција дуалне теорије поља мора

факторизовати јер се ради о неинтерагујућим копијама система. У овом раду кандидат је добио резултате који подржавају идеју ефективног усредњавања дуалне теорије поља по “брзим” променљивим – када се динамика брана у ИККТ моделу усредњи по квантним флукуацијама брана, добијене партиционе функције се факторизују. Кључне за факторизацију су тзв. полупрвоточине, конфигурације које управо одговарају и јако хаотичној динамици, што подржава слику ефективног само-усредњавања.

У раду [4] по идеји кандидата, израчунате су двотачкасте корелационе функције отворене струне у геометрији црних рупа (Шварцшилдове, Лифшицове и D1-D5-р). Показује се да у прва два случаја корелационе функције опадају са експонентом који одговара Љапуновљевој експоненту класичних једначина кретања, а који је тачно једнак MSS граници. У ротирајућем случају D1-D5-р, ове скале (Љапуновљева и корелациона) се не поклапају ни међу собом нити са границом хаоса. Захваљујући томе што је за систем D1-D5-р познато тачно решење у теорији струна, могли смо да упоредимо експонент опадања корелација са понашањем квазинормалних мода. Показује се да су експоненти опадања корелација управно једнаки имагинарном делу нормалних мода, што их идентификује са скалом термализације. Аналитичка предвиђања проверена су нумерички, коришћењем кода који је аутор својевремено развио.

У раду [5] размотрена је статистика матрице расејања високопобуђене струне по кандидатској замисли да се у њој потраже знаци физике црних рупа. На основу комплементарности струна и црних рупа, очекује се да струна у довољно високо побуђеном стању показује знаке брзог скрембловања информација и хаоса као и црна рупа. У овом раду урађена је стандардна анализа хаотичности расејања, рачунањем статистике својствених фаза матрице расејања и њеним поређењем са Вигнер-Дајсоновом статистиком. Испоставља се да, поред популације која се Вигнер-Дајсоновом расподелом добро описује, увек постоји и регуларна компонента са нагомилавањем фаза око нуле. Кандидат је установио да ово одговара ожилцима у квантним многочестичним системима. У току је даљи рад који треба да покаже да ли је овде по среди одступање од комплементарности струна-црна рупа, или напосто отказивање теорије пертурбације којом је рачуната матрица расејања.

### 3.1.2 Цитираност научних радова кандидата

Према бази Web of Science, радови кандидата су цитирани укупно 502 пута без аутоцитата (sum of times cited), у укупно 435 радова (citing articles), уз Хиршов индекс 7 (податак узет 19. јануара 2025. године). Цитираност радова према бази Scopus је 532.

### 3.1.3 Параметри квалитета радова и часописа

Кандидат је објавио радове у следећим часописима:

- 1 рад у Science (ИФ(2009)=29.747, СНИП(2009)=7.04)
- 9 радова у Journal of High Energy Physics (ИФ(2010)=6.049, ИФ(2013)=6.220, ИФ(2014)=6.110, ИФ(2019)=5.875, ИФ(2020)=5.810, ИФ(2022)=5.400, СНИП(2010)=1.42, СНИП(2014)=1.35, СНИП(2020)=1.17, СНИП(2022)=1.13)
- 2 рада у Physical Review A (ИФ(2016)=2.925, ИФ(2017)=2.909, СНИП(2016)=1.07, СНИП(2017)=1.02)
- 1 рад у Physical Review B (ИФ(2014)=3.736, СНИП(2014)=1.32)
- 3 рада у Physical Review D (ИФ(2010)=4.964, ИФ(2013)=4.864, СНИП(2010)=1.66, СНИП(2013)=1.41)
- 2 рада у Physical Review E (ИФ(2005)=2.418, СНИП(2005)=1.16, ИФ(2023)=1.630, СНИП(2023)=0.88)
- 1 рад у European Physical Journal D (ИФ(2007)=1.828, СНИП(2007)=0.89)
- 1 рад у SciPost Physics Core



1 рад у Optical and Quantum Electronics

Укупан импакт фактор радова кандидата је 112.369, а у изборном периоду 34.129.

