

ПРИМЉЕНО:		10-02-2025	
Рад.јед.	б р о ј	Арх.шифра	Прилог
	0801-234/1		

Научном већу Института за физику у Београду

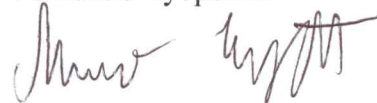
Предмет: Покретање поступка за избор у звање виши научни сарадник

Молим Научно веће Института за физику у Београду да покрене поступак за мој избор у звање виши научни сарадник.

У прилогу достављам:

1. мишљење руководиоца лабораторије са предлогом комисије за избор у звање
2. биографске и стручне податке
3. преглед научне активности
4. елементе за квалитативну анализу научног доприноса
5. елементе за квантитативну анализу научног доприноса
6. списак објављених радова
7. податке о цитираности
8. копије објављених радова
9. доказе о преосталим елементима оцена научног доприноса

Учитив,
Михаило Чубровић



ИНСТИТУТ ЗА ФИЗИКУ

ПРИМЉЕНО: 10-02-2025			
Рад.јед.	б р о ј	Арх.шифра	Прилог
0801-	234/2		

Научном већу Института за физику у Београду

Предмет: Мишљење руководиоца лабораторије о избору др Михаила Чубровића у звање виши научни сарадник

Др Михаило Чубровић је запослен у Лабораторији за примену рачунара у науци, у оквиру Националног центра изузетних вредности за изучавање комплексних система Института за физику у Београду. У истраживачком раду бави се темама које повезују јако корелисане електронске системе и физику високих енергија. С обзиром да испуњава све предвиђене услове у складу са Правилником о стицању истраживачких и научних звања Министарства науке, технолошког развоја и иновација, сагласан сам са покретањем поступка за избор др Михаила Чубровића у звање виши научни сарадник.

За састав комисије за избор др Михаила Чубровића у звање виши научни сарадник предлажем:

- (1) др Бранислав Цветковић, научни саветник, Институт за физику у Београду,
- (2) др Антун Балаж, научни саветник, Институт за физику у Београду,
- (3) др Марија Димитријевић Ћирић, редовни професор Физичког факултета Универзитета у Београду.

др Антун Балаж
научни саветник

Руководилац Лабораторије за примену рачунара у науци

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, био је постдок 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 на 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 финансирање науке 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. Објавио је 21 публикацију, од тога један рад у престижном часопису Science (класификован као “Highly cited paper” у бази података Web of Science). Укупно је објавио 2 рада у часописима категорије M21a, 16 радова у часописима категорије M21, 1 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 узети са базе WoS 19. јануара 2025).

2. Преглед научне активности

Научно-истраживачки рад др Михаила Чубровића је фокусиран 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

Радови кандидата комбинују аналитичке (теоријске) и нумеричке методе. У наредним подсекцијама приказани су главни резултати у свакој од наведених тема.

2.1. Холографски модели јако корелисаних квантних многочестичних система

Основно питање радова 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 (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, гејџ 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 гејџ теоријом, показује Фермијеве површи са стабилним квазичестицама, сличним Фермијевој течности. Целовитија 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 гејџ-групе. Вероватно коначни 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.

Методолошки, сви ови радови комбинују 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, гејџ поља и поља материје) у AdS простору. Али даљи кораци морају превазићи ову парадигму, јер се инфрацрвена нестабилност, по свему судећи, не може уклонити. Кандидат сада (заједно са докторским студентом Владаном Гецином) ради на другачијем приступу, где се Фермијева површ описује ефективним гејџ-пољима чија симетрија има структуру групе петљи (енг. loop group). Сада у AdS простору нема фермиона већ се све своди на рачун са гејџ пољима, која се много лакше регуларизују.

Кандидат је такође проучавао холографске моделе јако интерагујућих електрона у спољашњем магнетном пољу. Тако је добијен (истина, крајње 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 10, 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 08, 2022, 222 (2022)
[arXiv:2204.10092[hep-th]]

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

Док 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), што их чини занимљивим и повезује са неким експерименталним резултатима, с 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 $U(N)$ гејџ поља. Сличне ситуације у којима се комбинују сламање 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 екзотичном 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.

Овде спадају радови [B7,B8,B9]:

М. Ћубровић

Confinement/deconfinement transition from symmetry breaking in gauge/gravity duality

Journal of High Energy Physics 10, 2016, 102 (2016)

[arXiv:1605.07849[hep-th]]

М. Ћубровић 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]]

Т. Куколј and М. Ћубровић

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 пример за случај 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 објекат). 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. Тако се круг затвара: с 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, а с 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 знатно 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 IIВ 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.

Наведени радови сви полазе 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 12, 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 05, 2022, 023 (2022)

[arXiv:2202.09443[hep-th]]

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]]

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]]

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]]

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 високо- и нискоенергетским системима, а с друге стране у овим другим често су везани за директно мерљиве величине. Главна преокупација кандидата у овом контексту је да, као и у претходној подцелини, 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 ће убудуће бити проучен систематски развој за Вигнерову

псеудорасподелу, а за мале системе биће искоришћена и егзактна дијагонализација.

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 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 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 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 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 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)

4. 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)

ИФ за 2022. годину xxx (M21)

5. 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)

ИФ за 2022. годину xxx (M21)

У првом раду 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 Реегове трајекторије. Показује се дакле да струна, као екстендирани објекат који излази ван оквира класичне гравитације, захтева модификацију границе хаоса, али минималну.

У другом раду кандидат је осмислио начин да се у системима где нема велике гејџ групе (великог N) те нема ни MSS границе ни квантног Љапуновљевог експонента (експонент је генерички нула!) 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 квантомеханичке моделе као што је Ено-Хаилсов хамилтонијан и за BMN матрични модел у теорији струна.

У трећем раду 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 II. 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. полуцрвоточине, конфигурације које управо одговарају и јако хаотичној динамици, што подржава слику ефективног само-усредњавања.

У четвртог раду, 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 Љапуновљевом 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 грнацом 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 петом раду 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 рапсодом 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 најпросто отказивање теорије пертурбације којом је рачунара матрица расејања.

3.1.2 Цитираност научних радова кандидата

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

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(2011)=1.42, СНИП(2016)=1.35, СНИП(2020)=1.17)

2 рада у Physical Review A (ИФ(2016)=2.925, ИФ(2017)=2.909, СНИП(2015)=1.07, СНИП(2017)=1.02)

1 рад у Physical Review B (ИФ(2014)=3.736, СНИП(2013)=1.32)

3 рада у Physical Review D (ИФ(2010)=4.964, ИФ(2013)=4.864, СНИП(2009)=1.66, СНИП(2011)=1.52, СНИП(2013)=1.41)

2 рада у Physical Review E (ИФ(2005)=2.418, СНИП(2005)=1.16, ИФ(2023)=1.630)

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 104.929, а у изборном периоду 34.129.

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

Кандидат је једини аутор радова [A1,B7,B10,B12]. Кандидат је водећи аутор на 5 радова са коауторима [A2,B2,B3,B8,C1], 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 [B1,B6,E1] кандидат је аутор нумеричког метода коришћеног за добијање резултата. Радови [B9,B11,B14-B16,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 [B1] 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 03, 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 04, 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 05, 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 докторским студентима 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 је редовно сарађује са студентима Физичког факултета у Београду и Природно-математичког факултета 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 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 семинарима Астрономија и Физика.

Od 2024. године, кандидат је коорганизатор студентске летње школе Petnica Summer International (PSI). Кандидат је задужен за теоријско издање школе, које покрива теорију високих 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 Учесће 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, у оквиру Лабораторије за примену рачунара у науци Центра изузетних вредности за изучавање комплексних система Института за физику у Београду, а учествовао је и у потпројекту 2, "Тополошке фазе" истог центра.

У периоду јул 2020. - јул 2022. године кандидат је учествовао у пројекту ПРОМИС Фонда за финансирање науке 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 Матемтичког института Стеклов 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 PROMIS пројекта Key2SM. Радионица је окупила водеће експерте из двеју области које проучавају јако корелисане електронске системе двама различитим методама: нумеричким решавањем Хабардовог 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 бекреакције 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, Београд 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, Београд 6) Weak chaos in the string-black hole scattering from classical to quantum, “Quantum Gravity, Strings and the Swampland”, 3.-9. септембар 2024. Такође је представљао своје резултате пријављеним предавањима на конференцијама, а одржао је и већи број семинара на разним 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 4 рада, први аутор 5 радова, и последњи аутор (као руководиоца рада студената) на 6 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 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			81.5	81.5

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

М категорије	Минимални услов	Нормирани остварени резултат
Укупно	50	81.5
M10+M20+M31+M32+M33+M41+M42	40	81.5
M11+M12+M21+M22+M23	30	74

5. 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]

М. 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

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, М. 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]

М. 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]

М. 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]

М. V. Medvedyeva, E. Gubankova, М. 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]

М. V. Medvedyeva, М. 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 IB 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. Solov'yov

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>

MENU

Share Export CV



Mihailo Cubrovic ✓

(Cubrovic, Mihailo)

[Edit](#)

Identifiers

Web of Science ResearcherID: AGY-9975-2022

<https://orcid.org/0000-0003-1266-9759>

Published names

Cubrovic, Mihailo Cubrovic, M. Cubrovic, M Cubrovic, M. T.

Organizations

University of Belgrade
University of Cologne
Goethe University Frankfurt
Leiden University
Frankfurt Inst Adv Studies

Subject Categories

Physics; Astronomy & Astrophysics; Optics; Engineering; Science & Technology - Other Topics

Metrics [← Open dashboard](#)

Profile summary

- 44** Total documents
- 44** Publications indexed in Web of Science
- 23** Web of Science Core Collection publications
- 21** Preprints
- 0** Dissertations or Theses
- 0** Non-indexed publications
- 0** Verified peer reviews
- 0** Verified editor records
- 0** Awarded grants

Web of Science Core Collection metrics

7	23
H-Index	Publications
502	435
Sum of Times Cited	Citing Articles
0	0
Sum of Times Cited by	Citing Patents

Documents
Peer Review

Showing 23 out of 44 publications indexed in Web of Science [+ Manage](#)

Publications indexed in Web of Science (44) Publications count dropped?



Showing 23 out of 44 publications indexed in Web of Science

[Manage](#)

- Publications indexed in Web of Science (44) Publications count dropped?
- Show me Web of Science Core Collection publication only (23) ?

Date: newest first < 1 of 1 >

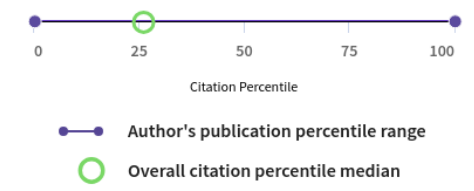
1	<p>Article</p> <p>Correlation functions for open strings and chaos</p> <p>Dukica, V and Cubrovic, M Apr 4 2024 JOURNAL OF HIGH ENERGY PHYSICS (4)</p> <p>Free Full Text from Publisher</p>	2 Citations	0 References
2	<p>Article</p> <p>Chaos and anomalous transport in a semiclassical Bose-Hubbard chain</p> <p>Markovic, D and Cubrovic, M Mar 28 2024 PHYSICAL REVIEW E 109 (3)</p> <p>View full text Free Submitted Article From Repository</p>	0 References	
3	<p>Article</p> <p>Weak chaos and mixed dynamics in the string S-matrix</p> <p>Savic, N and Cubrovic, M Mar 15 2024 JOURNAL OF HIGH ENERGY PHYSICS (3)</p> <p>Free Full Text from Publisher</p>	4 Citations	0 References
4	<p>Article</p> <p>Photoemission "experiments" on holographic lattices</p> <p>Herc, F; Gecin, V and Cubrovic, M Apr-jun 2023 SCIPOST PHYSICS CORE 6 (2) , pp.1-49</p> <p>Free Full Text from Publisher</p>	1 Citation	0 References

0 Sum of Times Cited by Patents

0 Citing Patents

[View citation report](#)

Author Impact Beamplot Summary



Percentile range displays for authors from 1980 to 2023. View all publications in full beamplot.

[Open metrics dashboard to view the beamplot >](#)

Author Position

This is a premium feature. [Learn more](#) about how to access all of Web of Science.

You might be interested in...

Heidarkhani, Shagour
West University
This is a premium feature. [Learn more](#) about how to access all of Web of Science.

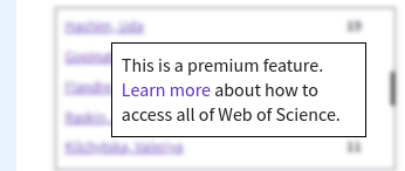
Tang, X
Central
This is a premium feature. [Learn more](#) about how to access all of Web of Science.





