

НАУЧНОМ ВЕЋУ ИНСТИТУТА ЗА ФИЗИКУ У БЕОГРАДУ

Извештај комисије за реизбор др Иване Васић у звање виши научни сарадник

На седници Научног већа Института за физику у Београду одржаној 2. априла 2024. године именовани смо у комисију за реизбор др Иване Васић у звање виши научни сарадник.

Прегледом материјала који нам је достављен, као и на основу личног познавања кандидаткиње и увида у њен рад и публикације, Научном већу Института за физику у Београду подносимо овај извештај, чији су саставни део и прилози из поднетог материјала.

1. БИОГРАФСКИ И СТРУЧНИ ПОДАЦИ О КАНДИДАТКИЊИ

Ивана Васић (девојачко Видановић) је рођена 1983. године у Јагодини, где је завршила основну школу. Била је ђак Математичке гимназије у Београду, а затим је школовање наставила на Физичком факултету Универзитета у Београду, где је студирала теоријску физику и стекла основну диплому 2006. године и мастер диплому 2007. године. Добитница је стипендије Краљевске Норвешке амбасаде у Београду, награде и стипендије "Проф. др Ђорђе Живановић", као и награде "Проф. др Љубомир Ћирковић" за најбољи дипломски рад из физике. Од стране Универзитета у Београду проглашена је за студента генерације Физичког факултета. У току 2007. године била је стипендиста Министарства науке Републике Србије. Докторску тезу под насловом "Нумеричко проучавање хладних квантних гасова" урадила је под руководством др Антуна Балажа и одбранила 2011. године на Физичком факултету Универзитета у Београду. Добитница је и годишње Студентске награде Института за физику у Београду за најбољу докторску тезу. Након завршених докторских студија, у периоду од јуна 2012. до септембра 2014. године, др Ивана Васић је била на постдокторском усавршавању у групи проф. др Валтера Хофштетера на Институту за теоријску физику Гете универзитета у Франкфурту.

Ивана Васић је на Институту за физику у Београду запослена од 1. јануара 2008. године, а ради у Лабораторији за примену рачунара у науци у оквиру националног Центра изузетних вредности за изучавање комплексних система. У звање научни сарадник изабрана је 18. јула 2012. године, а у звање виши научни сарадник изабрана је 29. новембра 2017. године.

Од 2008. до 2010. године је била ангажована на националном пројекту основних истраживања "Моделирање и нумеричке симулације комплексних физичких система" (ОИ141035). Активно је учествовала на билатералном српско-немачком пројекту "Fast Converging Path Integral Approach to Bose-Einstein Condensation", у периоду од 2009. до 2010. године и у раду европског Центра изврности за рачунарско моделирање комплексних система (FP6 пројект CX-CMCS). У току боравка на Гете универзитету у Франкфурту кандидаткиња је била ангажована на престижном пројекту DFG-Research Unit 801 (FOR 801) финансираном од стране Немачке истраживачке фондације (DFG), који је представљао колаборацију шест

водећих немачких експерименталних и теоријских група из области хладних атома. По завршетку постдокторског усавршавања у септембру 2014. године, Ивана се вратила на Институт за физику у Београду, где је радила на националном пројекту "Моделирање и нумеричке симулације сложених вишечестичних система" (ОН171017), у оквиру којег је руководила потпројектом "Ефикасно израчунавање функционалних интеграла са применом на ултрахладне квантне гасове". Такође је била и руководилац билатералног српско-немачког пројекта "Квантне фазе бозонског Кејн-Меле-Хабард модела (ВКМН)" за период од 2016. до 2017. године, и билатералног српско-хрватског пројекта "Тополошка својства оптичких и фотонских решетки" за период од 2016. до 2017. године. Кандидаткиња је била члан менаџмент комитета COST акције "CA16221 - Quantum Technologies with Ultra-Cold Atoms" од 2017 до 2021. године. Била је учесника пројекта "Key2SM - Cold atoms, Hubbard model and holography: key to strange metals" финансираног у оквиру Промис Фонда за науку којим је руководио др Јакша Вучичевић, а тренутно учествује на пројекту "**PolMoReMa - Polaron Mobility in Model Systems and Real Materials**" из програма Призма Фонда за науку, којим руководи др Ненад Вукмировић. У оквиру Националног центра изузетних вредности за изучавање комплексних система руководи потпројектом под називом "Динамика ултрахладних атома".

Главне теме њеног истраживања су колективне ексцитације хладних бозонских гасова, особине бозонских гасова у оптичким решеткама и бозонске фазе у присуству вештачких магнетних поља. Она је коаутор 27 научних радова у међународним часописима, од којих је 15 радова објављено у Physical Review часописима, а један у Physical Review Letters. Заједно са проф. др Хофштетером била је руководилац два дипломска рада и два мастер рада на Гете универзитету у Франкфурту, где је била и асистент на предмету Статистичка физика и организовала рачунске вежбе за курсеве Квантна механика, Рачунарска физика и Физика ултрахладних квантних гасова. Била је ментор за докторску дисертацију Ане Худомал под називом "Numerical Study of Quantum Gases in Optical Lattices and in Synthetic Magnetic Fields" одбрањену на Физичком факултету Универзитета у Београду децембра 2020.

2. ПРЕГЛЕД НАУЧНЕ АКТИВНОСТИ

Научни рад др Иване Васић је у области теоријске физике кондензованог стања и бави се проучавањем особина хладних квантних гасова, у блиској вези са описом модерних експеримената у овој области.

Вишедеценијска потрага за чистом експерименталном реализацијом Бозе-Ајнштајн кондензације је довела системе хладних атома на нанокелвинским температурама у први план савремене физике. Данас ови системи заиста представљају дуго очекиване Фајнманове квантне симулаторе: експериментално добро контролисане системе описане законима квантне механике и квантне статистике. Пуно разумевање експеримената захтева детаљно поређење са одговарајућим теоријским моделима и резултатима и у том циљу кандидаткиња је радила на следећим истраживачким темама:

1. детаљан опис динамике бозонских кондензованих система;
2. проучавање бозонских фазних прелаза у оптичким решеткама;
3. испитивање динамике бозона у оптичким решеткама

4. одређивање фазног дијаграма и основних ексцитација бозона у присуству синтетичких магнетних поља.