У периоду после покретања избора у звање научни сарадник, кандидат је објављивао у следећим часописима:

6 радова у Journal of High Energy Physics (ИФ(2019)=5.875, ИФ(2020)=5.810, ИФ(2022)=5.400, СНИП(2020)=1.17, СНИП(2022)=1.13)

2 рада у Physical Review A (ИФ(2016)=2.925, ИФ(2017)=2.909, СНИП(2016)=1.07, СНИП(2017)=1.02)

1 рад у Physical Review E (ИФ(2023)=1.630, СНИП(2023)=0.88)

Следећа табела представља додатне библиометријске параметре по упутству Матичног одбора за физику за изборни период:

	ИФ	М поени	СНИП
Укупно	41.569	74	9.74
Усредњено по чланку	4.157	7.400	0.97
Усредњено по аутору	1.979	3.524	0.46

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

Кандидат је једини аутор радова [А1, В7, В10, В12]. Кандидат је водећи аутор на 5 радова са коауторима [А2, В2, В3, В8, С1], у којима је развио нумерички метод и дао кључни допринос у погледу израде нумеричких симулација и њихове интерпретације, као и допринос писању радова. На радовима [В1, В6, Е1] кандидат је аутор нумеричког метода коришћеног за добијање резултата. Радови [В9, В11, В14-В16, D1] настали су као резултат студентских пракси и мастер радова студената, први аутори су студенти, а кандидат, као руководиоца истраживања, је други аутор (или последњи аутор, за рад D1 који је рађен са два студента).

### 3.1.5 Награде

Кандидат је добитник награде “Trots op...” Универзитета у Лајдену за 2009. годину.

## 3.2 Ангажованост у формирању научних кадрова

### Активности пре претходног избора у звање

Кандидат је у летњем семестру 2010. и 2011. године био асистент на предмету Theory of Condensed Matter на Универзитету у Лајдену. На Универзитету у Келну био је асистент на предметима Advanced Quantum Mechanics (зима 2013. године), Quantum Mechanics (лето 2014. године) и Quantum Field Theory (лето 2015. године). На универзитету у Лајдену кандидат је радио са мастер студентима (Piet Schijven и Jelle Brill), који су се укључили у рад на публикацијама [В1] и [D1].

Активности након претходног избора у звање

Михаило Чубровић је у изборном периоду био ментор четири мастер тезе:

1. Владана Гецина, наслов “Holographic square lattices and strange metals”, Физички факултет, Универзитет у Београду, одбрањена 2022. године.
2. Николе Савића, наслов “Classical and quantum chaos in the scattering of highly excited strings”, Физички факултет, Универзитет у Београду, одбрањена 2023. године.
3. Владана Ђукића, наслов “Fundamental strings, thermal horizons and the chaos bound”, Физички факултет, Универзитет у Београду, одбрањена 2023. године.
4. Драгана Марковића, наслов “Transport and out-of-time ordered correlators in quantum chaos”, Физички факултет, Универзитет у Београду, одбрањена 2024. године.

У свим овим тезама кандидат је руководио планирањем и истраживањем. Мастер тезе садрже резултате представљене у следећим радовима:

F. Herčak, V. Gecin, **M. Čubrović**, Photoemission “experiments” on holographic lattices, SciPost Physics Core **6**, 027 (2023) [arXiv:2208.05920[cond-mat.str-el]]

N. Savić and **M. Čubrović**, Weak chaos and string dynamics in the string S-matrix, Journal of High Energy Physics **2024**, 101 (2024) [arXiv:2401.02211[hep-th]]

V. Đukić and **M. Čubrović**, Correlation functions for open strings and chaos, Journal of High Energy Physics **2024**, 025 (2024) [arXiv:2310.15697[hep-th]]

D. Marković and **M. Čubrović**, Detecting few-body quantum chaos: out-of-time ordered correlators at saturation, Journal of High Energy Physics **2022**, 023 (2022) [arXiv:2202.09443[hep-th]]

D. Marković and **M. Čubrović**, Chaos and anomalous transport in a semiclassical Bose-Hubbard chain Phys. Rev. E **109**, 034213 (2024) [arXiv:2308.14720[hep-th]]

Кандидат је ментор студентима докторских студија Владану Гецину (3. година) и Владану Ђукићу (2. година), који су и своје мастер тезе урадили под руководством кандидата. Пошто су оба кандидата још у почетним годинама студија, тема дисертације још није одбрањена (Владан Гецин ће тему бранити током пролећа 2025. године).

