

Научном већу Института за физику у Београду

Извештај комисије за избор др Милана Радоњића у звање виши научни сарадник

На седници Научног већа Института за физику у Београду одржаној 23. 10. 2018. године именовани смо у комисију за избор др Милана Радоњића звање виши научни сарадник.

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

1. Биографски подаци о кандидату

Милан Радоњић је рођен 14. јула 1983. године у Смедеревској Паланци. Завршио је Прву крагујевачку гимназију 2002. године као матурант генерације и освајач бронзане медаље на 33. Међународној олимпијади из физике. Основне студије на Физичком факултету у Београду, смер Теоријска и експериментална физика, завршио је 2007. године као студент генерације са просечном оценом 10,00, одбравивши дипломски рад на тему “Квантни Холов ефекат у графену” под руководством др Милице Миловановић. Током студија био је стипендиста Министарства науке и технологије Републике Србије. Докторску дисертацију под насловом “*Electromagnetically induced coherent effects in laser excited Raman resonances in rubidium vapor*” урадио је под руководством др Бранислава Јеленковића и одбранио 2013. године на Физичком факултету Универзитета у Београду. Добитник је и годишње награде Института за физику у Београду за најбољу докторску дисертацију. У периоду од септембра 2015. до децембра 2017. године, др Милан Радоњић је радио као постдокторски истраживач у групи проф. др Филипа Валтера на Физичком факултету Универзитета у Бечу. Од јануара 2018. године започео је даље постдокторско усавршавање у групи проф. др Себастијана Егерта на Одсеку за физику Техничког универзитета у Кајзерслаутерну у Немачкој.

Током 2008. године Милан Радоњић је као докторанд-стипендиста Министарства науке и технологије Републике Србије учествовао у раду Центра за фотонику Института за физику у Београду. Од 1. јануара 2009. запослен је у истом центру као истраживач-приправник. Фебруара 2010. године је изабран у звање истраживач-сарадник. Од 2009. до 2011. године кандидат ради у оквиру пројекта Министарства науке и технолошког развоја ОИ141003 “Квантна и оптичка интерферометрија”, под руководством др Бранислава Јеленковића. Током наредног пројектног циклуса, од јануара 2011. до децембра 2017. године, био је запослен на пројектима Министарства просвете, науке и технолошког развоја ИИИ45016 “Производња и карактеризација нано-фотоничних функционалних структура у био-медицини и информатици” (руководилац др Бранислав Јеленковић) и ОН171038 “Холографски методи за генерисање специфичних таласних фронтова за ефикасну контролу квантних кохерентних ефеката у интеракцији атома и ласера” (руководилац др Дејан Пантелић) са по 6 истраживач-месеци. У звање научног сарадника изабран је 26. фебруара 2014. године. Почевши од 20. децембра 2017. године др Милан Радоњић ради у Лабораторији за примену рачунара у науци у оквиру Центра за изучавање комплексних система Института за физику у Београду, у оквиру пројекта ОН171017 “Моделирање и нумеричке симулације сложених вишечестичних система” (руководилац др Антун Балаж). Кандидат је такође учествовао у пројектима *NAI-DBEC*, *IBEC*

и *BEC-L* билатералне сарадње Министарства просвете, науке и технолошког развоја Републике Србије и Немачке агенције за академску размену (*DAAD*) током периода 2013-2014, 2015-2016. и 2017-2018. године, респективно, којима је руководио др Антун Балаж. Осим тога, био је и учесник билатералног истраживачког *SCOPE* пројекта бр. IZ73Z0_152511 између Института за физику у Београду и Лабораторије за временске и фреквентне стандарде Универзитета у Нојшателу у Швајцарској током 2014. и 2015. године.

Главне научне теме кандидата су проучавање кохерентних и нелинеарних ефеката у квантној оптици, Бозе-Ајнштајн кондензата фотона, отворених квантних система, хибридних квантно-класичних система и макроскопских квантних система. У тренутку подношења овог извештаја, Милан Радоњић је коаутор укупно 47 радова у међународним часописима са ISI листе, од којих 16 у категорији M21a, 11 у категорији M21, 4 у категорији M22, 4 у категорији M23 и 12 у категорији M33. Укупан број цитата радова кандидата је 166 (100 не рачунајући самоцитате), са Хиршовим индексом 8. Др Милан Радоњић научну сарадњу са групама из Немачке и Аустрије. Био је ментор за израду докторске дисертације Анђела Мађитија (Angelo Maggitti), одбрањене 2016. године на Физичком факултету Универзитета у Београду.