У наредним секцијама су укратко приказани главни научни резултати кандидаткиње добијени у оквиру ових истраживачких тема.

2.1. Динамика бозонских кондензованих система

Динамички одговор Бозе-Ајнштајн кондензата на спољашње пертурбације је најдиректнији и најчешћи начин мерења особина ових система. Типично, динамика се побуђује малом пертурбацијом хармонијског потенцијала и мере се резултујуће фреквенције осцилација, које у линеарном режиму одговарају колективним модама. Конкретно, кандидаткиња је испитивала одговор система на две пертурбације хармонијске замке које се стандардно примењују у експериментима: дишућа (breathing) мода се побуђује наглом променом јачине замке, док се диполна мода уводи померањем минимума хармонијског потенцијала.

У једном од експеримената, употребом технике Фешбах резонанци, ефективна међуатомска интеракција је периодично осцилована и при одређеним примењеним фреквенцијама је примећен резонантни одговор кондензата. На довољно ниским температурама и при слабирм интеракцијама, за опис динамике кондензата се може користити временски зависна Грос-Питаевски једначина. Овај ефективни опис је нелинеаран и у одређеном режиму нелинеарни ефекти постају експериментално значајни. Нумеричким симулацијама Грос-Питаевски једначине и применом аналитичке Поенкаре-Линдштет методе, кандидаткиња је идентификовала нелинеарне ефекте који се јављају у близини резонанци, као што су линеарне комбинације основних ексцитација, побуђивање виших хармоника и помераји побуђених фреквенција у односу на вредности добијене у линеарном режиму. Такође, показано је да интензитет нелинеарних ефеката постаје јачи при одређеној конфигурацији хармонијског потенцијала.

Осим употребе Фешбах резонанци, атомске интеракције се могу контролисати и променом атомских стања. Често коришћен динамички протокол је да се промени атомско стање дела почетног кондензата применом одговарајућег ласерског пулса. У тој ситуацији, систем описују (бар) две константе интеракција и детаљи резултујуће динамике јако зависе од њиховог односа. Обимним нумеричким симулацијама и одговарајућом анализом у линеарном одзиву, кандидаткиња је класификовала могуће динамичке одговоре система при овом често коришћеном протоколу.

Експериментална реализација ефективног спин-орбит спрезања у системима хладних атома је посебно значајна за бозонске системе за које не постоје директне аналогije у физици кондензоване материје. Неколико теоријских радова је разматрало могућност спрезања спина и ангуларног момента у режиму Бозе-Ајнштајн кондензата. Са експерименталне тачке гледишта, физички систем би се састојао од два различита атомска стања, што означавамо термином псеудоспин, и пара супротно пропадајућих ласера који носе ангуларни моменат и спрежу два поменута атомска стања. У зависности од јачине спрезања и јачине интеракција, утврђено је да основно стање система може бити или тополошки полускирмион или вортекс-антивортекс пар. Кандидаткиња је одредила најниже ексцитације овог

система које експериментално могу да се испитају у будућим експериментима. Директним нумеричким решавањем Грос-Питаевски једначине и применом проширене методе Богољубова утврђено је да две фазе дају потпуно различита понашања на побуде и да су ефекти интеракција најизраженији на прелазу између две фазе.

Ова истраживања су довела и до развоја ефикасних нумеричких кодова који су објављени независно. Најважнији радови су:

- **I. Vidanović**, A. Balaž, H. Al-Jibbouri, and A. Pelster
Nonlinear Bose-Einstein-condensate Dynamics Induced by a Harmonic Modulation of the s-wave Scattering Length
Phys. Rev. A **84**, 013618 (2011).
- D. Vudragović, **I. Vidanović**, A. Balaž, P. Muruganandam, and S. K. Adhikar
C Programs for Solving the Time-dependent Gross-Pitaevskii Equation in a Fully Anisotropic Trap
Comput. Phys. Commun. **183**, 2021 (2012).
- **I. Vidanović**, N. J. van Druten, and M. Haque
Spin Modulation Instabilities and Phase Separation Dynamics in Trapped Two-component Bose Condensates
New J. Phys. **15**, 035008 (2013).
- **I. Vasić** and A. Balaž
Excitation Spectra of a Bose-Einstein Condensate with an Angular Spin-orbit Coupling
Phys. Rev. A **94**, 033627 (2016).

2.2. Фазни прелазии у оптичким решеткама

Оптичка решетка представља стојећи светлосни талас који се најчешће добија суперпозицијом светлости из директног и рефлектованог ласерског снопа. На овај начин се у систем хладних атома уводи периодични потенцијал и отвара могућност за реализацију релевантних модела физике кондензоване материје. Микроскопски параметри система се типично могу подесити тако да приближно важи апроксимација најниже енергетске зоне, а особине система се онда врло прецизно могу описати одговарајућим Хабардовим моделом. Ова поставка пружа идеалне могућности за проучавање квантних фазних прелазии изазваних променом односа амплитуде тунелирања и јачине локалне одбојне интеракције. Код бозонских атома типичне квантне фазе су кондензат, при слабим интеракцијама, и бозонски Мот изолатор за јаке интеракције и целобројне средње густине (у јединицама број атома по чвору решетке). Додатно, код вишекомпонентних система се у оквиру Мотове фазе може разматрати псеудомагнетно уређење. Применом бозонске динамичке теорије средњег поља кандидаткиња је мапирала фазне дијаграме у функцији амплитуда тунелирања и локалних интеракција за неколико релевантних модела. Кандидаткиња је проучавала особине двокомпонентних бозона у оптичким решеткама са кохерентним спрезањем два атомска хиперфина стања у режиму јаких, одбојних интеракција. Одређено је како ово спрезање утиче на познати суперфлуид-Мот изолатор прелаз. Поред тога детаљно је истражен и прелаз између балансираног стања, са једнаким густинама две бозонске компоненте, и поларисаног стања, у ком је доминантно присутна једна компонента. Овај прелаз

настаје услед супротних тежњи кохерентног спрезања и јаких, локалних, одбојних интеракција. Показано је да се у Мот фази при средњој густини од једног атома по чвору решетке прелаз дешава при значајно слабијим вредностима кохерентног спрезања у односу на суперфлуидну фазу исте густине.