5	Article Replicas, averaging and factorization in the IIB matrix model Cubrovic, M Sep 19 2022 JOURNAL OF HIGH ENERGY PHYSICS (9) Free Full Text from Publisher	1 Citation 0 References
6	Article Emerging Fermi liquids from regulated quantum electron stars Chagnet, N; Dukic, V; (...); Schalm, K Aug 22 2022 JOURNAL OF HIGH ENERGY PHYSICS (8) Free Full Text from Publisher	2 Citations 0 References
7	Article Detecting few-body quantum chaos: out-of-time ordered correlators at saturation Markovic, D and Cubrovic, M May 4 2022 JOURNAL OF HIGH ENERGY PHYSICS (5) Free Full Text from Publisher	7 Citations 0 References
8	Article The bound on chaos for closed strings in Anti-de Sitter black hole backgrounds Cubrovic, M Dec 23 2019 JOURNAL OF HIGH ENERGY PHYSICS (12) Free Full Text from Publisher	17 Citations 0 References
9	Article Spontaneous isotropy breaking for vortices in nonlinear left-handed metamaterials Kukolj, T and Cubrovic, M Nov 25 2019 PHYSICAL REVIEW A 100 (5) Full Text at Publisher Free Submitted Article From Repository	2 Citations 0 References

Co-authors ⓘ





- 10 Article**
Vortex dynamics of counterpropagating laser beams in photorefractive materials
Cubrovic, M and Petrovic, M
Nov 2018 | OPTICAL AND QUANTUM ELECTRONICS 50 (11)
Full Text at Publisher
0 References
- 11 Article**
Quantum criticality in photorefractive optics: Vortices in laser beams and antiferromagnets
Cubrovic, M and Petrovic, MS
Nov 9 2017 | PHYSICAL REVIEW A 96 (5)
Full Text at Publisher Free Submitted Article From Repository
2 Citations
0 References
- 12 Article**
Confinement/deconfinement transition from symmetry breaking in gauge/gravity duality
Cubrovic, M
Oct 19 2016 | JOURNAL OF HIGH ENERGY PHYSICS (10)
Free Full Text from Publisher
2 Citations
0 References
- 13 Article**
Exciton-driven quantum phase transitions in holography
Gubankova, E; Cubrovic, M and Zaanen, J
Oct 28 2015 | PHYSICAL REVIEW D 92 (8)
Full Text at Publisher Free Submitted Article From Repository
5 Citations
0 References
- 14 Article**
Dissipation-induced first-order decoherence phase transition in a noninteracting fermionic system
Medvedyeva, MV; Cubrovic, MT and Kehrein, S
May 13 2015 | PHYSICAL REVIEW B 91 (20)
Full Text at Publisher Free Submitted Article From Repository
5 Citations
0 References



MENU

15	Article Quantum corrected phase diagram of holographic fermions Medvedyeva, MV; Gubankova, E; (...); Zaanen, J Dec 3 2013 JOURNAL OF HIGH ENERGY PHYSICS (12) Full Text at Publisher	7 Citations 0 References
16	Article Holographic fermions in external magnetic fields Gubankova, E; Brill, J; (...); Zaanen, J Nov 2 2011 PHYSICAL REVIEW D 84 (10) Full Text at Publisher Free Submitted Article From Repository	18 Citations 0 References
17	Article Spectral probes of the holographic Fermi ground state: Dialing between the electron star and AdS Dirac hair Cubrovic, M; Liu, Y; (...); Zaanen, J Oct 6 2011 PHYSICAL REVIEW D 84 (8) Full Text at Publisher Free Submitted Article From Repository	31 Citations 0 References
18	Article Constructing the AdS dual of a Fermi liquid: AdS black holes with Dirac hair Cubrovic, M; Zaanen, J and Schalm, K Oct 2011 JOURNAL OF HIGH ENERGY PHYSICS (10) Free Full Text From Publisher	23 Citations 0 References
19	Article String Theory, Quantum Phase Transitions, and the Emergent Fermi Liquid Cubrovic, M; Zaanen, J and Schalm, K Jul 24 2009 SCIENCE 325 (5939) , pp.439-444 Free Full Text From Publisher	367 Citations 0 References



MENU

[Researcher Search](#) > [Author Records](#) > [Author Profile](#) >

Weak chaos and mixed dynamics in the string S-matrix



Weak chaos and mixed dynamics in the string S-matrix

By Savic, N; Cubrovic, M

Source JOURNAL OF HIGH ENERGY PHYSICS
Issue: 3
DOI: 10.1007/JHEP03(2024)101

Article Number 101

Published MAR 15 2024

Document Type Article

Abstract We investigate chaotic dynamics in tree-level S-matrices describing the scattering of tachyons, photons and gravitons on highly excited open and closed bosonic strings, motivated by the string/black hole complementarity. The eigenphase spacing distribution and other indicators of quantum chaotic scattering suggest that the dynamics is only weakly chaotic, consisting of both regular/Poisson and chaotic/Wigner-Dyson processes. Only for special values of momenta and (for photon scattering) scattering angles do we find strong chaos of random matrix type. These special values correspond to a crossover between two regimes of scattering, dominated by short versus long partitions of the total occupation number of the highly excited string; they also maximize the information entropy of the S-matrix. The lack of strong chaos suggests that perturbative dynamics of highly excited strings can never describe the universal properties and maximal chaos of black hole horizons.



[+ See more data fields](#)

Citation Network

In Web of Science Core Collection

4

Citations

55

Cited References

This record is from:

Web of Science Core Collection

- Science Citation Index Expanded (SCI-EXPANDED)

Suggest a correction

If you would like to improve the quality of the data in this record, please [Suggest a correction](#)



MENU

[Researcher Search](#) > [Author Records](#) > [Author Profile](#) >

Chaos and anomalous transport in a semiclassical Bose-Hubbard chain



Chaos and anomalous transport in a semiclassical Bose-Hubbard chain

By Markovic, D (Markovic, Dragan) ; Cubrovic, M (Cubrovic, Mihailo)

[View Web of Science ResearcherID and ORCID](#) (provided by Clarivate)

Source PHYSICAL REVIEW E

Volume: 109 Issue: 3

DOI: 10.1103/PhysRevE.109.034213

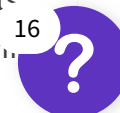
Article Number 034213

Published MAR 28 2024

Indexed 2024-04-17

Document Type Article

Abstract We study chaotic dynamics and anomalous transport in a Bose-Hubbard chain in the semiclassical regime (the limit when the number of particles goes to infinity). We find that the system has mixed phase space with both regular and chaotic dynamics, even for long chains with up to 100 wells. The consequence of the mixed phase space is strongly anomalous diffusion in the space of occupation numbers, with a discrete set of transport exponents. After very long times the system crosses over to the hydrodynamic regime with normal diffusion. Anomalous transport is quite universal and almost completely independent of the parameters of the model (Coulomb interaction and chemical potential): It is mainly determined by the initial distribution of particles along the chain. We corroborate our findings by analytical arguments, scaling analysis for the anomalous regime and the Langevin equation for the normal diffusion regime.



Addresses

- 1 Univ Belgrade, Dept Phys, Belgrade 11000, Serbia
- 2 Inst Phys Belgrade, Ctr Study Complex Syst, Belgrade 11080, Serbia

Categories/

Research Areas: Physics

Classification

Citation 5 > 5.56 Quantum > 5.56.325 Bose-Einstein
 Topics: Physics > Mechanics > Condensate

**Web of Science
Categories**

Physics, Fluids & Plasmas; Physics, Mathematical

[+ See more data fields](#)**Citation Network****In Web of Science Core Collection**

0 Citations

59

Cited References

Use in Web of Science

0

Last 180 Days

1

Since 2013

This record is from:**Web of Science Core Collection**

- Science Citation Index Expanded (SCI-EXPANDED)

Suggest a correction

If you would like to improve the quality of the data in this record, please [Suggest a correction](#)

16





MENU

[Researcher Search](#) > [Author Records](#) > [Author Profile](#) >

Correlation functions for open strings and chaos



Correlation functions for open strings and chaos

By Dukica, V; Cubrovic, M

Source JOURNAL OF HIGH ENERGY PHYSICS
Issue: 4
DOI: 10.1007/JHEP04(2024)025

Article Number 25

Published APR 4 2024

Document Type Article

Abstract We study the holographic interpretation of the bulk instability, i.e. the bulk Lyapunov exponent in the motion of open classical bosonic strings in AdS black hole/brane/string backgrounds. In the vicinity of homogeneous and isotropic horizons the bulk Lyapunov exponent saturates the MSS chaos bound but in fact has nothing to do with chaos as our string configurations live in an integrable sector. In the D1-D5-p black string background, the bulk Lyapunov exponent is deformed away from the MSS value both by the rotation (the infrared deformation) and the existence of an asymptotically flat region (the ultraviolet deformation). The dynamics is still integrable and has nothing to do with chaos (either in gravity or in field theory). Instead, the bulk Lyapunov scale captures the imaginary part of quasinormal mode frequencies. Therefore, the meaning of the bulk chaos is that it determines the thermal decay rate due to the coupling to the heat bath, i.e. the horizon.

[+ See more data fields](#)

16



Citation Network

In Web of Science Core Collection

2

Citations

98

Cited References

This record is from:

Web of Science Core Collection

- Science Citation Index Expanded (SCI-EXPANDED)
-

Suggest a correction

If you would like to improve the quality of the data in this record, please [Suggest a correction](#)



MENU

[Researcher Search](#) > [Author Records](#) > [Author Profile](#) >

Photoemission "experiments" on holographic lattices



Photoemission "experiments" on holographic lattices

By Herc, F; Gecin, V; Cubrovic, M

Source SCIPost PHYSICS CORE
Volume: 6 Issue: 2 Page: 1-49
DOI: 10.21468/SciPostPhysCore.6.2.027

Article Number 027

Published APR-JUN 2023

Document Type Article

Abstract We construct a 2D holographic ionic lattice with hyperscaling-violating infrared geometry and study single-electron spectral functions ("ARPES photoemission curves") on this background. The spectra typically show a three-peak structure, where the central peak undergoes a crossover from a sharp but not Fermi-liquid-like quasiparticle to a wide incoherent maximum, and the broad side peaks resemble the Hubbard bands. These findings are partially explained by a perturbative near-horizon analysis of the bulk Dirac equation. Comparing the holographic Green functions in imaginary frequency with the Green functions of the Hubbard model obtained from quantum Monte Carlo, we find that the holographic model provides a very good fit to the Hubbard Green function. However, the information loss when transposing the holographic Green functions to imaginary frequencies implies that a deeper connection to Hubbard-like models remains questionable.

[+ See more data fields](#)

16



Citation Network

In Web of Science Core Collection

1

Citation

76

Cited References

This record is from:

Web of Science Core Collection

- Emerging Sources Citation Index (ESCI)
-

Suggest a correction

If you would like to improve the quality of the data in this record, please [Suggest a correction](#)



MENU



Emerging Fermi liquids from regulated quantum electron stars

By Chagnet, N (Chagnet, Nicolas) ; Dukic, V (Dukic, Vladan) ; Cubrovic, M (Cubrovic, Mihailo) ; Schalm, K (Schalm, Koenraad)

[View Web of Science ResearcherID and ORCID](#) (provided by Clarivate)

Source JOURNAL OF HIGH ENERGY PHYSICS

Issue: 8

DOI: 10.1007/JHEP08(2022)222

Article Number 222

Published AUG 22 2022

Indexed 2022-09-01

Document Type Article

Abstract We construct a fully quantum zero-temperature electron star in a soft-wall regulated anti-de-Sitter Einstein-Maxwell-Dirac theory that is thermodynamically stable compared to the Reissner-Nordstrom black hole. The soft wall only acts on the effective mass of the fermionic degrees of freedom, and allows for a controlled fully backreacted solution. The star is holographically dual to an RG flow where a gapped Fermi liquid starts to emerge from a UV CFT, but decouples again once the effective energy scale becomes lower than the gap of the fermionic degrees of freedom. The RG flow then returns to a non-trivial strongly coupled relativistic fixed point with a holographic dual. Our regulated quantum electron star is thus the fermionic analogue of the Horowitz-Roberts-Gubser-Rocha AdS-to-AdS domain wall solution for the holographic superconductor.

Keywords **Author Keywords:** AdS-CFT Correspondence; Holography and

Condensed Matter Physics (AdS/CMT); Gauge-Gravity Correspondence;

16



Condensed Matter Physics (ADS/CMT); Gauge-Gravity Correspondence;
Renormalization Group

Addresses

¹ Leiden Univ, Inst Lorentz Theoret Phys, ITP, Niels Bohrweg 2, Leiden, Netherlands

² Univ Belgrade, Inst Phys Belgrade, Ctr Study Complex Syst, Pregrevica 118, Belgrade 11080, Serbia

³ Univ Belgrade, Dept Phys, Studentski Trg 12-16, Belgrade 11000, Serbia

Categories/

Research Areas: Physics

Classification

Citation 5 [5.9 Particles &](#) [5.9.51 AdS-CFT](#)
Topics: [Physics](#) [Fields](#) [Correspondence](#)

Web of Science Categories

Physics, Particles & Fields

[+ See more data fields](#)

Citation Network

In Web of Science Core Collection

2
Citations

31
Cited References

Use in Web of Science

0 **0**
Last 180 Days Since 2013

This record is from:

Web of Science Core Collection

- Science Citation Index Expanded (SCI-EXPANDED)

Suggest a correction

If you would like to improve the quality of the data in this record,





MENU



Detecting few-body quantum chaos: out-of-time ordered correlators at saturation

By Markovic, D (Markovic, Dragan) ; Cubrovic, M (Cubrovic, Mihailo)

[View Web of Science ResearcherID and ORCID](#) (provided by Clarivate)

Source JOURNAL OF HIGH ENERGY PHYSICS

Issue: 5

DOI: 10.1007/JHEP05(2022)023

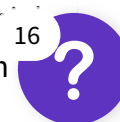
Article Number 023

Published MAY 4 2022

Indexed 2022-05-15

Document Type Article

Abstract We study numerically and analytically the time dependence and saturation of out-of-time ordered correlators (OTOC) in chaotic few-body quantum-mechanical systems: quantum Henon-Heiles system (weakly chaotic), BMN matrix quantum mechanics (strongly chaotic) and Gaussian random matrix ensembles. The growth pattern of quantum-mechanical OTOC is complex and nonuniversal, with no clear exponential regime at relevant timescales in any of the examples studied (which is not in contradiction to the exponential growth found in the literature for many-body systems, i.e. fields). On the other hand, the plateau (saturated) value of OTOC reached at long times decreases with temperature in a simple and universal way: $\exp(\text{const.}/T^2)$ for strong chaos (including random matrices) and $\exp(\text{const.}/T)$ for weak chaos. For small matrices and sufficiently complex operators, there is also another, ¹⁶ temperature regime where the saturated OTOC grows with temperature. Therefore, the plateau OTOC value is a



meaningful indicator of few-body quantum chaos. We also discuss some general consequences of our findings for the AdS/CFT duality.