2. Преглед научне активности

Научно-истраживачка активност кандидата је у области квантне физике (квантна оптика и квантне информације) и физике кондензоване материје. Главни истраживачки правци обухватају проучавање:

- кохерентних и нелинеарних ефеката у квантној оптици,
- хибридних квантно-класичних система,
- отворених квантних система,
- макроскопских квантних система,
- Бозе-Ајнштајн кондензата фотона.

У наредним одељцима укратко су приказани главни научни резултати добијени у оквиру набројаних тема.

2.1 Кохерентни и нелинеарни ефекти у квантној оптици

Приликом интеракције атома са сложеном структуром енергетских нивоа и ласерске светлости могу се испољити различити нелинеарни и кохерентни ефекти. Током рада на својој докторској дисертацији кандидат је проучавао и бавио се теоријско-нумеричким моделирањем електромагнетски индуковане транспаренције, електромагнетски индуковане апсорпције, нелинеарне магнето-оптичке ротације и Штарковог брзог адијабатског прелаза. Испитиван је утицај профила интензитета ласерског снопа на поменуте ефекте у термалним атомским парама рубидијума. Узимајући у обзир детаље сложене хиперфине структуре рубидијума и реалистичне параметре система кандидат је развио теоријски модел који је успешно описао и разјаснио експерименте урађене у Центру за фотонику Института за физику у Београду. Развијени модел је омогућио увид у различите типове кохерентне еволуције атома приликом интеракције са ласерским сноповима различитих профила. Такође је успешно примењен у каснијим истраживањима просторно и временски одвојених ласерских побуда у тзв. Рамзијевој конфигурацији. Претходно поменути резултати су садржај радова:

- **M. Radonjić**, D. Arsenović, Z. Grujić, and B. M. Jelenković, *Coherent population trapping linewidths for open transitions: Cases of different transverse laser intensity distribution*, Phys. Rev. A **79**, 023805 (2009),
- A. J. Krmpot, S. M. Ćuk, S. N. Nikolić, **M. Radonjić**, D. G. Slavov, and B. M. Jelenković, *Dark Hanle resonances from selected segments of the Gaussian laser beam cross-section*, Opt. Express **17**, 22491 (2009),
- A. J. Krmpot, S. M. Ćuk, S. N. Nikolić, **M. Radonjić**, Z. D. Grujić, and B. M. Jelenković, *Laser Beam Profile Influence on Dark Hanle Resonances in Rb Vapor*, Acta Phys. Pol. A **116**, 563 (2009),
- M. M. Mijailović, Z. D. Grujić, **M. Radonjić**, D. Arsenović, and B. M. Jelenković, *Nonlinear magneto-optical rotation narrowing in vacuum gas cells due to interference between atomic dark states of two spatially separated laser beams*, Phys. Rev. A **80**, 053819 (2009),
- Z. Grujić, D. Arsenović, **M. Radonjić**, M. Mijailović, and B. Jelenković, *Numerical simulation of Raman resonance due to the Ramsey interference induced by thermal motion of atoms*, Phys. Scr. **T135**, 014026 (2009),
- S. M. Ćuk, **M. Radonjić**, A. J. Krmpot, S. N. Nikolić, Z. D. Grujić, and B. M. Jelenković, *Influence of laser beam profile on electromagnetically induced absorption*, Phys. Rev. A **82**, 063802 (2010),
- A. J. Krmpot, **M. Radonjić**, S. M. Ćuk, S. N. Nikolić, Z. D. Grujić, and B. M. Jelenković, *Evolution of dark state of an open atomic system in constant intensity laser field*, Phys. Rev. A **84**, 043844 (2011),
- Z. D. Grujić, M. M. Lekić, **M. Radonjić**, D. Arsenović, and B. M. Jelenković, *Ramsey effects in coherent resonances at closed transition $F_g = 2 \rightarrow F_e = 3$ of ^{87}Rb* , J. Phys. B **45**, 245502 (2012),
- S. N. Nikolić, V. Djokić, N. M. Lučić, A. J. Krmpot, S. M. Ćuk, **M. Radonjić**, and B. M. Jelenković, *The connection between electromagnetically induced transparency in the Zeeman configuration and slow light in hot rubidium vapor*, Phys. Scr. **T149**, 014009 (2012),
- S. N. Nikolić, A. J. Krmpot, N. M. Lučić, B. V. Zlatković, **M. Radonjić**, and B. M. Jelenković, *Effects of laser beam diameter on electromagnetically induced transparency due to Zeeman coherences in Rb vapor*, Phys. Scr. **T157**, 014019 (2013),
- S. N. Nikolić, **M. Radonjić**, A. J. Krmpot, N. M. Lučić, B. V. Zlatković, and B. M. Jelenković, *Effects of a laser beam profile on Zeeman electromagnetically induced transparency in the Rb buffer gas cell*, J. Phys. B **46**, 075501 (2013),
- S. M. Ćuk, A. J. Krmpot, **M. Radonjić**, S. N. Nikolić, and B. M. Jelenković, *Influence of a laser beam radial intensity distribution on Zeeman electromagnetically induced transparency line-shapes in the vacuum Rb cell*, J. Phys. B **46**, 175501 (2013),
- S. N. Nikolić, **M. Radonjić**, N. M. Lučić, A. J. Krmpot, and B. M. Jelenković, *Optical Ramsey fringes observed during temporal evolution of Zeeman coherences in Rb buffer gas cell*, Phys. Scr. **T162**, 014038 (2014),
- S. N. Nikolić, **M. Radonjić**, N. M. Lučić, A. J. Krmpot, and B. M. Jelenković, *Transient development of Zeeman electromagnetically induced transparency during propagation of Raman-Ramsey pulses through Rb buffer gas cell*, J. Phys. B **48**, 045501 (2015),
- Ivan S. Radojičić, **Milan Radonjić**, Marina M. Lekić, Zoran D. Grujić, Dragan Lukić, and Branislav Jelenković, *Raman-Ramsey electromagnetically induced transparency in the configuration of counterpropagating pump and probe in vacuum Rb cell*, J. Opt. Soc. Am. B **32**, 426 (2015).