Мотивисана отвореним питањима о могућим новим бозонским фазама и расположивим експерименталним могућностима, кандидаткиња је увела и проучавала бозонски Холдејн-Хабард модел на хексагоналној решетки при концентрацији од једног атома по чвору оптичке решетке. Модел укључује: тунелирање између најближих суседа решетке, комплексно тунелирање између следећих најближих суседа и локалне интеракције. Сваки од ових чланова преферира различиту фазу: доминатно тунелирање између најближих суседа даје суперфлуидну фазу, комплексно тунелирање између првих следећих суседа води киралном суперфлуиду са неуниформним параметрима уређења, док доминантне локалне интеракције производе Мот изолатор фазу.

Идентификован је реентрантни прелаз другог реда у Мот изолатор стање као ефекат ван домаћаја основне теорије средњег поља. За сваку од фаза су одређене особине локалних струја и флукуације локалне густине. Ове величине су експериментално доступне и користе се за идентификацију различитих фаза. Посебно интересантна је кирална суперфлуидна фаза, јер у овом случају теорија средњег поља предвиђа независну кондензацију атома две подрешетке хексагоналне решетки. Међутим, детаљном анализом квантних флукуација око конфигурација које даје теорија средњег поља је утврђено да ефекат уређења услед флукуација доводи до спрезања фаза параметара поретка две подрешетке.

Као наставак овог истраживања, кандидаткиња је испитивала фазни дијаграм бозонског Кејн-Меле-Хабард модела. Поред две кондензоване фазе, које се јављају при slabим интеракцијама, у Мотовој области смо утврдили могућности за различите типове псеудомагнетног уређења: феромагнетно и спирално уређење, и уређење у ком очекиване вредности спинова других најближих суседа формирају угао од 120° . Посебно је интересантно да у одређеном опсегу параметара, јака фрустрација ефективног модела спречава просторно уређење, па је у овом режиму основно стање система нови тип киралног спинског стања.

Ови резултати су приказани у радовима:

- U. Bornheimer, **I. Vasić**, and W. Hofstetter
Phase Transitions of the Coherently Coupled Two-component Bose Gas in a Square Optical Lattice
Phys. Rev. A **96**, 063623 (2017).
- **I. Vasić**, A. Petrescu, K. Le Hur, and W. Hofstetter
Chiral Bosonic Phases on the Haldane Honeycomb Lattice
Phys. Rev. B **91**, 094502 (2015).
- K. Plekhanov, **I. Vasić**, A. Petrescu, R. Nirwan, G. Roux, W. Hofstetter, and K. Le Hur
Emergent Chiral Spin State in the Mott Phase of a Bosonic Kane-Mele-Hubbard Model
Phys. Rev. Lett. **120**, 157201 (2018).

2.3. Бозонска динамика у оптичким решеткама

Фокус модерних експеримената је на систематском проучавању атомског транспорта и термализације у оптичким решеткама, са посебним фокусом на режим јаких интеракција.

Кандидаткиња је учествовала у истраживању које је пратило мерења изведена у групи проф. Хервиг Ота на Техничком универзитету у Кајзерслаутерну, Немачка. У поменутом експерименту почетно основно стање система је пертурбовано померајем хармонијске замке и праћен је померај центра масе система за широк опсег међуатомских интеракција. Добијени резултати су омогућили директно квантитативно поређење апроксимативних теорија (без коришћења и подешавања евентуалних слободних параметара) и експерименталних резултата. Показано је да Гуцвилерова теорија средњег поља изненађујуће добро описује и дуготрајне осцилације карактеристичне за суперфлуидно стање, као и спору релаксацију Мот изолатора.

Примена контролисане дисипације пружа нов начин мерења особина и понашања хладних атомских система. Овакав експеримент се изводи тако што се јако фокусиран електронски снап усмерава на облак хладних атома, а услед нееластичних судара електрона и атома формирају се јони, који напуштају систем и касније се детектују. Мотивисана овим експериментом, кандидаткиња је разматрала динамику хладних бозона која је изазвана локализованом дисипацијом у дводимензионалној оптичкој решетки. Динамика система је описана Линдбладовом мастер једначином која даје временску еволуцију матрице густине. Основна апроксимација која је коришћена при решавању ове једначине је Гуцвилерова теорија средњег поља. Добијени резултати показују да при слабој дисипацији укупни губици директно одсликавају почетну локалну густину атома и расту са појачањем примењене дисипације. Много интересантнији је режим јаке дисипације у ком је уочен квантни Зенонов ефекат, када мерење успорава унитарну еволуцију система и ефективни губици опадају са појачањем примењене дисипације. У овом режиму ефективни губици одсликавају вредности микроскопских параметара система (као што су јачина тунелирања и интеракција), што значи да овакво мерење пружа додатне важне информације о систему.

Кандидаткиња је учествовала у истраживању појаве споре термализације у бозонским системима, која не следи широко прихваћену парадигму. Хладни атоми представљају веома погодно окружење за проучавање термализације током динамике описане унитарним оператором, јер представљају добро изоловане квантне системе. Најчешће се експериментално проучавају quench протоколи: почетно стање система није својствено стање Хамилтонијана и прати се његова временска еволуција. Уопштено, код неинтеграбилних система се очекује да систем брзо заборави почетне услове и да се након тога на локалним скалама, условно речено, може описати термалним стањем. Недавно је показано да у неким моделима термализација одређених почетних стања може бити веома спора што је објашњено појавом тзв. квантних ожиљка (quantum scars) - својствених стања високе енергије и ниске ентропије сплетености.