Кандидат редовно сарађује са студентима Физичког факултета Универзитета у Београду и Природно-математичког факултета Универзитета у Новом Саду у оквиру летњих пракси. Летњу праксу са кандидатом су радили Душан Новичић (аналитичко тражење солитонских решења методом инверзног расејања, 2017; хаотичне геодезијске у пољу длакаве црне рупе, 2018), Владан Ђукић [B13] и Драган Марковић [B11], сви са Физичког факултета у Београду; Тривко Кукољ [B9] и Филип Херчек [D1], са Природно-математичког факултета у Новом Саду. Током посета Универзитету у Лајдену, кандидат ради са студентом Николом Шањеом (Nicolas Chagnet), на заједничком пројекту са Владаном Ђукићем (Emerging Fermi liquids from regulated Quantum Electron Stars, 2022, arXiv:2204.10092[hep-th]). Током посета Универзитету у Амстердаму кандидат ради са студенткињом Јилдау Холандер (Jildou Hollander) на динамици геодезијских у LLM геомтријама.

Кандидат је такође држао предавања у оквиру предмета Семинар савремене физике за студенте треће године Физичког факултета Универзитета у Београду (теме: Квантна критичност и

чудни метали, март 2018 и април 2019; Квантна теорија информација, црне рупе и црвоточине, април 2021). Такође је активан као стручни сарадник у Истраживачкој станици Петница, на програмима Астрономија и Физика.

Од 2024. године, кандидат је координатор студентске летње школе Petnica Summer International (PSI). Кандидат је задужен за теоријско издање школе, које покрива теорију високјих енергија, квантну теорију информација и теорију гравитације (док феноменолошко издање покрива астрофизику, астрочестичну физику и космологију).

### **3.3 Нормирање броја коауторских радова, патената и техничких решења**

Сви радови кандидата укључују нумеричке симулације. Сви радови кандидата у изборном периоду су са 3 или мање коаутора, па се рачунају са пуним бројем бодова. Укупан број М бодова је 81.5 (од тога 74 на основу радова из категорија M20).

### **3.4 Учешће у пројектима, потпројектима и пројектним задацима**

Кандидат је учествовао у пројекту ON171017 финансираном од стране Министарства за науку, просвету и технолошки развој. Био је руководилац потпројекта 3 (Јако корелисани многочестични системи, AdS/CFT кореспонденција и квантна критичност) Центра изузетних вредности за изучавање комплексних система Института за физику у Београду у периоду од 2019. до 2023. године, а учествовао је и у потпројекту 2 (Тополошке фазе) истог центра.

У периоду јул 2020. - јул 2022. године кандидат је учествовао у ПРОМИС пројекту Фонда за науку Републике Србије под називом "Cold atoms, Hubbard model and holography: the key to strange metals (Key2SM)". Пројекат је имао за циљ да испита могуће везе AdS/CFT модела чудних метала (базираних на црним рупама које нарушавају законе хиперскалирања у Ајнштајн-Максвел-дилатон системима) и Хабардовог модела, путем поређења спектралних функција електрона. Кандидат је руководио делом пројекта који се бави AdS/CFT моделима и њиховим калибрисањем. Главни резултат овог пројекта објављен је у раду [D1], где је показано да постоји јединствено решење оптимизације параметара холографског модела фитовањем на спектре Хабардовог модела израчунате квантним Монте Карло симулацијама, иако постоје и неке особине Хабардовог модела које ово решење не репродукује.

Од септембра 2024. године кандидат је учесник пројекта "Гравитационные методы для непертурбативных явлений в квантовых системах и теории поля", са истраживачима са Математичког института Стеклова у Москви. Пројекат има за циљ темељно разумевање хаоса у режиму квантне гравитације, где резултати из литературе, који се односе пре свега на класични режим, више не важе и о коме се сада зна веома мало.