Keywords

Author Keywords: AdS-CFT Correspondence; Field Theories in Lower Dimensions; Random Systems; Matrix Models

Addresses

¹ Univ Belgrade, Dept Phys, Studentski Trg 12-16, Belgrade 11000, Serbia

² Univ Belgrade, Inst Phys Belgrade, Ctr Study Complex Syst, Pregrevica 118, Belgrade 11080, Serbia

Categories/ Classification

Research Areas: Physics

Citation 5 [5.9 Particles & Fields](#) [5.9.51 AdS-CFT Correspondence](#)
Topics: [Physics](#) [Fields](#) [Correspondence](#)

Web of Science Categories

Physics, Particles & Fields

[+ See more data fields](#)

Citation Network

In Web of Science Core Collection

7
Citations

36
Cited References

Use in Web of Science

0 **4**
Last 180 Days Since 2013

This record is from:

Web of Science Core Collection

- Science Citation Index Expanded (SCI-EXPANDED)

[Suggest a correction](#)



16



MENU



Replicas, averaging and factorization in the IIB matrix model

By	Cubrovic, M (Cubrovic, Mihailo) View Web of Science ResearcherID and ORCID (provided by Clarivate)
Source	JOURNAL OF HIGH ENERGY PHYSICS Issue: 9 DOI: 10.1007/JHEP09(2022)136
Article Number	136
Published	SEP 19 2022
Indexed	2022-09-28
Document Type	Article
Abstract	<p>We study the partition functions of multiple replicas (copies) of D-brane configurations in the type IIB (IKKT) matrix model. We consider the quenched regime, where small fluctuations of the matrices are superimposed onto the slow (quenched) dynamics of the background, so the partition function is an ensemble average over the background. Interacting D-branes always factorize in a simple way. On the other hand, the non-interacting BPS configurations may or may not factorize depending on the number of replicas, and their factorization mechanism is more involved as the corresponding saddle-point solutions (half-wormholes) break the replica symmetry. We argue that the simple factorization mechanism of interacting branes is actually more interesting as it carries the specific signatures of quantum gravity, which are absent from disordered field theories like the SYK model.</p>
Keywords	Author Keywords: AdS-CFT Correspondence; Matrix Models; Mod... Quantum Gravity; Random Systems

16



Addresses

¹ Univ Belgrade, Ctr Study Complex Syst, Inst Phys
Belgrade, Pregrevica 118, Belgrade 11080, Serbia

**Categories/
Classification**

Research Areas: Physics

Citation **5** > [5.9 Particles &](#) > [5.9.51 AdS-CFT](#)
Topics: [Physics](#) [Fields](#) [Correspondence](#)

**Web of Science
Categories**

Physics, Particles & Fields

[+ See more data fields](#)

Citation Network

In Web of Science Core Collection

1

Citation

58

Cited References

Use in Web of Science

0

Last 180 Days

0

Since 2013

This record is from:**Web of Science Core Collection**

- Science Citation Index Expanded (SCI-EXPANDED)

Suggest a correction

If you would like to improve the quality of the data in this record, please [Suggest a correction](#)





MENU

[Researcher Search](#) > [Author Records](#) > [Author Profile](#) >

The bound on chaos for closed strings in Anti-de Sitter black hole backgrou...



The bound on chaos for closed strings in Anti-de Sitter black hole backgrounds

By Cubrovic, M

Source JOURNAL OF HIGH ENERGY PHYSICS
Issue: 12
DOI: 10.1007/JHEP12(2019)150

Article Number 150

Published DEC 23 2019

Document Type Article

Abstract We perform a systematic study of the maximum Lyapunov exponent values λ for the motion of classical closed strings in Anti-de Sitter black hole geometries with spherical, planar and hyperbolic horizons. Analytical estimates from the linearized variational equations together with numerical integrations predict the bulk Lyapunov exponent value as λ approximate to $2\pi Tn$, where n is the winding number of the string. The celebrated bound on chaos stating that $\lambda \leq 2\pi T$ is thus systematically modified for winding strings in the bulk. Within gauge/string duality, such strings apparently correspond to complicated operators which either do not move on Regge trajectories, or move on subleading trajectories with an unusual slope. Depending on the energy scale, the out-of-time-ordered correlation functions of these operators may still obey the bound $2\pi T$, or they may violate it like the bulk exponent. We do not know exactly why the bound on chaos can be modified but the indication from the gauge/string dual viewpoint is that the correlation functions of the

16



dual gauge operators never factorize and thus the original derivation of the bound on chaos does not apply.

[+ See more data fields](#)

Citation Network

In Web of Science Core Collection

17

Citations

52

Cited References

This record is from:

Web of Science Core Collection

- Science Citation Index Expanded (SCI-EXPANDED)

Suggest a correction

If you would like to improve the quality of the data in this record, please [Suggest a correction](#)





MENU

[Researcher Search](#) > [Author Records](#) > [Author Profile](#) >

Spontaneous isotropy breaking for vortices in nonlinear left-handed metam...



Spontaneous isotropy breaking for vortices in nonlinear left-handed metamaterials

By Kukolj, T; Cubrovic, M

Source PHYSICAL REVIEW A
Volume: 100 Issue: 5
DOI: 10.1103/PhysRevA.100.053853

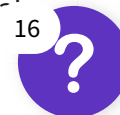
Article Number 053853

Published NOV 25 2019

Document Type Article

Abstract We explore numerically and analytically the pattern formation and symmetry breaking of beams propagating through left-handed (negative) nonlinear metamaterials. When the input beam is a vortex with topological charge (winding number) Q , the initially circular (isotropic) beam acquires the symmetry of a polygon with Q , $2Q$, or $3Q$ sides, depending on the details of the response functions of the material. Within an effective field-theory model, this phenomenon turns out to be a case of spontaneous dynamical symmetry breaking described by a Landau-Ginzburg functional. Complex nonlinear dependence of the magnetic permittivity on the magnetic field of the beam plays a central role, as it introduces branch cuts in the mean-field solution, and permutations among different branches give rise to discrete symmetries of the patterns. By considering loop corrections in the effective Landau-Ginzburg field theory we obtain reasonably accurate predictions of the numerical results.

16



[+ See more data fields](#)

Citation Network

In Web of Science Core Collection

2

Citations

37

Cited References

This record is from:

Web of Science Core Collection

- Science Citation Index Expanded (SCI-EXPANDED)

Suggest a correction

If you would like to improve the quality of the data in this record, please [Suggest a correction](#)





MENU

[Researcher Search](#) > [Author Records](#) > [Author Profile](#) >

Vortex dynamics of counterpropagating laser beams in photorefractive mate...



Vortex dynamics of counterpropagating laser beams in photorefractive materials

By Cubrovic, M (Cubrovic, Mihailo) ; Petrovic, M (Petrovic, Milan)
[View Web of Science ResearcherID and ORCID](#) (provided by Clarivate)

Source OPTICAL AND QUANTUM ELECTRONICS
Volume: 50 Issue: 11
DOI: 10.1007/s11082-018-1667-x

Article Number 406

Published NOV 2018

Indexed 2018-11-06

Document Type Article

Abstract We study vortex patterns of counterpropagating laser beams in a photorefractive crystal, with or without the background photonic lattice. The vortices are effectively planar and have two "flavors" because there are two opposite directions of beam propagation. In a certain parameter range, the vortices form stable equilibrium configurations which we study using the methods of statistical field theory and generalize the Berezinsky-Kosterlitz-Thouless transition of the XY model to the "two-flavor" case. In the nonequilibrium regime, the patterns exhibit an Andronov-Hopf bifurcation which may lead to oscillations (limit cycle), chaos or decay to zero intensity due to radiation losses. We show how to identify various pathways toward instability from intensity patterns, i.e. from experiment.

16



Keywords

Author Keywords: Vortex; BKT transition; Photorefractive optics; Statistical field theory

Keywords Plus: 2-DIMENSIONAL SYSTEMS; SYMMETRY-BREAKING; SOLITONS; FIELDS

Addresses

¹ Univ Belgrade, Inst Phys, Comp Sci Lab, Pregrevica 118, Belgrade 11080, Serbia

² Inst Phys, POB 57, Belgrade 11001, Serbia

³ Texas A&M Univ Qatar, POB 23874, Doha 23874, Qatar

**Categories/
Classification**

Research Areas: Engineering; Physics; Optics

Citation 5 > 5.230 > 5.230.1129 Spatial

Topics: Physics > Solitons > Solitons

Sustainable Development Goals: 07 Affordable and Clean Energy

**Web of Science
Categories**

Engineering, Electrical & Electronic; Quantum Science & Technology; Optics

[+ See more data fields](#)

Citation Network**Use in Web of Science****In Web of Science Core Collection**

0 Citations

30

Cited References

0

Last 180 Days

7

Since 2013

This record is from:**Web of Science Core Collection**

- Science Citation Index Expanded (SCI-EXPANDED)

Suggest a correction

16





MENU



Quantum criticality in photorefractive optics: Vortices in laser beams and antiferromagnets

By Cubrovic, M (Cubrovic, Mihailo) ; Petrovic, MS (Petrovic, Milan S.)

[View Web of Science ResearcherID and ORCID](#) (provided by Clarivate)

Source PHYSICAL REVIEW A
Volume: 96 Issue: 5
DOI: 10.1103/PhysRevA.96.053824

Article Number 053824

Published NOV 9 2017

Indexed 2017-11-23

Document Type Article

Abstract We study vortex patterns in a prototype nonlinear optical system: counterpropagating laser beams in a photorefractive crystal, with or without the background photonic lattice. The vortices are effectively planar and have two "flavors" because there are two opposite directions of beam propagation. In a certain parameter range, the vortices form stable equilibrium configurations which we study using the methods of statistical field theory and generalize the Berezinsky-Kosterlitz-Thouless transition of the XY model to the "two-flavor" case. In addition to the familiar conductor and insulator phases, we also have the perfect conductor (vortex proliferation in both beams or "flavors") and the frustrated insulator (energy costs of vortex proliferation and vortex annihilation balance each other). In the presence of disorder in the background lattice, a phase appears which shows long-range correlations and absence of long-range order, thus being analogous to glasses. An important benefit of this approach is that qualitative behavior

16



of patterns can be known without intensive numerical work over large areas of the parameter space. The observed phases are analogous to those in magnetic systems, and make (classical) photorefractive optics a fruitful testing ground for (quantum) condensed matter systems. As an example, we map our system to a doped $O(3)$ antiferromagnet with Z_2 defects, which has the same structure of the phase diagram.

Keywords

Keywords Plus: PHOTONIC LATTICES; 2-DIMENSIONAL SYSTEMS; PHASE-TRANSITIONS; SYMMETRY-BREAKING; DYNAMICS; EQUILIBRIUM; SOLITONS; MODEL

Addresses

¹ Univ Belgrade, Inst Phys, Sci Comp Lab, Pregrev 118, Belgrade 11080, Serbia

² Inst Phys, POB 57, Belgrade 11001, Serbia

³ Texas A & M Univ Qatar, POB 23874, Doha, Qatar

**Categories/
Classification**

Research Areas: Optics; Physics

Citation 5 > 5.230 > 5.230.1129 Spatial

Topics: Physics > Solitons > Solitons

Sustainable Development Goals: 07 Affordable and Clean Energy

**Web of Science
Categories**

Optics; Physics, Atomic, Molecular & Chemical

[+ See more data fields](#)

Citation Network**Use in Web of Science**

In Web of Science Core Collection

2

Citations

63

Cited References

0

Last 180 Days

14

Since 2013

This record is from:

16



Web of Science Core Collection



MENU



Confinement/deconfinement transition from symmetry breaking in gauge/gravity duality

By	Cubrovic, M (Cubrovic, Mihailo) View Web of Science ResearcherID and ORCID (provided by Clarivate)
Source	JOURNAL OF HIGH ENERGY PHYSICS Issue: 10 DOI: 10.1007/JHEP10(2016)102
Article Number	102
Published	OCT 19 2016
Indexed	2016-12-07
Document Type	Article
Abstract	<p>We study the confinement/deconfinement transition in a strongly coupled system triggered by an independent symmetry-breaking quantum phase transition in gauge/gravity duality. The gravity dual is an Einstein-scalar-dilaton system with AdS near-boundary behavior and soft wall interior at zero scalar condensate. We study the cases of neutral and charged condensate separately. In the former case the condensation breaks the discrete $Z(2)$ symmetry while a charged condensate breaks the continuous $U(1)$ symmetry. After the condensation of the order parameter, the non-zero vacuum expectation value of the scalar couples to the dilaton, changing the soft wall geometry into a non-confining and anisotropically scale-invariant infrared metric. In other words, the formation of long-range order is immediately followed by the deconfinement transition and the two critical points coincide. The confinement phase has a scale - the confinement scale (energy gap) which vanishes in the deconfined case. Therefore, the breaking of the</p>

16



symmetry of the scalar ($Z(2)$ or $U(1)$) in turn restores the scaling symmetry in the system and neither phase has a higher overall symmetry than the other. When the scalar is charged the phase transition is continuous which goes against the Ginzburg-Landau theory where such transitions generically only occur discontinuously. This phenomenon has some commonalities with the scenario of deconfined criticality. The mechanism we have found has applications mainly in effective field theories such as quantum magnetic systems. We briefly discuss these applications and the relation to real-world systems.

Keywords

Author Keywords: AdS-CFT Correspondence; Gauge-gravity correspondence; Holography and condensed matter physics (AdS/CMT) ; Holography and quark-gluon plasmas

Addresses

¹ Univ Cologne, Inst Theoret Phys, Zulpicher Str 77, D-50937 Cologne, Germany

Categories/ Classification

Research Areas: Physics

Citation 5 [5.9 Particles & Fields](#) [5.9.51 AdS-CFT Correspondence](#)

Topics: [Physics](#) [Fields](#)

[Correspondence](#)

Web of Science Categories

Physics, Particles & Fields

[+ See more data fields](#)

Citation Network

In Web of Science Core Collection

2
Citations

43
Cited References

Use in Web of Science

0 **1**
Last 180 Days Since 2013

This record is from:

Web of Science Core Collection





MENU



Dissipation-induced first-order decoherence phase transition in a noninteracting fermionic system

By Medvedyeva, MV (Medvedyeva, M. V.) ; Cubrovic, MT (Cubrovic, M. T.) ; Kehrein, S (Kehrein, S.)