Кандидаткиња је допринела раду на конструкцији и разумевању бозонских модела који показују такву спору термализацију. Основни једнодимензионални Бозе-

Хабард модел је проширен увођењем ограничења на процесе тунелирања. Конкретно, амплитуда тунелирања између два најближа суседа оптичке решетке зависи од њихове насељености, а за неке насељености тунелирање може бити потпуно забрањено. За овакве моделе испитивана је динамика почетних конфигурација таласа густине пратећи вредности Лошмит еха и раст ентропије сплетености. Показано је да се у овим системима појављују квантни ожиљци и употребом семи-аналитичке апроксимације је објашњено који модели и која почетна стања показују спори прелаз у термално стање.

Ова истраживања су објављена у радовима:

- **I. Vidanović**, D. Cocks, and W. Hofstetter
Dissipation through Localized Loss in Bosonic Systems with Long-range Interactions
Phys. Rev. A **89**, 053614 (2014).
- A. Dhar, C. Baals, B. Santra, A. Mullers, R. Labouvie, T. Mertz, **I. Vasić**, A. Cichy, H. Ott and W. Hofstetter
Transport of Strongly Correlated Bosons in an Optical Lattice
Phys. Status Solidi B **256**, 1800752 (2019).
- A. Hudomal, **I. Vasić**, N. Regnault, and Z. Papic
Quantum Scars of Bosons with Correlated Hopping
Commun. Phys. **3**, 99 (2020).

2.4. Синтетичка магнетна поља у вођеним оптичким решеткама

Реализација синтетичких магнетних поља у оптичким решеткама омогућила је имплементацију важног Харпер-Хофштетер модела, чије енергетске зоне се карактеришу тополошком инваријантом, тзв. Черновим бројем. Прекретница у области је постигнута мерењем Черновог броја у систему хладних бозонских атома [Aidelsburger et al., Nat. Phys. **11**, 162 (2015)]. Мотивисана овим резултатима, кандидаткиња је истраживала динамику слабо интерагујућих некохерентних бозона у дводимензионалној оптичкој решетки, која даје директан увид у Чернов број.

Разматрана је реалистична експериментална поставка у којој се Харпер-Хофштетер модел реализује методом која се назива Флоке мапирање. Конкретно, атоми у оптичкој решетки су изложени додатним ласерима, а комплетан опис система је дат периодично вођеним Хамилтонијаном. Применом Флоке теореме се показује да се оператор временске еволуције оваквог система може разложити на временски независан ефективни модел, који описује стробоскопску динамику, и на додатно микроректање. За неинтерагујући случај, применом аналитичког апроксимативног развоја по инверзној фреквенцији вођења, изведени су чланови вишег реда у ефективном моделу који фигуришу као корекције Харпер-Хофштетер модела.

Посебан фокус је био на разумевању улоге слабих атомских интеракција. Почетно стање система је одабрано у складу са експериментом – бозонски атоми приближно

равномерно насељавају најнижу зону ефективног модела, а у простору су локализовани услед присуства спољашње замке. Динамика почиње искључивањем замке и увођењем униформне силе, док је истовремено систем изложен периодичном вођењу. Релевантне величине које су добијене из симулација су померај центра масе атомског облака, ширина и просторна расподела атомског облака, као и насељеност енергетских зона ефективног модела у зависности од времена. Специјално, ненулти Чернов број се може одредити из помераја центра масе система у правцу ортогоналном на правац примењене силе.

Резултати симулација показују да интеракције доводе до насељавања виших енергетских зона и то кроз конверзију интеракционе енергије у кинетичку енергију током ширења атомског облака, као и кроз додатну апсорпцију енергије услед вођења. За последицу се добија умањен ортогонални померај центра масе, што отежава мерење Черновог броја, као што је и примењено у експерименту. Ипак, за умерене вредности интеракција, овај ефекат можемо узети у обзир на конзистентан начин. Сем тога, интересантно је да умерена атомска репулзија поспешује мерење Черновог броја поравнањем расподеле атома у простору квазиимпулса у каснијим етапама временске еволуције. Такође, добијени резултати показују да слабе интеракције могу потиснути доприносе чланова вишег реда ефективног модела у корист тополошког дела, што је још један начин на који поједностављују мерење Черновог броја.

Реализација синтетичких магнетних поља у системима хладних атома пружа нове могућности за проучавање и примену фракционог Холовог ефекта. За бозонске атоме одговарајуће основно стање је описано бозонском Лафлиновом таласном функцијом. За бозоне у оптичким решеткама ефективно магнетно поље се уводи у основни Бозе-Хабард модел тзв. Пајрлсовом сменом. Раније је показано да овај модел подржава фракционо Холово стање при одређеним атомским густинама и за коначне локалне интеракције.

Међутим, савремени начин реализације синтетичких магнетних поља захтева важна суштинска проширења овог описа. Синтетичка магнетна поља се добијају периодичним вођењем система, а ефективан Флоке опис постаје тривијалан у интерагујућим системима. Практично, независно од почетног стања, после неког времена, систем прелази у тривијално стање ком одговара бесконачна температура. Фокус кандидаткиње у истраживања је био на налажењу оптималног режима микроскопских параметара који би омогућио припрему и експерименталну карактеризацију фракционог Холовог стања, пре него што систем пређе у такво, тривијално стање.

У овом случају релевантни микроскопски параметри су јачина локалних атомских интеракција и фреквенција вођења. Применом егзактног нумеричког описа за системе од неколико бозона одређено је које фреквенције вођења омогућавају реализацију фракционог Холовог стања. За карактеризацију ових стања коришћена је напредна техника, тзв. спектар сплетености, и то спектар честичне сплетености. Главни резултат истраживања је да се фракционо Холово стање може припремити у прелазном режиму на експериментално довољно дугим временским скалама.