### **3.5 Активност у научним и научно-стручним друштвима**

#### **3.5.1 Рецензије научних радова**

Кандидат је рецензент у часописима Journal of High Energy Physics (ИФ=5.4), Physical Review D (ИФ=4.1) European Physical Journal C (ИФ=4.4), SciPost (ИФ=5.5), SciPost Physics Core (часопис са ESCI листе), International Journal of Modern Physics B (ИФ=2.6) и Physical Review Letters (ИФ=8.1).

### 3.5.2 Организација научних скупова

Кандидат је био коорганизатор online радионице "Strange metal in the Hubbard model and AdS/CFT" одржане 23-25. маја 2022, у оквиру ПРОМИС пројекта Key2SM. Радионица је окупила водеће експерте из двеју области које проучавају јако корелисане електронске системе двама различитим методама: нумеричким решавањем Хабардовога модела и дуалношћу AdS/CFT. Кандидат је такође био коорганизатор и председник организационог одбора скупа "Black holes & chaos" који је одржан 4-6. септембра 2024. године као први балкански скуп посвећен модерној теорији струна, холографији и сродним областима. Кандидат је осмислио теме скупа, позвао већину предавача и обезбедио финансирање од стране COST акције Challenges in Fundamental Physics и Министарства науке, технолошког развоја и иновација.

### 3.6 Утицајност научних резултата

Кандидат је у току докторских студија развио методе рачунања спектра и проучавања основног стања (путем повратне реакције на геометрију) за холографске моделе на коначној густини (или хемијском потенцијалу). Ови методи и резултати су покренули рад низа истраживача на сличним питањима, што се види из цитираности кључних радова, пре свега [A2] и [B2,B3], а такође су иницирали систематски рад на холографском приступу јако корелисаним електронским системима на Универзитету у Лајдену. Радом [B10] кандидат је подстакао широк спектар радова који проучавају динамику струна у геометријама црних рупа.

Утицајност радова кандидата такође се види из података о цитираности, који су наведени у одељку 3.1.2 и детаљно излистани у прилогу.

Кандидат је одржао 6 предавања по позиву: 1) Spectral functions in holographic lattices and the Hubbard model, "Strange metals: from the Hubbard model to AdS/CFT", 23.-25. мај 2022, Институт за физику у Београду 2) Chaotic string dynamics from perturbation theory to matrix models, "Frontiers of Holographic Duality 4", 12.-16. децембар 2022, Математички институт В. А. Стеклова, Москва (Математический институт им. В.А. Стеклова РАН, Москва) 3) Stringy effects in chaos, "Workshop on String Theory, Holography, and Black Holes", 23.-27. октобар 2023, Међународни центар за теоријски физику, Трст (International Center for Theoretical Physics, Trieste) 4) Weak chaos in the string S-matrix, "Frontiers of Holographic Duality 5", 4.-8. децембар 2023, Математички институт В. А. Стеклова, Москва (Математический институт им. В.А. Стеклова РАН, Москва) 5) Black holes and chaos in matrix models, "HINT Workshop", 22.-26. јул 2024, Физички факултет Универзитета у Београду 6) Weak chaos in the string-black hole scattering from classical to quantum, "Quantum Gravity, Stirngs and the Swampland", 3.-9. септембар 2024. Такође је представљао своје резултате пријављеним предавањима на конференцијама, а одржао је и већи број семинара у различитим институцијама.

### 3.7 Конкретан допринос кандидата у реализацији радова у научним центрима у земљи и иностранству

Као што је већ наведено, кандидат је самостални аутор четири рада, први аутор пет радова, и последњи аутор (као руководилац рада студената) шест радова. Кандидат је аутор кода за нумеричке симулације у укупно 13 радова. Већину својих научних активности кандидат обавља на Институту за физику у Београду, уз редовне посете Универзитету у Амстердаму и Универзитету у Лајдену.