[View Web of Science ResearcherID and ORCID](#) (provided by Clarivate)

Source PHYSICAL REVIEW B
Volume: 91 Issue: 20
DOI: 10.1103/PhysRevB.91.205416

Article Number 205416

Published MAY 13 2015

Indexed 2015-06-03

Document Type Article

Abstract We consider a quantum wire connected to the leads and subjected to dissipation along its length. The dissipation manifests as tunneling into (out of) the chain from (to) a memoryless environment. The evolution of the system is described by the Lindblad equation. Already infinitesimally small dissipation along the chain induces a quantum phase transition (QPT). This is a decoherence QPT: the reduced density matrix of a subsystem in the nonequilibrium steady state (far from the ends of the chain) can be represented as the tensor product of single-site density matrices. The QPT is identified from the jump of the current and the entropy per site as the dissipation becomes nonzero. We also explore the properties of the boundaries of the chain close to the transition point and observe that the boundaries behave as if they undergo a second-order phase transition as a function of the dissipation strength: the particle-particle correlation

16



functions and the response to the electric field exhibit a power-law divergence. Disorder is known to localize one-dimensional systems, but the coupling to the memoryless environment pushes the system back into the delocalized state even in the presence of disorder. Interestingly, we observe a similar transition in the classical dissipative counterflow model: the current has a jump at the ends of the chain introducing an infinitely small dissipation.

Keywords	Keywords Plus: ELECTRON-TRANSPORT; QUANTUM; STATISTICS; CHAIN
Addresses	<p>¹ Univ Gottingen, Inst Theoret Phys, D-37077 Gottingen, Germany</p> <p>² Univ Cologne, Inst Theoret Phys, D-50937 Cologne, Germany</p>
Categories/ Classification	<p>Research Areas: Materials Science; Physics</p> <p>Citation 5 5.33 Semiconductor 5.33.329 Quantum</p> <p>Topics: Physics Physics Hall Effect</p>
Web of Science Categories	Materials Science, Multidisciplinary; Physics, Applied; Physics, Condensed Matter

[+ See more data fields](#)

Citation Network

In Web of Science Core Collection

5
Citations

35
Cited References

Use in Web of Science

0 **3**
Last 180 Days Since 2013

This record is from:

Web of Science Core Collection ¹⁶

- Science Citation Index Expanded (SCI-EXPANDED)





MENU



Exciton-driven quantum phase transitions in holography

By Gubankova, E (Gubankova, E.) ; Cubrovic, M (Cubrovic, M.) ; Zaanen, J (Zaanen, J.)

[View Web of Science ResearcherID and ORCID](#) (provided by Clarivate)

Source PHYSICAL REVIEW D
Volume: 92 Issue: 8
DOI: 10.1103/PhysRevD.92.086004

Article Number 086004

Published OCT 28 2015

Indexed 2015-11-18

Document Type Article

Abstract We study phase transitions driven by fermionic double-trace deformations in gauge-gravity duality. Both the strength of the double-trace deformation and the infrared conformal dimension/self-energy scaling of the quasiparticle can be used to decrease the critical temperature to zero, leading to a line of quantum critical points. The self-energy scaling is controlled indirectly through an applied magnetic field and the quantum phase transition naturally involves the condensation of a fermion bilinear which models the spin density wave in an antiferromagnetic state. The nature of the quantum critical points depends on the parameters and we find either a Berezinsky-Kosterlitz-Touless-type transition or one of two distinct second-order transitions with non-mean-field exponents. One of these is an anomalous branch where the order parameter of constituent non-Fermi liquid quasiparticles is enhanced by the magnetic field. Stabilization of ordered non-Fermi liquids by a strong magnetic field is observed in experiments with highly oriented pyrolytic graphite.



Addresses

¹ Leiden Univ, Inst Lorentz, Niels Bohrweg 2, NL-2300 RA
Leiden, Netherlands

² Goethe Univ Frankfurt, Inst Theoret Phys, D-60438
Frankfurt, Germany

**Categories/
Classification**

Research Areas: Astronomy & Astrophysics; Physics

Citation **5** [5.9 Particles &](#) [5.9.51 AdS-CFT](#)
Topics: [Physics](#) [Fields](#) [Correspondence](#)

**Web of Science
Categories**

Astronomy & Astrophysics; Physics, Particles & Fields

[+ See more data fields](#)

Citation Network

In Web of Science Core Collection

5
Citations

63
Cited References

Use in Web of Science

0 **15**
Last 180 Days Since 2013

This record is from:**Web of Science Core Collection**

- Science Citation Index Expanded (SCI-EXPANDED)

Suggest a correction

If you would like to improve the quality of the data in this record, please [Suggest a correction](#)

16





MENU



Quantum corrected phase diagram of holographic fermions

By Medvedyeva, MV (Medvedyeva, Mariya V.) ; Gubankova, E (Gubankova, Elena) ; Cubrovic, M (Cubrovic, Mihailo) ; Schalm, K (Schalm, Koenraad) ; Zaanen, J (Zaanen, Jan)

[View Web of Science ResearcherID and ORCID](#) (provided by Clarivate)

Source JOURNAL OF HIGH ENERGY PHYSICS
Issue: 12
DOI: 10.1007/JHEP12(2013)025

Article Number 025

Published DEC 3 2013

Indexed 2014-01-15

Document Type Article

Abstract We study the phases of strongly correlated electron systems in two spatial dimensions in the framework of AdS(4)/CFT3 correspondence. The AdS (gravity) model consists of a Dirac fermion coupled to electromagnetic field and gravity. To classify the ground states of strongly correlated electrons on the CFT side and to construct the full phase diagram of the system, we construct a quantum many-body model of bulk fermion dynamics, based on the WKB approximation to the Dirac equation. At low temperatures, we find a quantum corrected approximation to the electron star where the edge is resolved in terms of wave functions extended fully through AdS. At high temperatures, the system exhibits a first order thermal phase transition to a charged AdS-RN black hole in the bulk and the emergence of local quantum criticality on the CFT side. This change from the third order transition experienced by the semi-classical electron star restores the intuition that the transition between the critical AdS-RN liquid and the finite



density Fermi system is of van der Waals liquid-gas type.

Keywords

Author Keywords: AdS-CFT Correspondence; Black Holes; Holography and condensed matter physics (AdS/CMT)

Addresses

¹ Univ Gottingen, Dept Phys, D-37077 Gottingen, Germany

² Goethe Univ Frankfurt, Inst Theoret Phys, D-60438 Frankfurt, Germany

³ Leiden Univ, Delta Inst Theoret Phys, Inst Lorentz, NL-2300 RA Leiden, Netherlands

Categories/ Classification

Research Areas: Physics

Citation 5 5.9 Particles & Fields 5.9.51 AdS-CFT
Topics: Physics Correspondence

Web of Science Categories

Physics, Particles & Fields

[+ See more data fields](#)

Citation Network

In Web of Science Core Collection

7
Citations

38
Cited References

Use in Web of Science

0 **3**
Last 180 Days Since 2013

This record is from:

Web of Science Core Collection

- Science Citation Index Expanded (SCI-EXPANDED)

16





MENU



Holographic fermions in external magnetic fields

By Gubankova, E (Gubankova, E.) ; Brill, J (Brill, J.) ; Cubrovic, M (Cubrovic, M.) ; Schalm, K (Schalm, K.) ; Schijven, P (Schijven, P.) ; Zaanen, J (Zaanen, J.)

[View Web of Science ResearcherID and ORCID](#) (provided by Clarivate)

Source PHYSICAL REVIEW D
Volume: 84 Issue: 10
DOI: 10.1103/PhysRevD.84.106003

Article Number 106003

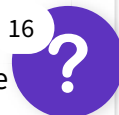
Published NOV 2 2011

Indexed 2011-11-30

Document Type Article

Abstract We study the Fermi-level structure of 2 + 1-dimensional strongly interacting electron systems in external magnetic field using the gauge/gravity duality correspondence. The gravity dual of a finite density fermion system is a Dirac field in the background of the dyonic AdS-Reissner-Nordstrom black hole. In the probe limit, the magnetic system can be reduced to the nonmagnetic one, with Landau-quantized momenta and rescaled thermodynamical variables. We find that at strong enough magnetic fields, the Fermi surface vanishes and the quasiparticle is lost either through a crossover to conformal regime or through a phase transition to an unstable Fermi surface. In the latter case, the vanishing Fermi velocity at the critical magnetic field triggers the non-Fermi-liquid regime with unstable quasiparticles and a change in transport properties of the system. We associate it with a metal-"strange-metal" phase transition. Next, we compute DC Hall and longitudinal conductivities using the gravity-

16



dressed fermion propagators. For dual fermions with a large charge, many different Fermi surfaces contribute and the Hall conductivity is quantized as expected for integer quantum Hall effect (QHE). At strong magnetic fields, as additional Fermi surfaces open up, new plateaus typical for the fractional QHE appear. The somewhat irregular pattern in the length of fractional QHE plateaus resembles the outcomes of experiments on thin graphite in a strong magnetic field. Finally, motivated by the absence of the sign problem in holography, we suggest a lattice approach to the AdS calculations of finite density systems.

Keywords

Keywords Plus: TRANSITIONS

Addresses

¹ Goethe Univ Frankfurt, Inst Theoret Phys, D-60438 Frankfurt, Germany

² Leiden Univ, Inst Lorentz Theoret Phys, NL-2300 RA Leiden, Netherlands

³ ITEP, Moscow, Russia

**Categories/
Classification**

Research Areas: Astronomy & Astrophysics; Physics

Citation 5, 5.9 Particles & Fields, 5.9.51 AdS-CFT
Topics: Physics, Fields, Correspondence

**Web of Science
Categories**

Astronomy & Astrophysics; Physics, Particles & Fields

[+ See more data fields](#)

Citation Network**Use in Web of Science**

In Web of Science Core Collection

18

Citations

56

Cited References

0

Last 180 Days

6

Since 2013

16





MENU



Spectral probes of the holographic Fermi ground state: Dialing between the electron star and AdS Dirac hair

By Cubrovic, M (Cubrovic, Mihailo) ; Liu, Y (Liu, Yan) ; Schalm, K (Schalm, Koenraad) ; Sun, YW (Sun, Ya-Wen) ; Zaanen, J (Zaanen, Jan)

[View Web of Science ResearcherID and ORCID](#) (provided by Clarivate)

Source PHYSICAL REVIEW D
Volume: 84 Issue: 8
DOI: 10.1103/PhysRevD.84.086002

Article Number 086002

Published OCT 6 2011

Indexed 2011-11-16

Document Type Article

Abstract We argue that the electron star and the anti-de Sitter (AdS) Dirac hair solution are two limits of the free charged Fermi gas in AdS. Spectral functions of holographic duals to probe fermions in the background of electron stars have a free parameter that quantifies the number of constituent fermions that make up the charge and energy density characterizing the electron star solution. The strict electron star limit takes this number to be infinite. The Dirac hair solution is the limit where this number is unity. This is evident in the behavior of the distribution of holographically dual Fermi surfaces. As we decrease the number of constituents in a fixed electron star background the number of Fermi surfaces also decreases. An improved holographic Fermi ground state should be a configuration that shares the qualitative properties of both limits.

16



Addresses

¹ Leiden Univ, Inst Lorentz Theoret Phys, NL-2300 RA
Leiden, Netherlands

**Categories/
Classification**

Research Areas: Astronomy & Astrophysics; Physics

Citation **5** [5.9 Particles &](#) [5.9.51 AdS-CFT](#)
Topics: [Physics](#) [Fields](#) [Correspondence](#)

**Web of Science
Categories**

Astronomy & Astrophysics; Physics, Particles & Fields

[+ See more data fields](#)

Citation Network

In Web of Science Core Collection

31
Citations

24
Cited References

Use in Web of Science

0 **2**
Last 180 Days Since 2013

This record is from:**Web of Science Core Collection**

- Science Citation Index Expanded (SCI-EXPANDED)

Suggest a correction

If you would like to improve the quality of the data in this record, please [Suggest a correction](#)





MENU



Constructing the AdS dual of a Fermi liquid: AdS black holes with Dirac hair

By Cubrovic, M (Cubrovic, Mihailo) ; Zaanen, J (Zaanen, Jan) ; Schalm, K (Schalm, Koenraad)

[View Web of Science ResearcherID and ORCID](#) (provided by Clarivate)

Source JOURNAL OF HIGH ENERGY PHYSICS

Issue: 10

DOI: 10.1007/JHEP10(2011)017

Article Number 017

Published OCT 2011

Indexed 2012-01-04

Document Type Article

Abstract We provide evidence that the holographic dual to a strongly coupled charged Fermi liquid has a non-zero fermion density in the bulk. We show that the pole-strength of the stable quasiparticle characterizing the Fermi surface is encoded in the AdS probability density of a single normalizable fermion wavefunction in AdS. Recalling Migdal's theorem which relates the pole strength to the Fermi-Dirac characteristic discontinuity in the number density at $\omega(F)$, we conclude that the AdS dual of a Fermi liquid is described by occupied on-shell fermionic modes in AdS. Encoding the occupied levels in the total spatially averaged probability density of the fermion field directly, we show that an AdS Reissner-Nordstrom black hole in a theory with charged fermions has a critical temperature, at which the system undergoes a first-order transition to a black hole with a non-vanishing profile for the bulk fermion field. Thermodynamics and spectral analysis support that the solution with non-zero AdS fermion-profile is the preferred ground state at low temperatures.