Четвороталасно мешање је још један нелинеаран квантно-оптички феномен који је био

истраживан од стране кандидата. Користећи термалну пару калијума побуђивану двама ласерским сноповима у Λ -конфигурацији, добијени су веома велики квантни приноси у двама накнадно генерисаним светлосним сноповима. На основу квалитативног теоријског описа то је доведено у везу са великом суцептибилношћу атома калијума, која је последица малог хиперфиног цепања основног стања. Претходно је садржај рада:

- B. Zlatković, A. J. Krmpot, N. Šibalić, **M. Radonjić**, and B. M. Jelenković, *Efficient parametric non-degenerate four wave mixing in hot potassium vapor*, *Laser Phys. Lett.* **13**, 015205 (2016).

У току менторства при изради докторске тезе Анђела Мађитија кандидат је радио на генерализацијама поларитона тамних стања. У питању су сложене ексцитације које су суперпозиција атомских и фотонских стања и настају у атомским медијумима побуђиваним ласерским пољима у условима електромагнетски индуковане транспаренције. Једна од њихових примена је спора или заустављена светлост. Прво уопштење се тиче атома чији побуђивани енергетски нивои поседују дегенерацију. У зависности од поларизације коришћених побудних поља, одређене су дисперзионе релације и састав тамних поларитона и предложена примена тих сазнања. Претходно је приказано је у раду:

- A. Maggitti, **M. Radonjić**, and B. M. Jelenković, *Dark-state polaritons in a degenerate two-level system*, *Laser Phys.* **23**, 105202 (2013).

Друго уопштење се односи на низове спрегнутих микрорезонатора у којима се налази по један атом, односно на једнодимензионални Џејнс-Камингс-Хабардов модел са додатном модификацијом. Разматран је случај две ексцитације и нађено да оне могу образовати две различите врсте везаних парова тамних поларитона, који су просторно локализовани и са енергијама у процепима између енергетских трака делокализованих стања. Додатно је показана могућност да везани пар поларитона буде основно стање и да се може користити као квантна меморија. Испитивани систем поседује велику подесивост и ова истраживања су тек први корак у откривању његових даљих потенцијала. За више детаља погледати рад:

- A. Maggitti, **M. Radonjić**, and B. M. Jelenković, *Dark-polariton bound pairs in the modified Jaynes-Cummings-Hubbard model*, *Phys. Rev. A* **93**, 013835 (2016).