На Институту за физику у Београду кандидат је иницирао рад на примењеној холографији и

теорији хаоса црних рупа и струна, као новим областима, руководио одговарајућим потпројектом у оквиру Центра за изучавање комплексних система, и иницирао повезивање ових области са добро потврђеним микроскопским моделима као што су бозонски и фермионски Хабардов модел.

### 3.8 Међународна сарадња

Кандидат је завршио докторске студије на Универзитету у Лајдену (University of Leiden). Након тога, био је на постдокторском усавршавању на Универзитету у Келну. Кандидат је сарађивао и са Универзитетом у Франкфурту (Institute for Theoretical Physics, J.-W. Goethe-University), Институтом за напредне студије у Франкфурту (Frankfurt Institute for Advanced Studies), Универзитетом у Гетингену (Institute for Theoretical Physics, Georg August University, Goettingen) и Политехничким институтом у Паризу (Ecole Polytechnique, Paris), што се види из радова са коауторима. Остварио је краће посете бројним универзитетима и институтима (Универзитет у Утрехту; Универзитет у Гронингену; NORDITA, Стокхолм; Природно-математички факултет Љубљана; Универзитет у Вирцбургу) где је на семинарима представио своје радове.

Најредовнију и најважнију сарадњу кандидат данас има са Универзитетом у Амстердаму (University of Amsterdam), Универзитетом у Лајдену и Математичким институтом Стеклов, Москва (Математический институт им. В. А. Стеклова).

## 4. Елементи за квантитативну анализу научног доприноса

Остварени резултати у периоду након одлуке Научног већа о предлогу за стицање претходног научног звања:

Категорија	М бодова по раду	Број радова	Укупно М бодова	Нормирани број М бодова
M21	8	9	72	72
M24	2	1	2	2
M32	1.5	3	4.5	4.5
M33	1	2	2	2
M34	0.5	2	1	1
укупно			<b>81.5</b>	<b>81.5</b>

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

М категорије	Минимални број бодова	Нормирани остварени резултат
Укупно	50	<b>81.5</b>
M10+M20+M31+M32+M33+M41+M42+M90	40	<b>80.5</b>
M11+M12+M21+M22+M23	30	<b>72</b>


## Закључак


Др Михаило Чубровић у потпуности испуњава све услове за избор у звање виши научни сарадник предвиђене Правилником о стицању истраживачких и научних звања Министарства науке, технолошког развоја и иновација. Током изборног периода кандидат је остварио изузетно оригиналне, међународно запажене и цитиране резултате које је објавио у престижним међународним часописима.


Имајући у виду квалитет његовог научног рада и достигнути ниво истраживачке компетентности, предлагемо Научном већу Института за физику у Београду да донесе одлуку о прихватању предлога за избор др Михаила Чубровића у звање виши научни сарадник.

У Београду, 18.03.2025.

Чланови комисије:

  
др Бранислав Цветковић  
научни саветник  
Институт за физику у Београду

  
др Антун Балаж  
научни саветник  
Институт за физику у Београду

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

## Додатак

### Списак објављених радова

#### Радови објављени у научним часописима међународног значаја (M20)

Радови у међународним часописима изузетних вредности (M21a)

#### Радови објављени пре претходног избора у звање

[A1] M. Čubrović, Fractional kinetic model for chaotic transport in nonintegrable Hamiltonian systems, *Physical Review E* **72**, 025204(R) (2005) [10.1103/PhysRevE.72.025204](https://doi.org/10.1103/PhysRevE.72.025204)  
цитиран 1 пут, ИФ за 2005. годину 2.418 (M21a)

[A2] M. Čubrović, J. Zaanen, K. Schalm, String theory, quantum phase transitions and the emergent Fermi liquid *Science* **325**, 439 (2009) [arXiv:0904.1993[hep-th]] [10.126/science.1174962](https://doi.org/10.126/science.1174962)  
цитиран 367 пута, ИФ за 2009. годину 29.747 (M21a)

Радови у врхунским међународним часописима (M21)