Keywords	Author Keywords: Black Holes in String Theory; AdS-CFT Correspondence; Holography and condensed matter physics (AdS/CMT)
Addresses	¹ Leiden Univ, Inst Lorentz Theoret Phys, NL-2300 RA Leiden, Netherlands
Categories/ Classification	Research Areas: Physics Citation 5 > 5.9 Particles & Fields > 5.9.51 AdS-CFT Correspondence Topics: Physics Fields Correspondence
Web of Science Categories	Physics, Particles & Fields

[+ See more data fields](#)

Citation Network

In Web of Science Core Collection

23

Citations

41

Cited References

Use in Web of Science

0

Last 180 Days

2

Since 2013

This record is from:

Web of Science Core Collection

- Science Citation Index Expanded (SCI-EXPANDED)

Suggest a correction

If you would like to improve the quality of the data in this record, please [Suggest a correction](#) ¹⁶





MENU



String Theory, Quantum Phase Transitions, and the Emergent Fermi Liquid

By Cubrovic, M (Cubrovic, Mihailo) ; Zaanen, J (Zaanen, Jan) ; Schalm, K (Schalm, Koenraad)

[View Web of Science ResearcherID and ORCID](#) (provided by Clarivate)

Source SCIENCE
Volume: 325 Issue: 5939 Page: 439-444
DOI: 10.1126/science.1174962

Published JUL 24 2009

Indexed 2009-07-24

Document Type Article

Abstract A central problem in quantum condensed matter physics is the critical theory governing the zero-temperature quantum phase transition between strongly renormalized Fermi liquids as found in heavy fermion intermetallics and possibly in high-critical temperature superconductors. We found that the mathematics of string theory is capable of describing such fermionic quantum critical states. Using the anti-de Sitter/conformal field theory correspondence to relate fermionic quantum critical fields to a gravitational problem, we computed the spectral functions of fermions in the field theory. By increasing the fermion density away from the relativistic quantum critical point, a state emerges with all the features of the Fermi liquid.

Addresses ¹ Leiden Univ, Inst Lorentz Theoret Phys, Leiden, Netherlands

Categories/ Research Areas: Science & Technology - Other Topics

16



Classification

Citation **5** [5.9 Particles & Fields](#) [5.9.51 AdS-CFT Correspondence](#)
 Topics: [Physics](#) [Fields](#) [Correspondence](#)

Web of Science Categories

Multidisciplinary Sciences

[+ See more data fields](#)

Citation Network

In Web of Science Core Collection

367

Citations

29

Cited References

Use in Web of Science

0

Last 180 Days

50

Since 2013

This record is from:**Web of Science Core Collection**

- Science Citation Index Expanded (SCI-EXPANDED)

Suggest a correction

If you would like to improve the quality of the data in this record, please [Suggest a correction](#)





MENU



Semistiff polymer model of unfolded proteins and its application to NMR residual dipolar couplings

By Cubrovic, M (Cubrovic, M.) ; Obolensky, OI (Obolensky, O. I.)
; Solov'yov, AV (Solov'yov, A. V.)

[View Web of Science ResearcherID and ORCID](#) (provided by Clarivate)

Source EUROPEAN PHYSICAL JOURNAL D
Volume: 51 Issue: 1 Page: 41-49
DOI: 10.1140/epjd/e2008-00195-x

Published JAN 2009

Indexed 2009-01-01

Document Type Article

Abstract We present a new statistical model of unfolded proteins in which the stiffness of polypeptide backbone is taken into account. We construct and solve a mean field equation which has the form of a diffusion equation and derive the distribution function for conformations of unfolded polypeptides. Accounting for the stiffness of the protein backbone results in a more accurate description of general properties of a polypeptide chain, such as its gyration radius. We then use the distribution function of a semistiff protein within a previously developed theoretical framework [J. Biomol. NMR 39, 1 (2007)] to determine the nuclear magnetic resonance (NMR) residual dipolar couplings (RDCs) in unfolded proteins. The calculated RDC profiles (dependence of the RDC value on the residue number) exhibit a more prominent bell-like shape and a better agreement with experimental data as compared to the previous results obtained with the random flights chain m

16

**Keywords****Keywords Plus:** STAFF

Keywords	Keywords (Author)
Addresses	<p>¹ Frankfurt Inst Adv Studies, D-60438 Frankfurt, Germany</p> <p>² Inst Phys, Belgrade 11001, Serbia</p>
Categories/ Classification	<p>Research Areas: Optics; Physics</p> <p>Citation 2 2.123 Protein Structure, Folding & Modelling 2.123.13 Protein Folding</p> <p>Topics: Chemistry Protein Folding</p> <p>Sustainable Development Goals: 03 Good Health and Well-being</p>
Web of Science Categories	Optics; Physics, Atomic, Molecular & Chemical

[+ See more data fields](#)

Citation Network

In Web of Science Core Collection

5
Citations

26
Cited References

Use in Web of Science

0 **3**
Last 180 Days Since 2013

This record is from:

Web of Science Core Collection

- Science Citation Index Expanded (SCI-EXPANDED)

Suggest a correction

If you would like to improve the quality of the data in this record, please [Suggest a correction](#)





MENU



Fractional kinetic model for chaotic transport in nonintegrable Hamiltonian systems

By Cubrovic, M (Cubrovic, M)
[View Web of Science ResearcherID and ORCID](#) (provided by Clarivate)

Source PHYSICAL REVIEW E
Volume: 72 Issue: 2 Part: 2
DOI: 10.1103/PhysRevE.72.025204

Article Number 025204

Published AUG 2005

Indexed 2005-08-01

Document Type Article

Abstract We propose a kinetic model of transport in nonintegrable Hamiltonian systems, based on a fractional kinetic equation with spatially dependent diffusion coefficient. The diffusion coefficient is estimated from the remainder of the optimal normal form for the given region of the phase space. After partitioning the phase space into building blocks, a separate equation can be constructed for each block. Solving the kinetic equations approximately and estimating the diffusion time scales, we convolve the solutions to get the description of the macroscopic behavior. We show that, in the limit of infinitely many blocks, one can expect an approximate scaling relation between the Lyapunov time and the diffusion (or escape) time, which is either an exponential or a power law. We check our results numerically on over a dozen Hamiltonians and find a good agreement.

Addresses Inst Phys, Belgrade 11001, Serbia Monteneg

16



Petnica Sci Ctr, Dept Astron, Valjevo 14104, Serbia Monteneg

Categories/ Classification

Research Areas: Physics

Citation 5 > 5.56 Quantum > 5.56.706 Quantum
Topics: Physics Mechanics Chaos

Web of Science Categories

Physics, Fluids & Plasmas; Physics, Mathematical

[+ See more data fields](#)

Citation Network

In Web of Science Core Collection

1

Citation

23

Cited References

Use in Web of Science

0

Last 180 Days

1

Since 2013

This record is from:

Web of Science Core Collection

- Science Citation Index Expanded (SCI-EXPANDED)

Suggest a correction

If you would like to improve the quality of the data in this record, please [Suggest a correction](#)





MENU



Fully analytical kinetic model of resonance dynamics in the solar system

By	Cubrovic, M (Cubrovic, Mihailo)
Edited by	Knezevic, Z (Knezevic, Z) ; Cvetkovic, Z (Cvetkovic, Z) ; Cirkovic, MM (Cirkovic, MM) View Web of Science ResearcherID and ORCID (provided by Clarivate)
Source	Proceedings of the 14th National Conference of Astronomers of Serbia and Montenegro Issue: 80 Page: 173-177
Book Series	PUBLICATIONS OF THE ASTRONOMICAL OBSERVATORY OF BELGRADE--SERIES
Published	2006
Indexed	2006-01-01
Document Type	Proceedings Paper
Conference	Meeting: 14th National Conference of Astronomers of Serbia and Montenegro Location: Belgrade, SERBIA Date: OCT 12-15, 2005
Abstract	We propose a fractional kinetic equation to model the transport in eccentricity of objects in the mean motion resonances in the Elliptic Planar Restricted Three-Body Problem. Making use of the renormalization group formalism, we show how the fractional exponents and the diffusion coefficient can be estimated analytically, making use of the degeneracy of the problem. We apply our model to selected Mean Motion Resonances in the Solar System and explain some basic properties of transport in these resonances.



Keywords	Keywords Plus: STABLE CHAOS; TRANSPORT
Addresses	Inst Phys, Belgrade 11001, Serbia
Categories/ Classification	Research Areas: Astronomy & Astrophysics Citation 5 > 5.191 Space > 5.191.151 Topics: Physics > Sciences > Asteroids
Web of Science Categories	Astronomy & Astrophysics

[+ See more data fields](#)

Citation Network

In Web of Science Core Collection

0 Citations

11

Cited References

Use in Web of Science

0

Last 180 Days

0

Since 2013

This record is from:

Web of Science Core Collection

- Conference Proceedings
Citation Index – Science
(CPCI-S)

Suggest a correction

If you would like to improve the quality of the data in this record, please [Suggest a correction](#)





Република Србија
МИНИСТАРСТВО ПРОСВЕТЕ,
НАУКЕ И ТЕХНОЛОШКОГ РАЗВОЈА

Број: 612-01-02635/2016-06

Датум: 09.01.2017. године

Немањина 22-26

Београд

ЈК

На основу члана 105б. став 4. Закона о високом образовању („Службени гласник РС”, бр. 76/05, аутентично тумачење – 100/07, 97/08, 44/10, 93/12, 89/13, 99/14, 45/15 – аутентично тумачење и 68/15), члана 192. став 1. Закона о општем управном поступку („Службени гласник СРЈ”, бр. 33/97 и 31/01. „Службени гласник РС”, број 30/10) и члана 23. став 2. Закона о државној управи („Службени гласник РС”, бр. 79/05, 101/07, 95/10 и 99/14), решавајући по захтеву Михаила Чубровића из Београда, Република Србија, за признавање високошколске исправе издате у Краљевини Холандији, ради запошљавања,

министар просвете, науке и технолошког развоја доноси

РЕШЕЊЕ

Диплома коју је 27.02.2013. године на име Михаило Чубровић издао Универзитет у Лајдену (Universiteit Leiden), Лајден, Краљевина Холандија, о завршеним докторским академским студијама, студијски програм: Физика, звање/квалификација: Doctor, **признаје се** као диплома докторских академских студија трећег степена високог образовања (180 ЕСПБ), у оквиру образовно-научног поља Природно-математичких наука, научна, односно стручне области Физичке науке, ради запошљавања.

Ово решење омогућава имаоцу општи приступ тржишту рада у Републици Србији, али га не ослобађа од испуњавања посебних услова за бављење професијама које су регулисане законом или другим прописом.

Образложење

Овом министарству обратило се Михаило Чубровић из Београда, Република Србија захтевом за признавање дипломе Универзитета у Лајдену (Universiteit Leiden), Лајден, Краљевина Холандија, о завршеним докторским академским студијама, студијски програм: Физика, звање/квалификација: Doctor, ради запошљавања.

Уз захтев, подносилац захтева доставио је:

- 1) оверену копију дипломе издате 27.02.2013. године, коју је издао Универзитет у Лајдену (Universiteit Leiden), Лајден, Краљевина Холандија, студије трећег степена високог образовања (180 ЕСПБ), студијски програм : Физика, звање/квалификација: Doctor,
- 2) оверени превод дипломе са латинског на енглески и са енглеског на српски језик,
- 3) апстракт рада на енглеском језику,
- 4) примерак докторске дисертације на изворном језику,
- 5) радну биографију и листу радова на енглеском језику,
- 6) пријавни формулар и
- 7) доказ о уплати таксе за професионално признавање.

Чланом 105 б. став 4. прописано је да Министар доноси решење о професионалном признавању у року од 90 дана од дана пријема уредног захтева.

Одредбама члана 192. Закона о општем управном поступку прописано је да на основу одлучних чињеница утврђених у поступку орган надлежан за решавање доноси решење у управној ствари која је предмет поступка.

Одредбама члана 23. став 2. Закона о државној управи прописано је да Министар представља Министарство, доноси прописе и решења у управним и другим појединачним стварима и одлучује о другим питањима из делокруга Министарства.

Чланом 104. став 1. Закона о високом образовању, прописано је да признавање стране високошколске исправе јесте поступак којим се имаоцу те исправе утврђује право на наставак образовања, односно на запошљавање. Поступак признавања стране високошколске исправе спроводи се у складу са одредбама овог закона, ако међународним уговором није предвиђено другачије.

Сходно одредбама члана 105. став 1. и 6. Закона о високом образовању и васпитању, ENIC/NARIC центар при Министарству просвете, науке и технолошког развоја, прибавио је релевантне информације о студијском програму на ком је стечена диплома из става 2. тачка 1) образложења овог решења.

У складу са чланом 105. став 4. Закона о високом образовању, комисија коју је именовао министар извршила је прво вредновање студијског програма на коме је стечена диплома из става 2. тачка 1) образложења овог решења, и дала предлог за признавање дипломе ради запошљавања.

Подносилац захтева је доставио доказ о уплати таксе у складу са чланом 2. став 1. Правилника о висини таксе за професионално признавање страних високошколских исправа („Службени гласник РС”, број 83/2015).

Имајући у виду наведено, решено је као у диспозитиву овог решења.

Упутство о правном средству: Ово решење је коначно у управном поступку и против истог може се покренути управни спор. Тужба се подноси Управном суду у року од 30 дана од дана пријема овог решења.

Решење доставити:

– Михаило Чубровић, ул. Мирослава Јовановића бр. 7/2, 11160 Београд и*

– Архива.