Ова истраживања су објављена у радовима:

- A. Hudomal, N. Regnault, and **I. Vasić**
Bosonic Fractional Quantum Hall States in Driven Optical Lattices
Phys. Rev. A **100**, 053624 (2019).
- A. Hudomal, **I. Vasić**, H. Buljan, W. Hofstetter, and A. Balaž
Dynamics of Weakly Interacting Bosons in Optical Lattices with Flux
Phys. Rev. A **98**, 053625 (2018).

3. ЕЛЕМЕНТИ ЗА КВАЛИТАТИВНУ ОЦЕНУ НАУЧНОГ ДОПРИНОСА КАНДИДАТКИЊЕ

3.1. Квалитет научних резултата

3.1.1. Научни ниво и значај резултата, утицај научних радова

Др Ивана Васић је у свом досадашњем раду дала кључан допринос у укупно 27 радова у међународним часописима. Од тога је седам у категорији M21a (међународни часописи изузетних вредности), 17 у категорији M21 (врхунски међународни часописи), два у категорији M22 и један рад у категорији M23.

Након одлуке Научног већа о предлогу за стицање претходног научног звања, др Ивана Васић је објавила 7 радова у међународним часописима. Од тога је један рад у категорији M21a, пет у категорији M21, а један у категорији M23. Од претходног избора у звање кандидаткиња је била гост уредник истакнутог међународног часописа (M28б) и има 16 саопштења на међународним конференцијама категорије M34.

Као најзначајнијих пет радова кандидаткиње у периоду за реизбор могу се узети:

1. K. Plekhanov, **I. Vasić**, A. Petrescu, R. Nirwan, G. Roux, W. Hofstetter, and K. Le Hur
Emergent Chiral Spin State in the Mott Phase of a Bosonic Kane-Mele-Hubbard Model
Phys. Rev. Lett. **120**, 157201 (2018).
M21a, цитиран 14 пута, DOI: 10.1103/PhysRevLett.120.157201
2. A. Hudomal, N. Regnault, and **I. Vasić**
Bosonic Fractional Quantum Hall States in Driven Optical Lattices
Phys. Rev. A **100**, 053624 (2019).
M21, цитиран 11 пута, DOI: 10.1103/PhysRevA.100.053624
3. A. Hudomal, **I. Vasić**, H. Buljan, W. Hofstetter, and A. Balaž
Dynamics of Weakly Interacting Bosons in Optical Lattices with Flux
Phys. Rev. A **98**, 053625 (2018).
M21, цитиран 3 пута, DOI: 10.1103/PhysRevA.98.053625
4. U. Bornheimer, **I. Vasić**, and W. Hofstetter
Phase Transitions of the Coherently Coupled Two-component Bose Gas in a Square Optical Lattice
Phys. Rev. A **96**, 063623 (2017).
M21, цитиран 5 пута, DOI: 10.1103/PhysRevA.96.063623

5. A. Geissler, **I. Vasić**, and W. Hofstetter
Condensation Versus Long-range Interaction: Competing Quantum Phases in Bosonic Optical Lattice Systems at Near-resonant Rydberg Dressing
Phys. Rev. A **95**, 063608 (2017).
M21, цитиран 11 пута, DOI: 10.1103/PhysRevA.95.063608

У првом раду уведен је и детаљно испитан Кејн-Меле-Хабард модел чија се експериментална реализација очекује у текућим експериментима са хладним атомима у синтетичким магнетним пољима. Кандидаткиња је показала да се у присуству интеракција и магнетних поља могу појавити нестандардне бозонске фазе и анализирани су њихове конкретне експерименталне карактеристике. Овај модел садржи две амплитуде тунелирања, између првих и других најближих суседа саће решетке, као и локалне одбојне интеракције између два типа бозонских атома. Поред две кондензоване фазе, које се јављају при слабирим интеракцијама, у Мотовој области су одређени различити типови псеудомагнетног уређења. Специјално, у одређеном опсегу параметара, кандидаткиња је показала да јака фрустрација ефективног модела спречава просторно уређење, па је у овом режиму основно стање система нови тип киралног спинског стања.

У другом раду испитиван је веома релевантан проблем припреме Лафлиновог бозонског стања у реалистичном експерименту. Испитивање фракционих Холових стања у експериментима са хладним атомима је један од раних циљева читаве области и постигнут је тек недавно. Принципијелно, синтетичка магнетна поља у оптичким решеткама и јаке интеракције су довољни услови за реализацију Лафлиновог стања, међутим чињеница да се магнетна поља уводе вођењем оптичке решетке значајно компликује прави опис система. Применом егзактног нумеричког описа за системе од неколико бозона и одређивањем спектра честичне сплетености, кандидаткиња је показала да се фракционо Холово стање може припремити у прелазном режиму на експериментално довољно дугим временским скалама.

Трећи рад је мотивисан експериментом у ком је први пут измерен нетривијални Чернов број енергетске зоне у оптичкој решетки. Кандидаткиња је радила на теоријском опису вођеног система слабо интерагујућих некондензованих бозона узимајући у обзир све детаље експерименталне поставке. Испитана је улога слабих међуатомских интеракција и показано је да интеракције доводе до насељавања виших енергетских зона, што отежава мерење Черновог броја, али и да умерена атомска репулзија поспешује мерење Черновог броја поравнањем расподеле атома у простору квазиимпулса у каснијим етапама временске еволуције.

У четвртном раду детаљно је проучен квантни фазни прелаз између суперфлуидног стања у Мот изолатор за кохерентно спрегнути двокомпонентни бозонски систем. Ова врста спрезања се широко користи у експериментима са хладним атомима. Кандидаткиња је применом бозонске динамичке теорије средњег поља испитала читав фазни дијаграм модела и посебно утицај кохерентног спрезања на прелаз Мот изолатора у суперфлуид. У сарадњи са коауторима, открила је да кохерентно спрезање помера поменути прелаз ка вишим вредностима амплитуде тунелирања. Додатно, њени резултати указали су на то да неутрална фаза, поспешена спрезањем, игра доминантну улогу у режиму јаких интеракција.