#### Радови објављени пре претходног избора у звање

[B1] E. Gubankova, J. Brill, M. Čubrović, K. Schalm, P. Schijven, J. Zaanen, Holographic fermions in external magnetic fields, *Physical Review D* **84**, 106003 (2011) [arXiv:1011.4051[hep-th]]  
<https://doi.org/10.1103/PhysRevD.84.106003>  
цитиран 18 пута, ИФ за 2010. годину 4.964 (M21)

[B2] M. Čubrović, J. Zaanen, K. Schalm, Constructing the AdS dual of a Fermi liquid: black holes with Dirac hair, *Journal of High Energy Physics* **10**, 2011, 17, (2011) [arXiv:1012.5681[hep-th]]  
[https://doi.org/10.1007/JHEP10\(2011\)017](https://doi.org/10.1007/JHEP10(2011)017)  
цитиран 23 пута, ИФ за 2010. годину 6.049 (M21)

[B3] M. Čubrović, Y. Liu, K. Schalm, Y.-W. Sun, J. Zaanen, Spectral probes of the holographic Fermi liquid ground state: Dialing between the electron star and the AdS Dirac hair *Physical Review D* **84**, 086002 (2013) [arXiv:1106.1798[hep-th]]  
<https://doi.org/10.1103/PhysRevD.84.086002>  
цитиран 31 пута, ИФ за 2013. годину 4.864 (M21)

[B4] M. V. Medvedyeva, E. Gubankova, M. Čubrović, K. Schalm, J. Zaanen, Quantum corrected phase diagram of holographic fermions, *Journal of High Energy Physics* **12**, 2013, 25 (2013) [arXiv:1302.5149[hep-th]]  
[https://doi.org/10.1007/JHEP12\(2013\)025](https://doi.org/10.1007/JHEP12(2013)025)  
цитиран 7 пута, ИФ за 2013. годину 6.220 (M21)

[B5] M. V. Medvedyeva, M. T. Čubrović, S. Kehrein, Dissipation-induced first-order decoherence phase transition in a noninteracting fermionic system, *Physical Review B* **91**, 205416 (2015) [arXiv:1409.1625[cond-mat]]

<https://doi.org/10.1103/PhysRevB.91.205416>

цитиран 5 пута, ИФ за 2014. годину 3.736 (M21)

[B6] E. Gubankova, M. Čubrović, J. Zaanen, Exciton-driven quantum phase transitions in holography *Physical Review D* **92**, 086004 (2015) [arXiv:1412.2373[hep-th]]

<https://doi.org/10.1103/PhysRevD.92.086004>

цитиран 5 пута, ИФ за 2013. годину 4.864 (M21)

[B7] M. Čubrović, Confinement/deconfinement transition from symmetry breaking in gauge/gravity duality, *Journal of High Energy Physics* **10**, 2016, 102 (2016) [arXiv:1605.07849[hep-th]]

[https://doi.org/10.1007/JHEP10\(2016\)102](https://doi.org/10.1007/JHEP10(2016)102)

цитиран 2 пута, ИФ за 2014. годину 6.110 (M21)

*Радови објављени након претходног избора у звање*

[B8] M. Čubrović and M. S. Petrović, Quantum criticality in photorefractive optics: Vortices in laser beams and antiferromagnets, *Physical Review A* **96**, 053824 (2017) [arXiv:1701.03451[physics.optics]]

<https://doi.org/10.1103/PhysRevA.96.053824>

цитиран 2 пута, ИФ за 2016. годину 2.925 (M21)

[B9] T. Kukulj and M. Čubrović, Spontaneous isotropy breaking for vortices in nonlinear left-handed metamaterials, *Physical Review A* **100**, 053853 (2019), [arXiv:1812.08805[physics.optics]]

<https://doi.org/10.1103/PhysRevA.100.053853>

цитиран 2 пута, ИФ за 2017. годину 2.909 (M21)

[B10] M. Čubrović, The bound on chaos for closed strings in Anti-de Sitter black hole backgrounds *Journal of High Energy Physics* **12**, 2019, 150 (2019) [arXiv:1904.06295[hep-th]]

[https://doi.org/10.1007/JHEP12\(2019\)150](https://doi.org/10.1007/JHEP12(2019)150)