2.2 Хибридни квантно-класични системи

Један од постулата квантне механике је мерни постулат којим се описује пробабилистички колапс стања квантног система приликом интеракције са класичним мерним апаратом. Међутим, не постоји доследан динамички опис мерног процеса. Разлози су у различитим особинама квантних и класичних система и у различитим формализмима којима се описују. Квантна механика се најчешће изражава у терминима Хилбертових простора, док је класична механика формулисана на фазном простору. Теорија хибридни квантно-класичних система има за циљ превазилажење ових препрека и конзистентно динамичко моделовање процеса мерења квантног система. Кандидат је развио и анализирао приступ заснован на формализму Хамилтонових динамичких система. Полазећи од квантно-механичког описа оба система, на један од њих је наметнута веза која осигурава да је његова динамика ограничена на многострукост кохерентних стања, која у макроскопском лимиту постају класична. Овај приступ је основа следећих радова:

- **Milan Radonjić**, Slobodan Prvanović, and Nikola Burić, *System of classical nonlinear oscillators as a coarse-grained quantum system*, *Phys. Rev. A* **84**, 022103 (2011),
- **M. Radonjić**, S. Prvanović, and N. Burić, *Emergence of classical behavior from the quantum spin*, *Phys. Rev. A* **85**, 022117 (2012),

- **M. Radonjić**, Slobodan Prvanović, and Nikola Burić, *Alternative routes to equivalent classical models of a quantum system*, Chin. Phys. B **21**, 120301 (2012),
- **M. Radonjić**, S. Prvanović, and N. Burić, *Hybrid quantum-classical models as constrained quantum systems*, Phys. Rev. A **85**, 064101 (2012),
- N. Burić, I. Mendaš, D. B. Popović, **M. Radonjić**, and S. Prvanović, *Statistical ensembles in the Hamiltonian formulation of hybrid quantum-classical systems*, Phys. Rev. A **86**, 034104 (2012),
- **Milan Radonjić**, Slobodan Prvanović, and Nikola Burić, *Constrained quantum dynamics and coarse-grained description of a quantum system of nonlinear oscillators*, Phys. Scr. **T149**, 014011 (2012),
- N. Burić, D. B. Popović, **M. Radonjić**, and S. Prvanović, *Hybrid quantum-classical model of quantum measurements*, Phys. Rev. A **87**, 054101 (2013),
- N. Burić, D. B. Popović, **M. Radonjić**, and S. Prvanović, *Hamiltonian Formulation of Statistical Ensembles and Mixed States of Quantum and Hybrid Systems*, Found. Phys. **43**, 1459 (2013),
- N. Burić, D. B. Popović, **M. Radonjić**, and S. Prvanović, *Orbits of hybrid systems as qualitative indicators of quantum dynamics*, Phys. Lett. A **378**, 1081 (2014),
- N. Burić, D. B. Popović, **M. Radonjić**, and S. Prvanović, *Unified Treatment of Geometric Phases for Statistical Ensembles of Classical, Quantum and Hybrid Systems*, Int. J. Theor. Phys. **53**, 1046 (2014),
- D. Arsenović, N. Burić, D. B. Popović, **M. Radonjić**, and S. Prvanović, *Cloning in nonlinear Hamiltonian quantum and hybrid mechanics*, Phys. Rev. A **90**, 042115 (2014),
- N. Burić, D. B. Popović, **M. Radonjić**, and S. Prvanović, *A quantum-classical theory with nonlinear and stochastic dynamics*, Phys. Scr. **T163**, 014003 (2014),
- Nikola Burić, Duška B. Popović, **Milan Radonjić**, and Slobodan Prvanović, *Phase space theory of quantum-classical systems with nonlinear and stochastic dynamics*, Ann. Phys. (N.Y.) **343**, 16 (2014),
- D. Arsenović, N. Burić, D. B. Popović, **M. Radonjić**, and S. Prvanović, *Positive-operator-valued measures in the Hamiltonian formulation of quantum mechanics*, Phys. Rev. A **91**, 062114 (2015).

Комплементаран приступ хибридниим системима помоћу Купман-фон Нојмановог унитарног описа класичних система у Хилбертовом простору такође је био предмет истраживања кандидата. Уведени су апстрактни системи који интерполирају између класичних и квантних система и размотрена је физичка конзистентност описа два таква система чија је интеракција потенцијална, што је представљено у раду:

- **M. Radonjić**, D. B. Popović, S. Prvanović, and N. Burić, *Ehrenfest principle and unitary dynamics of quantum-classical systems with general potential interaction*, Phys. Rev. A **89**, 024104 (2014).