У петом раду разматран је фазни дијаграм бозона у оптичкој решетки за експериментално реалистичну поставку у којој додатни ласер кохерентно повезује

атоме у основном стању са високо ексцитованим Ридберговим стањем. На овај начин у систем се уводе дугодометне интеракције које омогућавају реализацију обиља квантних фаза. Како би одредила фазни дијаграм, кандидаткиња је проширила постојећу бозонску динамичку теорију средњег поља и утврдила присуство различитих кристалних стања, егзотичних суперсолидних и суперфлуидних фаза.

3.1.2. Цитираност научних радова кандидаткиње

Према подацима о цитираности аутора изведених из базе Web of Science, радови чији је кандидаткиња коаутор цитирани су 638 пута, од чега 596 пута без аутоцитата, а Хиршов индекс је 13.

3.1.3. Параметри квалитета радова и часописа

Битан елемент за процену квалитета научних резултата је и квалитет часописа у којима су радови објављени, односно њихов импакт фактор (ИФ). У категорији M21a, M21, M22 и M23 кандидаткиња је објавила радове у следећим часописима, где су подвучени они часописи у којима је кандидаткиња објавила радове након одлуке Научног већа о предлогу за стицање претходног научног звања:

- 1 рад у Physical Review Letters (ИФ = 9,227)
- 1 рад у Communications Physics (ИФ = 6,368)
- 1 рад у New Journal of Physics (ИФ = 4,177)
- 1 рад у Computer Physics Communications (ИФ = 3,268)
- 8 радова у Physical Review A (ИФ = 2,866 за 1 рад; ИФ = 3,042 за 1 рад; ИФ = 2,991 за 2 рада, ИФ = 2.909 за 4 рада)
- 3 рада у Physical Review B (ИФ = 3,475 за 1 рад, ИФ = 3,774 за 1 рад; ИФ = 3,736 за 1 рад)
- 3 рада у Physical Review E (ИФ = 2,508 за 3 рада)
- 2 рада у Journal of Statistical Mechanics (ИФ = 2,67 за 2 рада)
- 1 рад у Communications in Computational Physics (ИФ = 1,863)
- 1 рад у Journal of Physics B (ИФ = 2,031)
- 2 рада у Physics Letters A (ИФ = 2,174 за 2 рада)
- 1 рад у Physica Status Solidi B (ИФ = 1,729)
- 1 рад у The European Physical Journal B (ИФ = 1,575)
- 1 рад у Physica Scripta (ИФ = 1,204).

Укупан збир импакт фактор радова кандидаткиње је 83,165, а након одлуке Научног већа о предлогу за стицање претходног научног звања тај фактор је 28,96. Часописи у којима је кандидаткиња објављивала радове су по свом угледу цењени и водећи у областима којима припадају. Посебно се међу њима истичу: Physical Review Letters, Communications Physics, New Journal of Physics, Computer Physics Communications, Physical Review A, Physical Review B и Physical Review E.

Додатни библиометријски показатељи у вези са објављеним радовима кандидаткиње у периоду након одлуке Научног већа о предлогу за стицање звања виши научни сарадник. Она садржи импакт факторе (ИФ) радова, M20 бодове радова по категоризацији научноистраживачких резултата, као и импакт фактор нормализован по импакту цитирајућег чланка (СНИП) (најбоља вредност из

периода до две године уназад од објаве рада). У табели су дате укупне вредности, као и вредности свих фактора усредњених по броју чланака и по броју аутора по чланку, за радове објављене у М20 категоријама.

	ИФ	М	СНИП
Укупно	28,96	53	9,4
Усредњено по чланку	4,14	7,57	1,34
Нормирано на број аутора	6,57	13,32	2,15

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

У својој каријери, кандидаткиња је водећи аутор девет радова, други аутор тринаест радова и трећи аутор четири рада у међународним часописима категорије М20.

Свих седам радова у часописима, објављених у периоду након одлуке Научног већа о предлогу за стицање претходног научног звања, су реализовани у сарадњи са колегама у иностранству. У овим публикацијама кандидаткиња је имала битан допринос, што се види по томе да је други аутор пет радова и последњи, кључни аутор једног рада. Кандидаткиња је била покретач истраживања, радила је на конкретном решавању проблема применом нумеричких симулација, координисала је сарадњу свих коаутора и надгледала рад млађих истраживача, писала радове и била у комуникацији са уредницима часописа при слању радова за објављивање.

Током израде своје докторске дисертације на Институту за физику у Београду, у сарадњи са др Антуном Балажом и иностраним сарадником др Акселом Пелстером са Универзитета у Дуизбургу (у том тренутку; сада на Техничком универзитету у Кајзерслаутерну-Ландау), кандидаткиња је започела са нумеричким симулацијама хладних бозонских атома у режиму слабих интеракција применом Грос-Питаевски једначине. У току постдокторског усавршавања кандидаткиња се бавила проучавањем особина јако интерагујућих бозона у оптичким решеткама, испитивањем ефеката дисипације на бозонске фазе, као и одређивањем особина бозонских фаза у присуству синтетичких магнетних поља. Ово су веома актуелне теме, које се истражују у најновијим експериментима са хладним атомима. За њихово успешно проучавање неопходне су напредне нумеричке технике, које је кандидаткиња усавршила као постдокторанд у Франкфурту и затим то знање пренела на Институт за физику у Београду. Кандидаткиња је била ментор докторске дисертације др Ане Худомал, која је радила управо на овим темама под њеним руководством.

Кандидаткиња има активну сарадњу са истраживачким групама проф. Валтера Хофштетера, Франкфурт, Немачка, проф. Карин Ле Хур, Париз, Француска, проф. Масуд Хаке, Даблин, Ирска и проф. Хрвоје Буљан, Загреб, Хрватска.

3.1.5. Награде

Кандидаткиња је добитница Студентске награде Института за физику у Београду за 2012. годину (за најбољу докторску тезу одбрањену 2011. године).