цитиран 17 пута, ИФ за 2019. годину 5.875 (M21)

[B11] D. Marković and M. Čubrović, Detecting few-body quantum chaos: out-of-time ordered correlators at saturation, *Journal of High Energy Physics* **05**, 2022, 023 (2022) [arXiv:2202.09443[hep-th]]

[https://doi.org/10.1007/JHEP05\(2022\)023](https://doi.org/10.1007/JHEP05(2022)023)

цитиран 7 пута, ИФ за 2020. годину 5.810 (M21)

[B12] M. Čubrović, Replicas, averaging and factorization in the IIB matrix model, *Journal of High Energy Physics* **09**, 2022, 136 (2022) [arXiv:2203.10697[hep-th]]

[https://doi.org/10.1007/JHEP09\(2022\)136](https://doi.org/10.1007/JHEP09(2022)136)

цитиран 1 пут, ИФ за 2020. годину 5.810 (M21)

[B13] N. Chagnet, V. Đukić, M. Čubrović and K. Schalm, Emerging Fermi liquids from regulated quantum electron stars, *Journal of High Energy Physics* **08**, 2022, 222 (2022) [arXiv:2204.10092[hep-th]]

[https://doi.org/10.1007/JHEP08\(2022\)222](https://doi.org/10.1007/JHEP08(2022)222)



цитиран 2 пута, ИФ за 2020. годину 5.810 (M21)

[B14] D. Marković and M. Čubrović, Chaos and anomalous transport in a semiclassical Bose-Hubbard chain, Phys. Rev. E **109**, 034213 (2024) [arXiv:2308.14720[hep-th]]  
<https://doi.org/10.1103/PhysRevE.109.034213>  
ИФ за 2022. годину 1.630 (M21)

[B15] V. Đukić and M. Čubrović, Correlation functions for open strings and chaos, Journal of High Energy Physics **04**, 2024, 025 (2024) [arXiv:2310.15697[hep-th]]  
[https://doi.org/10.1007/JHEP04\(2024\)025](https://doi.org/10.1007/JHEP04(2024)025)  
цитиран 2 пута, ИФ за 2022. годину 5.400 (M21)

[B16] N. Savić and M. Čubrović, Weak chaos and string dynamics in the string S-matrix, Journal of High Energy Physics **03**, 2024, 101 (2024) [arXiv:2401.02211[hep-th]]  
[https://doi.org/10.1007/JHEP03\(2024\)101](https://doi.org/10.1007/JHEP03(2024)101)  
цитиран 4 пута, ИФ за 2022. годину 5.400 (M21)

Радови у водећим међународним часописима (M22)

*Радови објављени пре претходног избора у звање*

[C1] M. Čubrović, O. Obolensky, A. Soloviyov, Semistiff polymer model of unfolded proteins and its application to NMR residual dipolar couplings, European Physical Journal D **51**, 41 (2009)  
<https://doi.org/10.1140/epjd/e2008-00195-x>  
цитиран 5 пута, ИФ за 2007. годину 1.828 (M22)

Радови у међународним часописима са ESCI листе (M24)

*Радови објављени након претходног избора у звање*

[D1] F. Herčak, V. Gecin, M. Čubrović, Photoemission “experiments” on holographic lattices, SciPost Physics Core **6**, 027 (2023) [arXiv:2208.05920[cond-mat.str-el]]  
<https://doi.org/10.21468/SciPostPhysCore.6.2.027>  
цитиран 1 пут

Радови у тематском зборнику водећег међународног значаја (M13)

*Радови објављени пре претходног избора у звање*

[E1] E. Gubankova, J. Brill, M. Čubrović, K. Schalm, P. Schijven, J. Zaanen, Holographic description of strongly correlated electrons in external magnetic fields, D. Kharzeev et al (eds.), Strongly interacting matter in magnetic fields, Lecture Notes in Physics **871**, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2013. (ISBN 978-3-642-37304-6), p. 555.  
35 страна

**Зборници међународних научних скупова (M30)**

Предавања по позиву са међународног скупа штампана у изводу (M32)