МИНИСТАР

Младен Шарчевић





Република Србија
**МИНИСТАРСТВО ПРОСВЕТЕ,
НАУКЕ И ТЕХНОЛОШКОГ РАЗВОЈА**
Матични научни одбор за физику
Број: 119-01-21/2022-14/27
25.08.2022. године
Београд

На основу члана 27. став 1 тачка 1) и члана 76. став 5. Закона о науци и истраживањима („Службени гласник Републике Србије”, бр. 49/2019) и Правилника о стицању истраживачких и научних звања („Службени гласник Републике Србије”, број 159/2020) и захтева који је поднео

Институт за физику у Београду

Матични научни одбор за физику на седници одржаној 25.08.2022. године, донео је

**ОДЛУКУ
О СТИЦАЊУ НАУЧНОГ ЗВАЊА**

Др Михаило Чубровић

стиче научно звање

Научни сарадник

Реизбор

у области природно-математичких наука – физика

О Б Р А З Л О Ж Е Њ Е

Институт за физику у Београду

утврдио је предлог број 0801-1047/1 од 23.08.2022. године на седници Научног већа Института за физику у Београду и поднео захтев Матичном научном одбору за физику број 0801-1048/1 од 23.08.2022. године за доношење одлуке о испуњености услова за реизбор у научно звање **Научни сарадник**.

Матични научни одбор за физику на седници одржаној 25.08.2022. године разматрао је захтев и утврдио да именовани испуњава услове из члана 76. став 5. Закона о науци и истраживањима („Службени гласник Републике Србије”, бр. 49/2019) и Правилника о стицању истраживачких и научних звања („Службени гласник Републике Србије”, број 159/2020) за реизбор у научно звање **Научни сарадник** па је одлучио као у изреци ове одлуке.

Доношењем ове одлуке именовани стиче сва права која му на основу ње по закону припадају.

Одлуку доставити подносиоцу захтева, именованом и архиви Министарства просвете, науке и технолошког развоја у Београду.

**ПРЕДСЕДНИК МАТИЧНОГ НАУЧНОГ
ОДБОРА ЗА ФИЗИКУ**

др Антун Балаж, научни саветник

**ПРВИ ПОТПРЕДСЕДНИК ВЛАДЕ
И МИНИСТАР**



Бранко Ружић

ПРИЛОЗИ

Referee View Manuscripts

- 0 Review and Score >
- 2 Scores Returned >**
- Invitations >

Scores Returned

ACTION	COMPLETED	ID/TITLE	STATUS
Select... ▾	13-Mar-2022	EPJC-21-10-176.R1 Chaos dynamics of string around the conformal black hole	Accept (16-Apr-2022) Assignments: AE: David, Justin EIC: Skenderis, Kostas ADM: Di Giuseppe, Angela
Select... ▾	08-Nov-2021	EPJC-21-10-176 Chaos dynamics of string around the conformal black hole	AE Major Revision (14-Nov-2021) a revision has been submitted Assignments: AE: David, Justin EIC: Skenderis, Kostas ADM: Di Giuseppe, Angela

Mihailo Cubrovic HOME LOGOUT

| State of preprints | Modify personal data | My current payments | HELP |

preprints pending my reviews

Page 1 Total: 10

~~XXXXXXXXXX~~
~~XXXXXXXXXX~~
~~XXXXXXXXXX~~
Submitted on: 23 April 2024

~~JHEP_0697_048~~
~~XXXXXXXXXX~~
Tuan Nguyen
~~Asymptotic critical behavior of holographic phase transition at finite topological charge and potentially new quantum phase transition at finite chemical potentials~~
Submitted on: 18 December 2021

~~JHEP_0778_0321~~
~~XXXXXXXXXX~~
~~XXXXXXXXXX~~
Holographic construction of flat bands
Submitted on: 8 March 2021

~~JHEP_0658_0494~~
~~XXXXXXXXXX~~
Aditya Basak
~~Dimerization instability in holographic metals~~
Submitted on: 23 January 2021

~~JHEP_0108_1010~~
~~XXXXXXXXXX~~
Nicolas Grandi
~~Holographic metals at finite doping~~
Submitted on: 20 December 2019

~~JHEP_0794_0917~~
~~XXXXXXXXXX~~

Submitted on: 8 March 2021

JHEP_265P_0121

Adrian Rene Lugo
~~Pomeranchuk instabilities in holographic metals~~
Submitted on: 23 January 2021

JHEP_219P_1819

Nicolai Grandi
~~Holographic metals at finite doping~~
Submitted on: 20 December 2019

JHEP_073P_0519

Hunseok Seo
~~Building Magnetic Hysteresis in Holography~~
Submitted on: 8 March 2019

JHEP_068P_1015

~~...~~
~~Holographic Competition of Phases and Superconductivity~~
Submitted on: 22 October 2015

JHEP_110P_1011

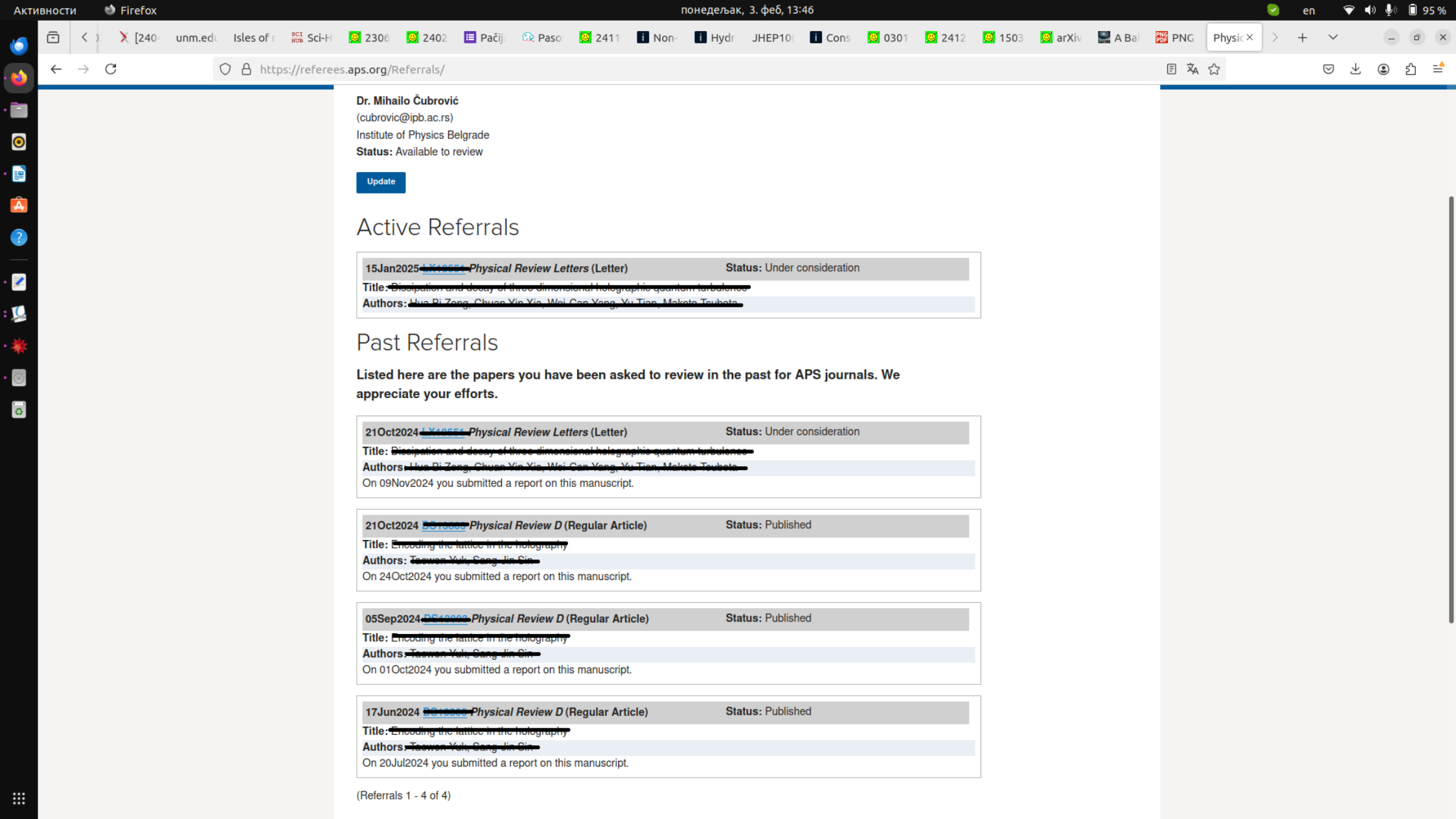
~~Geometric Holography~~
~~"Periodic Oscillations in Holographic Metals"~~
Submitted on: 31 October 2011

JHEP_110P_1209

Matthew Roberts
~~"Photoemission Experiments" on holographic superconductors~~
Submitted on: 16 December 2009

JHEP_110P_1209

Matthew Roberts
~~"Photoemission Experiments" on holographic superconductors~~
Submitted on: 16 December 2009



Dr. Mihailo Cubrović
(cubrovic@ipb.ac.rs)
Institute of Physics Belgrade
Status: Available to review

Update

Active Referrals

15Jan2025 ~~XXXXXXXXXX~~ *Physical Review Letters* (Letter) **Status:** Under consideration
Title: ~~Dissipation and decay of three-dimensional holographic quantum turbulence~~
Authors: ~~Hua Di Zeng, Chuan Yin Yin, Wei Cao Yang, Yu Tian, Makoto Tsubota~~

Past Referrals

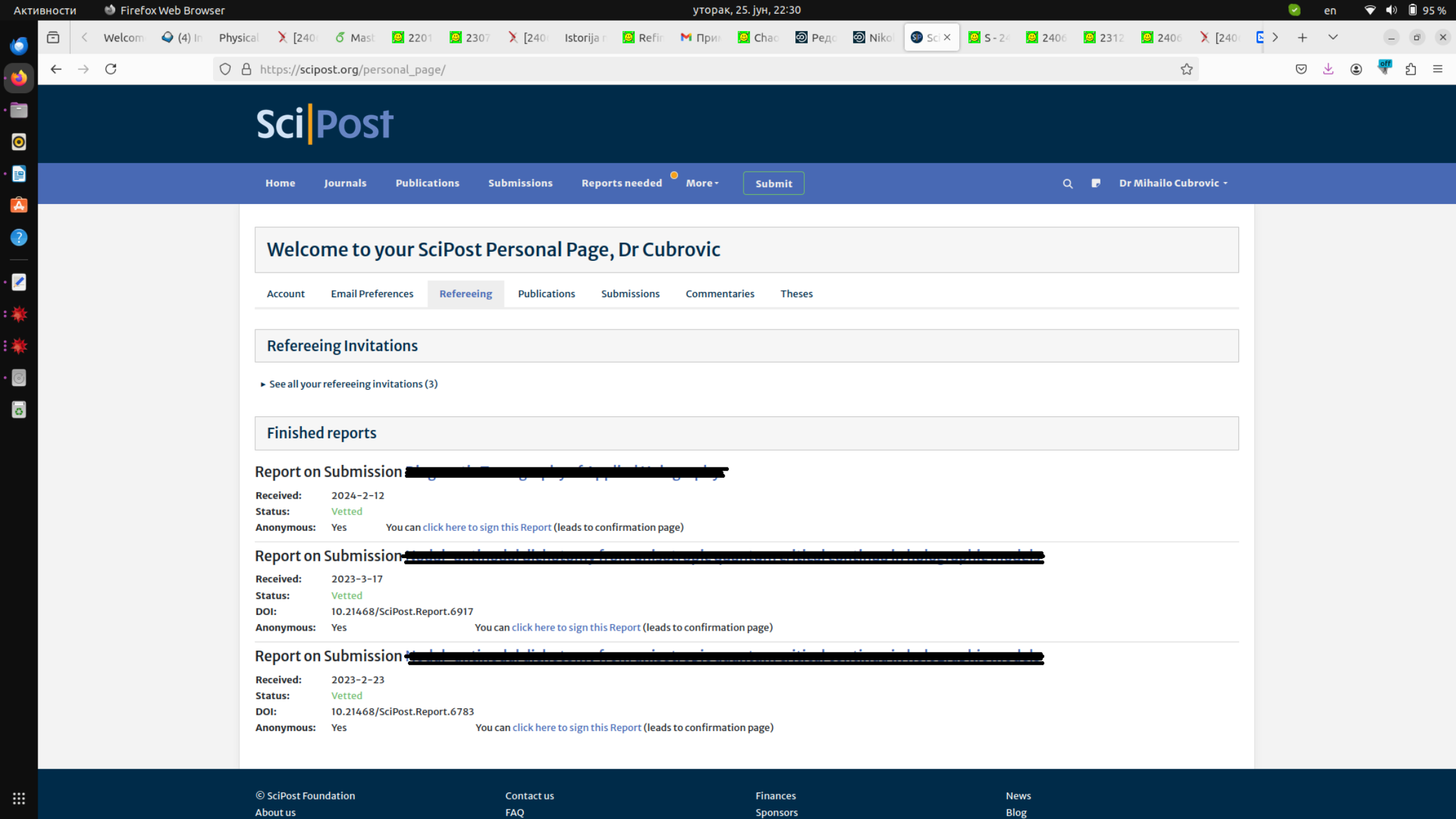
Listed here are the papers you have been asked to review in the past for APS journals. We appreciate your efforts.

21Oct2024 ~~XXXXXXXXXX~~ *Physical Review Letters* (Letter) **Status:** Under consideration
Title: ~~Dissipation and decay of three-dimensional holographic quantum turbulence~~
Authors: ~~Hua Di Zeng, Chuan Yin Yin, Wei Cao Yang, Yu Tian, Makoto Tsubota~~
On 09Nov2024 you submitted a report on this manuscript.

21Oct2024 ~~XXXXXXXXXX~~ *Physical Review D* (Regular Article) **Status:** Published
Title: ~~Encoding the lattice in the holography~~
Authors: ~~Tao-wen Yu, Gang Jin-Gin~~
On 24Oct2024 you submitted a report on this manuscript.

05Sep2024 ~~XXXXXXXXXX~~ *Physical Review D* (Regular Article) **Status:** Published
Title: ~~Encoding the lattice in the holography~~
Authors: ~~Tao-wen Yu, Gang Jin-Gin~~
On 01Oct2024 you submitted a report on this manuscript.