3.2. Ангажованост у формирању научних кадрова

Кандидаткиња је била ментор за израду докторске дисертације Ане Худомал "Numerical Study of Quantum Gases in Optical Lattices and in Synthetic Magnetic Fields" одбрањене на Физичком факултету Универзитета у Београду децембра 2020. У поменутој дисертацији описани су резултати представљени у радовима:

- A. Hudomal, **I. Vasić**, N. Regnault, and Z. Papic
Quantum Scars of Bosons with Correlated Hopping
Commun. Phys. **3**, 99 (2020).
- A. Hudomal, N. Regnault, and **I. Vasić**
Bosonic Fractional Quantum Hall States in Driven Optical Lattices
Phys. Rev. A **100**, 053624 (2019).
- A. Hudomal, **I. Vasić**, H. Buljan, W. Hofstetter, and A. Balaž
Dynamics of Weakly Interacting Bosons in Optical Lattices with Flux
Phys. Rev. A **98**, 053625 (2018).

Поред тога, блиско је сарађивала и помагала студентима докторандима Хамиду Ал-Џибурију (Hamid Jabber Haziran Al-Jibbouri) на Free University у Берлину, Немачка, чија докторска теза је одбрањена септембра 2013. године, као и Андреасу Гајслеру (Andreas Geissler) на Гете универзитету у Франкфурту, Немачка, чија теза је одбрањена 2018. године.

Кандидаткиња је као коментор учествовала у изради два мастер рада:

- Phase transitions of the coherently coupled two-component Bose gas in a 2D Optical Lattice
Студент: Улрике Борнхајмер (Ulrike Bornheimer)
Гете универзитет у Франкфурту, Немачка, децембар 2014. године
Ментори: Валтер Хофштетер, Ивана Васић
- Phase Diagram of the Bosonic Kane-Mele-Hubbard Model
Студент: Ражбир Нирван (Rajbir Nirwan)
Гете универзитет у Франкфурту, Немачка, септембар 2016. године
Ментори: Валтер Хофштетер, Ивана Васић

као и два дипломска рада:

- Transport and Dynamics of Interacting Bosons with Dissipation
Студент: Томас Мерц (Thomas Mertz)
Гете универзитет у Франкфурту, Немачка, септембар 2014. године
Ментори: Валтер Хофштетер, Ивана Васић
- Superfluid Phases in the Presence of Artificial Gauge Fields
Студент: Ражбир-Синг Нирван (Rajbir-Singh Nirwan)
Гете универзитет у Франкфурту, Немачка, октобар 2014. године
Ментори: Валтер Хофштетер, Ивана Васић

У току постдокторског боравка на Гете универзитету у Франкфурту, кандидаткиња је активно учествовала у настави на основним студијама тамошњег Физичког факултета. Била је асистент-тутор на вежбама из Статистичке физике, као и

асистент који припрема материјале, испите и координише рад асистената-тутора на предметима Квантна механика, Рачунарска физика, Квантне информације и ултрахладни квантни гасови. Кандидаткиња је као наставник ангажована на докторским студијама Физичког факултета Универзитета у Београду на предметима "Методе квантне теорије поља у физици кондензоване материје" и "Квантне течности" за ужу научну област Физика кондензоване материје и статистичка физика.

Прилози: насловне стране и захвалнице наведених докторских теза, мастер и дипломских радова.

3.3. Нормирање броја коауторских радова, патената и техничких решења

Сви разматрани радови кандидаткиње садрже комплексне нумеричке симулације. Пет радова имају пет или мање аутора, тако да улазе са пуном тежином у односу на број коаутора. Један рад има седам аутора, а један рад је експериментални и има десет аутора, па је извршено нормирање у складу са Правилником.

Укупан број М бодова које је кандидаткиња остварила након одлуке Научног већа о предлогу за стицање претходног научног звања је 63,5, а након нормирања тај број је 59,51. Ова разлика је мала и не утиче на квантитативну процену резултата кандидаткиње.

3.4. Руковођење пројектима, потпројектима и пројектним задацима

Кандидаткиња је руководила:

- пројектом "Квантне фазе бозонског Кејн-Меле Хабард модела (ВКМН)" у оквиру Програма билатералне научне и технолошке сарадње између Министарства просвете, науке и технолошког развоја Републике Србије и Немачке агенције за академску размену (DAAD) за период од 2016. до 2017. године,
- пројектом "Тополошка својства оптичких и фотонских решетки" у оквиру Програма билатералне научне и технолошке сарадње између Министарства просвете, науке и технолошког развоја Републике Србије и Министарства знаности, образовања и спорта Републике Хрватске за период од 2016. до 2017. године,
- потпројектом "Ефикасно израчунавање функционалних интеграла са применом на ултрахладне квантне гасове" у оквиру пројекта основних истраживања ОН171017 "Моделирање и нумеричке симулације сложених вишечестичних система" Министарства просвете, науке и технолошког развоја Републике Србије,
- потпројектом под називом "Динамика ултрахладних атома" у оквиру Националног центра изузетних вредности за изучавање комплексних система.

У току постдокторског боравка на Гете универзитету у Франкфурту, кандидаткиња је била ангажована на престижном пројекту DFG-Research Unit 801 - Strong Correlations in Multiflavor Ultracold Quantum Gases (FOR 801) финансираном од

стране Немачке истраживачке фондације (DFG), који је представљао колаборацију шест водећих немачких експерименталних и теоријских група из области хладних атома.

Прилози: званична писма обавештења о одобреним билатералним пројектима, потврда руководиоца пројекта о руковођењу потпројектом.

3.5. Активност у научним и научно-стручним друштвима

Кандидаткиња је члан Одсека за физику кондензоване материје и статистичку физику Друштва физичара Србије и члан Оптичког друштва Србије. Учествовала је у раду Државне комисије за такмичења из физике за ученике средњих школа Друштва физичара Србије при прегледању задатака на Државном такмичењу 2016. године.

Рецензент је за часописе *Physical Review Letters*, *Physical Review A* и *Physical Review B* које издаје Америчко друштво физичара.