Радови објављени након претходног избора у звање

[F1] M. Čubrović, Stringy effects in chaos, Workshop on String Theory, Holography, and Black Holes, October 23-27, 2023, International Center for Theoretical Physics, Trieste  
<https://indico.ictp.it/event/10222>

[F2] M. Čubrović, Black holes and chaos in matrix models, HINT workshop, July 22-26 2024, Department of Physics, University of Belgrade  
<https://www.mathnet.ru/eng/conf1662>

[F3] M. Čubrović, Weak chaos in the string-black hole scattering from classical to quantum. Corfu 2024: Quantum Gravity, Strings and the Swampland, Corfu, September 3-9  
<https://physics.ntua.gr/corfu2024/talks.html>

Саопштења са међународних скупова штампана у целини (M33)

Радови објављени пре претходног избора у звање

[G1] M. Čubrović, Regimes of stability and scaling relations for the removal time in the asteroid belt: a simple kinetic model and numerical tests (Z. Knežević, A. Milani, eds.), IAUC197 2004, 209, 2004. IAU Colloquium No. 197: „Dynamics of Populations of Planetary Systems”, Belgrade, Serbia, September 1-5. 2004  
8 страна

Радови објављени након претходног избора у звање

[G2] M. Čubrović and M. Petrović, Vortex dynamics of counterpropagating laser beams in photorefractive materials, Optical and Quantum Electronics 50, 406, 2018. VI International School and Conference on Photonics – PHOTONICA2017, Belgrade, 28 August -1 September 2017.  
<http://www.photonica.ipb.ac.rs/2017>  
13 страна

[G3] M. Čubrović, Fermions, hairy black holes and hairy wormholes in anti-de Sitter spaces SFIN year XXXIII Series A: Conferences, No. A1, 59. (2020) Proceedings of the 10th MATHEMATICAL PHYSICS MEETING: School and Conference on Modern Mathematical Physics, Belgrade 9-14 September 2019. <http://www.mphys10.ipb.ac.rs>  
28 страна

Саопштења са међународних скупова штампана у изводима (M34)

Радови објављени пре претходног избора у звање

[H1] M. Čubrović, Universality and scaling in nonlinear Hamiltonian systems – escape times, Lyapunov exponents and inverse chaotic scattering, Let's Face Chaos Through Nonlinear Dynamics, Maribor, Slovenia, June 26. – July 10. 2005.

[H2] M. Čubrović, J. Zaanen, K. Schalm, Geometry encoding for statistics: from Fermi liquids to Cooper

pairing, Physics@FOM 2011, Veldhoven, Netherlands, January 18-20, 2011.

[H3] M. Čubrović, K. Schalm, J. Zaanen, Fermionic quantum criticality from AdS/CFT correspondence SFKM2011 – Symposium on Physics of Condensed Matter, Belgrade, Serbia, April 2011.

[H4] M. Čubrović, K. Schalm, J. Zaanen, Novel stable phases of matter from AdS/CFT correspondence Physics@FOM 2012, Veldhoven, Netherlands, January 17-19, 2012.

[H5] M. Čubrović, J. Zaanen, K. Schalm, The strange metals and Fermi liquids of holography Physics@FOM 2013, Veldhoven, Netherlands, January 22-24, 2013.

[H6] M. Čubrović, Heavy fermion quantum critical point from AdS/CFT correspondence DPG spring meeting, Dresden, Germany, March 30-April 4 2014.

[H7] M. Čubrović, Dissipation-induced first order decoherence phase transition in a non-interacting fermionic system, DPG spring meeting, Berlin, Germany, March 15-20 2015.

Радови објављени након претходног избора у звање

[H8] M. Čubrović, Lyapunov spectra in traversable wormholes and their holographic duals. Iberian Strings II-3, Lisboa, Portugal, January 19-22 2021 (online)  
<https://ibstrings2021.math.tecnico.ulisboa.pt>

[H9] M. Čubrović, Chaos and replica wormholes in the IIB matrix model, YITP workshop Strings and Fields 2021, YITP, Kyoto, August 23-27 (online)  
<http://www2.yukawa.kyoto-u.ac.jp/~qft.web/2021>