17Jun2024 ~~XXXXXXXXXX~~ *Physical Review D* (Regular Article) **Status:** Published
Title: ~~Encoding the lattice in the holography~~
Authors: ~~Tao-wen Yu, Gang Jin-Gin~~
On 20Jul2024 you submitted a report on this manuscript.



Welcome to your SciPost Personal Page, Dr Cubrovic

Account Email Preferences **Refereeing** Publications Submissions Commentaries Theses

Refereeing Invitations

▶ See all your refereeing invitations (3)

Finished reports

Report on Submission [REDACTED]

Received: 2024-2-12
Status: Vetted
Anonymous: Yes You can [click here to sign this Report](#) (leads to confirmation page)

Report on Submission [REDACTED]

Received: 2023-3-17
Status: Vetted
DOI: 10.21468/SciPost.Report.6917
Anonymous: Yes You can [click here to sign this Report](#) (leads to confirmation page)

Report on Submission [REDACTED]

Received: 2023-2-23
Status: Vetted
DOI: 10.21468/SciPost.Report.6783
Anonymous: Yes You can [click here to sign this Report](#) (leads to confirmation page)

Completed Reviewer Assignments

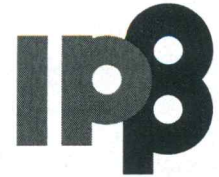
Page: 1 of 1 (2 total assignments)

Results per page 10

Action	My Reviewer Number	Manuscript Number	Article Type	Article Title	Current Status	Final Disposition	Date Reviewer Invited	Date Reviewer Agreed	Date Review Due	Date Review Submitted	Days Taken	Editor's Name
Action Links	1	[REDACTED]	Research paper	[REDACTED]	Completed Accept	Accept	Oct 15, 2024	Nov 03, 2024	Nov 17, 2024	Nov 22, 2024	19	
Action Links	1	[REDACTED]	Research paper	[REDACTED]	Completed Accept	Accept	Aug 06, 2024	Aug 06, 2024	Aug 31, 2024	Sep 01, 2024	26	

Page: 1 of 1 (2 total assignments)

Results per page 10



ИНСТИТУТ ЗА ФИЗИКУ

ПРИМЉЕНО: 10.02.2025			
Рад.јед.	б р о ј	Арх.шифра	Прилог
0801-	235/1		

ПОТВРДА О РУКОВОЂЕЊУ ПРОЈЕКТНИМ ЗАДАТКОМ НА ПРОЈЕКТУ Key2SM

Овим потврђујем да је научни сарадник др Михаило Чубровић, за кога се покреће избор у звање виши научни сарадник, у оквиру пројекта Key2SM Програма за изврсне пројекте младих истраживача Фонда за науку Републике Србије, у периоду од јула 2020. до јула 2022. године руководио делом пројекта који се бави AdS/CFT моделима и њиховим калибрисањем. Пројектом Key2SM руководио је Јакша Вучичевић.

A handwritten signature in blue ink, appearing to be 'JW' or similar, written above the printed name.

Др Јакша Вучичевић
виши научни сарадник
руководилац пројекта Key2SM

In our group we adhere to highest standards of data reproducibility. All the data will be stored with the hash of a commit entry on the github repository, corresponding to the exact version of the code that was used to produce it. We will also keep track of the versions of any third-party libraries used.

The data will be stored in foreseeable future on the computational clusters used to produce the data. The cost of the maintenance will therefore be covered entirely by the projects/institutions responsible for the maintenance of the clusters themselves. In case a shutdown of a computational cluster is scheduled, measures will be taken to migrate the data to a different facility, which does not a priori present an additional cost.

3. Implementation

3.1. Credentials of PI and members of Project team

The PI of the project is Jakša Vučičević. His main research interest so far were the strongly correlated electrons, with a focus on cuprate linear resistivity and d-wave superconductivity. JV coauthored a series of papers on Mott quantum critical scaling and the bad (strange) metal regime in the infinitely-dimensional Hubbard model [H. Terletska et al., *Phys. Rev. Lett.* 107, 026401 (2011), JV et al., *Phys. Rev. B* 88, 075143 (2013), JV et al. *Phys. Rev. Lett.* 114 246402 (2015)]. The theory was succesful in predicting the universal behavior of a large class of κ -organic materials, as observed in subsequent experiments [T. Furukawa et al., *Nat. Phys.* 11 221 (2015)]. Since 2015, JV was more involved in the methodological aspect of the work and published a series of papers on extensions of the DMFT method that allow for a controlled treatment of the 2D Hubbard model and its d-wave superconducting instability [JV et al., *Phys. Rev. B* 96 104504 (2017), T. Ayrál et al., *Phys. Rev. Lett.* 119 166401 (2017), JV et al., *Phys. Rev. B* 97 125141 (2018)]. Most recently, JV was involved in a large scale investigation that led to a new understanding of the key contributions to the conductivity in the linear resistivity strange metal regime of the square-lattice Hubbard model [JV et al., *Phys. Rev. Lett.* 123, 036601 (2019)]. The findings of this study bare direct relevance for the interpretation of the recent optical lattice experiment, for which comparison with theory had been stifled by an inconsistency between different numerical methods [P. T. Brown et al., *Science* 363 379 (2019)] (Fig.1e). For the high temperature regime relevant for the optical lattice experiment, the investigation established the best available, if not essentially exact solution for the dc resistivity in the Hubbard model.

JV has ample experience in writing optimized algorithms for many-body calculations and for all the associated stages of post-processing of the results. JV was involved in the development of the Rubtsov CTINT solver that was later used in [T. Ayrál et al., *Phys. Rev. Lett.* 119 166401(2017), JV et al., *Phys. Rev. B* 97 125141 (2018)]. Most recently, JV developed a symbolic algebra algorithm that allows for a circumvention of the analytical continuation in diagrammatic Monte Carlo methods, and which may prove to be of great value for the study of conductivity [JV et al., *arxiv* (2019), submitted to PRL].

Mihailo Čubrović will be in charge of the AdS/CFT and its calibration against the data from the numerical simulations. This represents a natural step forward from the researcher's previous work on holography of condensed matter systems. He has developed with his coauthors a number of methods essential in the mapping of the phase diagram and the ground states of strongly correlated holographic electrons: the probe fermion analysis of the Reissner-Nordstrom strange metal [MČ et al, *Science* 325 439 (2009)], the single wavefunction approach [MČ et al *JHEP* 10, 017 (2011), MČ et al, *Phys. Rev. D* 84, 086002 (2011)] and the WKB star [M. Medvedyeva et al, *JHEP* 12, 025 (2013)]. In the aforementioned works, the authors have analyzed the normal metal/Fermi liquids as

well as non-Fermi liquids, and in a certain parameter range the non-Fermi liquid phase was found to behave as a local quantum critical metal. The EMD backgrounds were studied in [MČ, JHEP 2016, 102 (2016)], which forms a methodological foundation for building the hyperscaling-violating EMD models in this project. Currently, MČ is working on a detailed study of the quantum phase transition in a non-Fermi liquid, which is important for understanding complex phase diagrams like that of the HM. The second line of work of MČ, chaos in strongly coupled field theories and gravity [MČ, arXiv:1904.06295 (2019)], establishes the connection to hydrodynamic fluctuations and transport.

Ivana Vasić will be in charge of the solution of the Bose-Hubbard models, as she already has a long experience with the relevant numerical techniques, and a solid overview of the related phenomenology and experiments. Most of her work so far focused precisely on the theoretical description of bosonic ultra-cold atoms. Her work was published in numerous papers, and covers topics ranging from the dynamics of interacting Bose-Einstein condensates [IV et al., Phys. Rev. A 84, 013618 (2011), IV et al., New J. Phys. 15, 035008 (2013), IV et al., Phys. Rev. A 94, 033627 (2016)], to the rich phase diagrams of lattice bosons [IV et al., Phys. Rev. B 91, 094502 (2015), K. Plekhanov et al., Phys. Rev. Lett. 120, 157201 (2018)]. Most recently, IV and her collaborators studied the response of a strongly interacting bosonic cloud in a 3D optical lattice, to a sudden displacement of the harmonic part of the trap [A. Dhar et al., Phys. Status Solidi B, <https://doi.org/10.1002/pssb.201800752>]. The numerical results they obtained were found to be in excellent quantitative agreement with the experimental data. This experimental setup is similar to [W. Xu et al., Nat. Comm. 10 1588 (2019)] which will be part of the focus of our project, and with regard to it, Ivana's experience will be invaluable.

Ana Hudomal is a PhD student of IV. As a part of her training, she will work on exact-diagonalization calculations for the 2D Bose-Hubbard. As a PhD student, AH investigates the properties of ultra-cold bosonic quantum gases in the presence of strong synthetic magnetic fields. One of her topics so far was the response of incoherent (non-condensed) bosons to an external force under driving [A. Hudomal et al., Phys. Rev. A 98, 053625 (2018)]. This work involved concepts and techniques which are closely related to the subject of our Project. As a part of an ongoing research, AH is already developing optimized numerical codes based on the exact diagonalization and Krylov vector approach for the time evolution, which will be used in our Project as well.

The expertise of our team members is particularly complementary in the context of the proposed research. The comprehensive study of the theories of the strange metal requires that we combine our experience, codes and overviews of our respective subfields. IV and AH will be in charge of the Bose-Hubbard model calculations and both have experience in ED calculations and Krylov approach; JV has experience with DMFT and Monte Carlo methods for the Fermi-Hubbard model, calculation of higher-order correlation functions and numerical scaling analyses; MČ has a field-theoretical background and a solid experience with AdS/CFT, as well as good understanding and overview of quantum critical phenomena in general. Beside the main goal of our research, this project will be a great opportunity for our team members to exchange knowledge.

3.2. Implementation plan

Table 3.1. Members of Project team.

ID ¹	Name and family name	Scientific institution	Person-months ²
PI	Jakša Vučičević	Institute of Physics Belgrade	24
P1	Mihailo Čubrović	Institute of Physics Belgrade	24
P2	Ivana Vasić	Institute of Physics Belgrade	24
P3	Ana Hudomal	Institute of Physics Belgrade	24
Total person-months			96

We will work on three fronts in parallel – Fermi-Hubbard, Bose-Hubbard and AdS models, headed by JV, IV, and MČ respectively. Once the numerical methods are implemented and benchmarked, we will proceed to production runs. Most of our analyses will rely on the comparison between the Fermi-Hubbard model and the Bose-Hubbard model, and between those two and the AdS models. The findings of the latter will feed back to the choice of the AdS model. For optical lattices, some experimental results are readily available for comparison, and we will also take into account any new experimental results.

Table 3.2. Tasks.

Task/subtask number	Task/subtask title	Start month	End month	Members of Project team	Person-months	Description
1	Preparation, code development and benchmarking	1	9			
1.1	Fermi-Hubbard calculations using CTINT, FTLM, Symbolic MC and DMFT	1	6			Adapt the existing codes for calculation of correlation functions of interest and benchmark against known limits
1.2	Bose-Hubbard calculations using Gutzwiller and B-DMFT	1	9			Study numerical solutions, implement and benchmark them
1.3	Analytical continuation	5	9			Study, prepare and test existing codes
1.4	Krylov vector approach	5	9			Study the method and implement it and benchmark it within FTLM
1.5	AdS and EMD models	1	9			Devise gravity duals and implement numerical solutions
1.6	AdS Model parameters optimization	3	9			Devise algorithmic schemes for optimization of gravity dual models based on Hubbard model results
2	Production runs	5	18			Solve for all quantities of interest
2.1	CTINT clusters (4x4,	5	18			Scan the parameter space of the

1 PI – Principal investigator, P1 – the first participant, etc.

2 The number of person-months regardless of the % of working time.

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ

ИНСТИТУТ ЗА ФИЗИКУ БЕОГРАД

ИНСТИТУТ ОД НАЦИОНАЛНОГ ЗНАЧАЈА ЗА РЕПУБЛИКУ СРБИЈУ

Прегревица 118, 11080 Земун - Београд, Република Србија
Телефон: +381 11 3713000, Факс: +381 11 3162190, www.ipb.ac.rs
ПИБ: 100105980, Матични број: 07018029, Текући рачун: 205-66984-23



ИНСТИТУТ ЗА ФИЗИКУ

ПРИМЉЕНО: 10-02-2025			
Рад.јед.	б р о ј	Арх.шифра	Прилог
	0801-23611		

ПОТВРДА О РУКОВОЂЕЊУ ПОТПРОЈЕКТОМ

Овим потврђујем да је научни сарадник **др Михаило Чубровић**, за кога се покреће избор у звање виши научни сарадник, у оквиру Националног центра изузетних вредности за изучавање комплексних система Института за физику у Београду у периоду од 2019. до 2023. године руководио потпројектом 3: „Јако корелисани многочестични системи, AdS/CFT кореспонденција и квантна критичност“. На поменутом потпројекту су били ангажовани следећи истраживачи: др Михаило Чубровић, др Јакша Вучичевић, др Милош Радоњић.

др Антун Балаж

научни саветник

Руководилац Центра за изучавање комплексних система Института за физику у Београду

КАРТОЧКА ПРОЕКТА ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ И ПОИСКОВЫХ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ, ПОДДЕРЖАННОГО РОССИЙСКИМ НАУЧНЫМ ФОНДОМ

Информация подготовлена на основании данных из Информационно-аналитической системы РНФ, содержательная часть представлена в авторской редакции. Все права принадлежат авторам, использование или перепечатка материалов допустима только с предварительного согласия авторов.

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Номер: 24-72-10061

Название: Гравитационные методы для непертурбативных явлений в квантовых системах и теории поля

Руководитель: Агеев Дмитрий Сергеевич, Кандидат физико-математических наук

Организация финансирования, регион : Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Математический институт им. В.А. Стеклова Российской академии наук, г Москва

Период выполнения при поддержке РНФ: 07.2024 - 06.2027

Конкурс: №98 - Конкурс 2024 года «Проведение исследований научными группами под руководством молодых ученых» Президентской программы исследовательских проектов, реализуемых ведущими учеными, в том числе молодыми учеными.