Била је члан Међународног организационог комитета конференције *Turkish Physical Society 32nd International Physics Congress – TPS32*, Бодрум, Турска, 6.-9. септембар 2016. године, организоване од стране Турског друштва физичара. Такође, била је члан програмског одбора конференције *Photonica 2021* одржане у Београду, 23.–27. август 2021. године, и конференције *Photonica 2023* одржане у Београду, 28. август –1. септембар 2023.

У оквиру COST акције "Quantum Technologies with Ultra-Cold Atoms", у којој је била члан менаџмент комитета, кандидаткиња је заједно са др Александром Малуцков из Института за нуклеарне науке "Винча" организовала радионицу "Quantum coherent effects with ultra-cold atoms", која је одржана у Београду од 29. до 30. августа 2019. године.

Кандидаткиња је била гостујући уредник у часопису *Optical and Quantum Electronics* за колекцију *Emergent Topics in Photonics: Science and Applications* коју издаје Springer. По свом рангу, часопис спада у истакнуте међународне часописе категорије M22.

Прилози: писма уредништва рецензенту, званичан позив за чланство у организационом комитету.

3.6. Утицај научних резултата

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

Поред тога, пун списак радова и цитата је дат у прилогу, на основу чега се такође може проценити да су радови кандидаткиње јасно препознати у оквиру области ултрахладних атома.

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

Кандидаткиња је значајно допринела сваком раду у коме је учествовала.

Свих седам радова у часописима, објављених у периоду након одлуке Научног већа о предлогу за стицање претходног научног звања, су реализовани у сарадњи са колегама у иностранству. У овим публикацијама кандидаткиња је имала битан допринос, што се види по томе да је други аутор на пет радова и последњи кључни аутор на једном раду. Конкретно, кандидаткиња је била покретач истраживања, радила је на конкретном решавању проблема применом нумеричких симулација, координисала је сарадњу свих коаутора и надгледала рад млађих истраживача, писала радове и била у комуникацији са уредницима часописа при слању радова за објављивање.

Нова истраживачка тема коју је кандидаткиња покренула на Институту за физику у Београду су особине јако интерагујућих хладних бозонских атома у оптичким решеткама. За рад на овој теми потребни су напредни нумерички методи и кандидаткиња је успешно пренела своје познавање бозонске динамичке теорије средњег поља које је стекла на постдокторском усавршавању. Проучавање јако интерагујућих хладних бозонских атома у оптичким решеткама је важан допринос кандидаткиње развоју и унапређењу научног профила Института и представља отварање нове истраживачке теме. Докторска дисертација др Ане Худомал је заснована управо на овој теми.

3.8. Уводна предавања на конференцијама, друга предавања и активности

На састанку међународног пројекта "DFG Research Unit 2414: Artificial Gauge Fields and Interacting Topological Phases in Ultracold Atoms", финансираном од стране Немачке истраживачке фондације (DFG), који представља колаборацију десет водећих европских група у области хладних атома, кандидаткиња је одржала предавање:

- **I. Vasić**
Dynamics of interacting bosons in driven optical lattices
New Progress in Topological Phases
Paris, France, 10 July 2019 – 11 July 2019

Пре претходног избора у звање, кандидаткиња је одржала следећа предавања:

- **I. Vasić, A. Petrescu, K. Le Hur and W. Hofstetter**
Bosonic phases on the Haldane honeycomb lattice
Conference Topological effects and synthetic gauge/magnetic fields for atoms and photons
Zagreb, Croatia, 29 September 2015 – 1 October 2015, M32
- **I. Vasić, A. Petrescu, K. Le Hur and W. Hofstetter**
Bosonic phases on the Haldane honeycomb lattice
The 19th Symposium on Condensed Matter Physics
Belgrade, Serbia, 7–11 September 2015, M32

- **I. Vasić**, A. Petrescu, K. Le Hur, and W. Hofstetter
Chiral Bosonic Phases on the Haldane Honeycomb Lattice
Osma radionica fotonike
Kopaonik, Serbia, 8–12 March 2015, M62
- **I. Vasić**
Hladni bozonski atomi u optičkim rešetkama
Seminar Fizičkog fakulteta u Beogradu, 10. 06. 2015. године

Као доказ приложена су позивна писма за учешће на конференцијама, Веб сајтови конференција, изводи из књига апстраката.

4. ЕЛЕМЕНТИ ЗА КВАНТИТАТИВНУ ОЦЕНУ НАУЧНОГ ДОПРИНОСА КАНДИДАТКИЊЕ

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
M21a	10	1	10	7,14
M21	8	5	40	40
M23	3	1	3	1,87
M286	2,5	1	2,5	2,5
M34	0,5	16	8	8

Поређење са минималним квантитативним условима за реизбор у звање виши научни сарадник:

Минимални број М бодова	Неопходно	Остварено	Остварено, нормирани број М бодова
Укупно	50/2=25	63,5	59,51
M10+M20+M31+M32+M33+M41+M42+M90	40/2=20	55,5	51,51
M11+M12+M21+M22+M23	30/2=15	53	49,01

ЗАКЉУЧАК

Имајући у виду изузетно високу вредност и оригиналност научних радова др Иване Васић, као и њено значајно искуство у међународној сарадњи и педагошком раду, мишљења смо да је кандидаткиња достигла високу истраживачку зрелост и научну компетентност. На основу података из извештаја види се да она вишеструко задовољава све квантитативне и квалитативне услове за реизбор у звање виши научни сарадник који су прописани Правилником о стицању истраживачких и научних звања Министарства науке, технолошког развоја и иновација Републике Србије.

Због тога нам је изузетно задовољство да предложимо Научном већу Института за физику у Београду да донесе одлуку о прихватању предлога за реизбор др Иване Васић у звање виши научни сарадник.

У Београду, 03. 04. 2024. године

Чланови комисије:

др Антун Балаж
научни саветник
Институт за физику у Београду

др Милица Миловановић
научни саветник
Институт за физику у Београду

академик Милан Дамњановић
професор емеритус
Физичког факултета Универзитета у Београду