Область знания, основной код классификатора: 02 - Физика и науки о космосе, 02-602 - Квантовая теория поля, квантовая механика

Ключевые слова: квантовая теория поля, гравитация, голографическое соответствие, квантовая гравитация, квантовый хаос, приложения теории струн, анти-Де Ситтер

Код ГРНТИ: 29.05.00

ИНФОРМАЦИЯ ИЗ ЗАЯВКИ

Аннотация:

В проекте предполагается исследовать ряд непертурбативных методов и явлений, центральным из которых является связь гравитации и физики черных дыр с квантовой теорией поля (и квантовыми системами в широком понимании, в том числе полевыми теориями, представляющими интерес в конденсированном состоянии вещества). В частности, круг явлений, который будет исследован, достаточно широк — он включает в себя квантовый хаос, квантовую динамику, транспорт в квантовом веществе, в том числе экзотическом. С другой стороны, также предполагается понять каким образом микроскопическая теория черных дыр и теория струн определяют свойства этих явлений через голографическое соответствие. Во всех этих явлениях становятся существенны непертурбативные эффекты, что требует непертурбативных методов их изучения (включая голографический и иные подходы). Изучение таких методов и явлений важно как с точки зрения понимания эффектов в сильно взаимодействующих системах, так и для понимания фундаментальных квантовых аспектов гравитации и теории струн.

В последнее десятилетие наблюдался значительный прогресс, обусловленный нахождением связей между несопоставимыми, на первый взгляд, явлениями. Было показано, что для широкого класса моделей (например, для голографических моделей) теория хаоса является центральной, и что такой факт естественно объяснить с точки зрения гравитации и теории струн. Было показано, что голографические квантовые теории удовлетворяют универсальным ограничениям на хаотические характеристики, и что физические параметры таких теорий (например, проводимость, коэффициенты диффузии, сдвиговая вязкость) в точности универсально выражаются через параметры таких моделей. Гравитация и квантовый хаос тесно связаны со свойствами черных дыр и их микроскопической теорией, а также квантовой информацией — в частности, свойством черных дыр уничтожать и размывать информацию (скрамблингом). Время размытия информации черной дырой (время скрамблинга) в точности оказалось связанным со временем, когда дуальная квантовая теория входит в хаотический режим и удивительным образом это время также оказывается универсальным.

Главная цель этого проекта — полностью расширить эту универсальность до ее пределов и в конечном итоге выйти за эти пределы. Мы планируем изучить последствия ограничений универсального хаоса в новых областях, где до сих пор не было выдвинуто гипотез или не исследовано никакой связи с хаосом черных дыр. Затем планируется изучить квантовые поправки к гравитации, где универсальные границы уступают место более сложному поведению, что, мы надеемся, даст представление о квантовых свойствах черных дыр и проявлении их струнных характеристик.

Ожидаемые результаты:

В рамках проекта ожидается:

1) Исследование квантового хаоса и его взаимосвязи с теорией струн, квантовой теорией поля и гравитацией/

голографическим соответствием. Предполагается обнаружить поведение типа ансамблей случайных матриц в возбужденных неравновесных состояниях теории поля, рассеянии возбужденных состояний струн. Планируется также обобщение известных в литературе результатов на случай теории поля в искривленном пространстве, а также теории поля с границей и квантовых систем, обладающих «решеточной структурой» методами голографии и квантовой теории поля.

2) Получение хаотических явлений в струнах, на мировом листе различных струнных конфигураций (например в контексте феномена пропуска полюсов — pole-skipping phenomena), связь таких явлений с их голографическими двойниками (движение дуальных квазичастиц). Кроме того, планируется изучить влияние хаоса и его роль в геометриях черных дыр, фузболлов (fuzzball), геометриях микросостояний (например геометрии Лин-Лунина-Малдасены).

3) Применение методов теории случайных матриц и матричных моделей для исследования черных дыр. Многие матричные модели, такие как модель BFSS (Banks-Fishler-Susskind-Shenker) и модель IKKT (Ishibashi, Kawai, Kitazawa and Tsuchiya), имеют струнную природу и обнаруживают хаотическое поведение. Считается, что они должны иметь структуру, сходную с микроскопической структурой черной дыры. Предполагается ряд исследований в связи этим, например, исследование «квантовой магии» (энтропии Реньи длинных операторов, операторный хаотический рост) в таких теориях.

4) Исследование новых моделей голографической квантовой материи и различных аспектов, связанных с ней. В круг исследовательских вопросов проекта входят: ферми-жидкости и их различные обобщения, например, с дополнительными симметриями, а также голографическая модель невзаимодействующих, но зацепленных квантовых жидкостей, дуальная проходимой кротовой норе Гао-Джаферрис-Уолла. В контексте таких моделей будут исследованы голографические методы гравитации с кручением. Планируется детальное исследование как уже исследование существующих наблюдаемых для исследования голографических ферми- и неферми-жидкостей (спектральных функций в голографическом подходе), так и разработка новых наблюдаемых, основанных на квантовом хаосе: корреляторов разупорядоченных по времени, сложности Крылова и их связи со свойствами поверхности Ферми. Особое внимание будет уделено одномерным системам, которые можно отнести к точно решаемым моделям.

ОТЧЁТНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

будут исследованы голографические методы гравитации с кручением. Планируется детальное исследование как уже исследование существующих наблюдаемых для исследования голографических ферми- и неферми-жидкостей (спектральных функций в голографическом подходе), так и разработка новых наблюдаемых, основанных на квантовом хаосе: корреляторов разупорядоченных по времени, сложности Крылова и их связи со свойствами поверхности Ферми. Особое внимание будет уделено одномерным системам, которые можно отнести к точно решаемым моделям.

1.7 Планируемый состав научного коллектива с указанием фамилий, имен, отчеств (при наличии) членов коллектива, их возраста на момент подачи заявки, ученых степеней, должностей и основных мест работы, формы отношений с организацией (трудовой договор, гражданско-правовой договор) в период реализации проекта

Агеев Дмитрий Сергеевич, кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник, Математический институт им. В. А. Стеклова Российской академии наук, трудовой договор, 34 года

Чубрович Михайло, кандидат физических наук, научный сотрудник, Физический институт в Белграде, договор подряда, 38 лет

Белоконь Александр Игоревич, аспирант 4 года обучения, стажер-исследователь, Математический институт им. В. А. Стеклова Российской академии наук, трудовой договор, 28 лет

Пушкарев Василий Владимирович, аспирант 2 года обучения, стажер-исследователь, Математический институт им. В. А. Стеклова Российской академии наук, трудовой договор, 27 лет

Джукич Владан, аспирант 1 года обучения, стажер-исследователь, Физический институт в Белграде, договор подряда, 27 лет

Быков Владимир Александрович, студент 4 курса, Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова, 21 год

Соответствие профессионального уровня

Среди членов коллектива молодые научные работники, обладающие необходимым уровнем квалификации и активно работающие в данном направлении, часть из них уже проявила себя начинающими, по высококлассными специалистами. Состав коллектива полностью молодежный (до 39 лет) и включает в себя:

2 кандидата наук,

3 аспиранта,

1 студент

1. Руководитель гранта Д. С. Агеев защитил кандидатскую диссертацию в 2017 году, и является специалистом по квантовой теории поля и гравитации. Ему



UNIVERSITY OF BELGRADE
FACULTY OF PHYSICS

MASTER THESIS

Classical and quantum chaos
in the scattering of
highly excited strings

Author:
Nikola Savić

Supervisors:
Dr. Mihailo Čubrović
Prof. Dr. Marija
Dimitrijević-Ćirić

June, 2023
Belgrade



UNIVERZITET U BEOGRADU
FIZIČKI FAKULTET

MASTER RAD

Klasični i kvantni kaos u rasejanju visoko ekscitovanih struna

Autor:
Nikola Savić

Mentori:
Dr Mihailo Čubrović
Prof Dr Marija
Dimitrijević-Ćirić

Jun, 2023.
Beograd

Acknowledgements

First of all, I would like to thank my supervisor Dr Mihailo Čubrović for guidance and support through every segment of work on this master thesis, whose enthusiasm, dedication and patience made it not just valuable, but also an enjoyable and fulfilling experience. I am grateful for all the knowledge he shared with me, the lessons which will follow me in my future scientific career and for all the time he selflessly devoted to our discussions. In addition, I am grateful to Professor Dr Marija Dimitrijević-Ćirić for supervising the work, useful discussions and comments on the manuscript.

Finally, I would like to thank my family and friends for supporting me to pursue my goals. My warmest thanks go to Anđela, for her inexhaustible support and being the main source of my happiness.



UNIVERZITET U BEOGRADU
FIZIČKI FAKULTET

MASTER RAD

Fundamentalne strune, termalni horizonti i maksimalni haos

Autor:
Vladan Đukić

Mentori:
Dr Mihailo Čubrović
Prof Dr Voja
Radovanović

Septembar, 2023.
Beograd



UNIVERSITY OF BELGRADE
FACULTY OF PHYSICS

MASTER THESIS

Fundamental strings, thermal horizons and the chaos bound

Author:
Vladan Đukić

Supervisors:
Dr. Mihailo Čubrović
Prof. Dr. Voja
Radovanović

September, 2023
Belgrade

Acknowledgements

I would like to express my sincere gratitude to my supervisor, Dr. Mihailo Čubrović, for his invaluable guidance, unwavering support, and insightful discussions throughout the course of this research. His expertise and dedication have been instrumental in shaping the direction and quality of this thesis. I am truly fortunate to have had the opportunity to learn from his wisdom and experience.

I extend my heartfelt appreciation to my family for their support and encouragement during this challenging yet fulfilling journey.



UNIVERSITY OF BELGRADE
FACULTY OF PHYSICS

MASTER THESIS

Holographic Square Lattices and Strange Metals

Author:

Vladan Gecin

Supervisor:

Dr. Mihailo Čubrović

September, 2022

Belgrade



UNIVERZITET U BEOGRADU
FIZIČKI FAKULTET

MASTER RAD

Holografske kvadratne rešetke i čudni metali

Autor:
Vladan Gecin

Mentor:
Dr Mihailo Čubrović

Septembar, 2022.
Beograd

Abstract

Strange metals still resist a comprehensive theoretical description. Yet, the AdS/CFT correspondence (holographic principle) provides a novel, nonperturbative insight into the properties of these strongly correlated materials by constructing a theory with gravity, which is dual (equivalent) to the starting field-theoretical (condensed matter) problem. In this thesis we find the numerical solution to a system of Einstein-Maxwell-dilaton equations with periodic boundary conditions, which describes strongly correlated matter at finite temperature and chemical potential on a square lattice. The metric in the deep interior of the AdS space is hyperscaling-violating, implying an anomalous scaling of thermodynamic quantities. We then compute the charge density of the system and inspect the validity of the Luttinger theorem. The theorem is strongly violated, meaning that the system is a non-Fermi liquid, as expected. We test our numerical method in detail and show that it provides a robust framework for further work.



UNIVERZITET U BEOGRADU
FIZIČKI FAKULTET

MASTER RAD

Transport i vremenski neuređene korelacione funkcije u kvantnom haosu

Autor:
Dragan Marković

Mentor:
Dr Mihailo Čubrović

Jun, 2024.
Beograd



UNIVERSITY OF BELGRADE
FACULTY OF PHYSICS

MASTER THESIS

Transport and out-of-time ordered correlators in quantum chaos

Author:
Dragan Marković

Supervisor:
Dr. Mihailo Čubrović

June, 2024
Belgrade

Sažetak

Kvantni mnogočestični sistemi predstavljaju veliki izazov i za analitičko i za numeričko razumijevanje. Specijalna karakteristika ovih sistema jeste da su često kvatno haotični u određenoj mjeri i pitanje od značaja koje se postavlja jeste kako prepoznati takav fenomen. Ne postoji jedinstven kriterijum, no ovdje predstavljamo jedan od načina da se detektuje slab kaos u kvantnim mnogočestičnim sistemima, kroz OTOC (vremenski neu-ređenu četvorotačkastu korelacionu funkciju). Uspostavljamo vezu između platoa OTOC-a i detekcije i mjere haotičnosti sistema. U drugom dijelu teze, fokus je na specifičnom haotičnom kvantnom mnogočestičnom sistemu, Boze-Habardovom modelu, gdje posmatramo semiklasični režim. Rezultat je anomalni transport (difuzija) sa neuobičajenim diskretnim eksponentima skaliranja koji opstaju veoma dugo, nakon čega se javlja režim normalne difuzije. Takođe diskutujemo kako anomalna difuzija zavisi od izbora promjenljivih i geometrije sistema.

Abstract

Quantum many body systems present a challenge to both analytical and numerical understanding. A special characteristic of these systems is that they are usually quantum chaotic in some sense and an important question is how do we diagnose such a phenomenon. There is no unique or standard way to do this and here we present one way to detect weak chaos in quantum many body systems, through OTOC (out-of-time ordered four-point correlation function). We find that the plateau of OTOC can indicate whether a system is chaotic and in which way. In the second part of the thesis we focus on a particular model of such systems, the Bose-Hubbard model, which is quantum chaotic, and look in detail how it translates into the semiclassical regime. We find anomalous diffusion with unusual discrete coefficients persisting for very long times, to eventually reach normal diffusion. We also present how this diffusion disappears with a specific choice of geometry and variables.

Acknowledgements

It goes without saying that this work would not have been possible without the help of my supervisor, Dr. Mihailo Čubrović and I thank him from the bottom of my heart. The amount of hours and dedication put into our joint work show enthusiasm and curiosity which is rare and inspiring. It was truly an honor working with him, as he inspired and motivated me to pursue such an interesting topic. It is rare to find a researcher such as Mihailo and I feel lucky to have crossed paths with him on this journey.

Who I have to mention are my family and friends who have been with me through thick and thin and I thank them as they have been my sanity check throughout and offered me solace whenever I needed it.