2.3 Отворени квантни системи

Сваки квантни систем се неизбежно налази под утицајем окружења – отворен је. Услед тога долази до ефеката декохеренције и дисипације, па је еволуција отвореног квантног система неунитарна. Стога је уопштење резултата који су познати у случају унитарне квантне еволуције на неунитарни сценарио нетривијално. Најједноставнији тип окружења не поседује

меморију о својој прошлости. Тада је динамика отвореног квантног система описана Линдбладовом мастер једначином. Еволуција атомских система поменутих у одељку 2.1 је управо моделирана таквим једначинама.

Кандидат је анализирао могућност дефинисања геометријске фазе отвореног квантног система помоћу ансамбла таласних функција чија стохастичко-дифузна еволуција у средњем репродукује еволуцију задату Линдбладовом једначином. Показано је да постоји погодна дефиниција која је инваријантна на унитарну групу симетрија ансамбла и указано на ограничења приступа такве врсте, што се може видети у радовима:

- Nikola Burić and **Milan Radonjić**, *Uniquely defined geometric phase of an open system*, Phys. Rev. A **80**, 014101 (2009),
- N. Burić and **M. Radonjić**, *Geometric Phase of an Open System*, Acta Phys. Pol. A **116**, 483 (2009).

Геометријска фаза побуђиваног квантног система са два нивоа је аналитички израчуната у раду:

- I. Mendaš, N. Burić, D. B. Popović, S. Prvanović, and **M. Radonjić**, *Geometric Phase for Analytically Solvable Driven Time-Dependent Two-Level Quantum Systems*, Acta Phys. Pol. A **126**, 670 (2014).

Даље, испитивана је динамика дво-модног система сличног ласеру, проширујући дво-модни Тејвис-Камингсов модел дисипативним процесима и некохерентном побудом атомског медијума. Аналитички су нађена четири могућа неравнотежна стационарна стања (фиксне тачке еволуције) и одређен је одговарајући фазни дијаграм. Могуће фазе се разликују по броју фиксних тачака и по њиховој стабилности. Додатно, проучена су три сценарија увођења Пирагасове контролне повратне спреге са кашњењем. У зависности од времена кашњења и јачине контроле показано је да се може постићи стабилизација нестабилних фиксних тачака или избор конкретне моде која ће садржати макроскопски број фотона. Више детаља садржи рад:

- Wassilij Kopylov, **Milan Radonjić**, Tobias Brandes, Antun Balaž, and Axel Pelster, *Dissipative two-mode Tavis-Cummings model with time-delayed feedback control*, Phys. Rev. A **92**, 063832 (2015).

2.4 Макроскопски квантни системи

Позната је чињеница да се суперпозиције веома различитих квантних стања макроскопских система не реализују у свету око нас. Парадокс Шредингерове живо-мртве мачке управо говори о томе. С тим у вези, кандидат је проучавао које врсте макроскопских суперпозиција (не)могу природно бити јединствена основна стања локалних, физички релевантних многочестићних Хамилтонијана са коначним енергетским процепом. Изведена је горња граница величине процепа произвољног физичког Хамилтонијана под претпоставком да је његово основно стање суперпозиција два добро различива макроскопска стања. За веома велику класу таквих стања показано је да енергијски процеп Хамилтонијана мора тежити нули у термодинамичком лимиту. Последица тога је да припрема таквих стања једноставним поступком хлађења у основно стање није експериментално изводљива, јер би водила мешаном стању уместо чистом. Коришћени методи и добијени резултати су од ширег значаја и могу послужити нпр. расветљавању неких аспеката квантних маргиналних проблема. Више о томе

видети у раду:

- Borivoje Dakić and **Milan Radonjić**, *Macroscopic Superpositions as Quantum Ground States*, Phys. Rev. Lett. **119**, 090401 (2017).

2.5 Бозе-Ајнштајн кондензати фотона

Системима у којима је остварена Бозе-Ајнштајн кондензација су 2010. године прибројани и фотони. Основу изведбе чини микрорезонатор испуњен молекулама органских боја који се могу побуђивати фотонима резонаторских мода. Димензије резонатора и ширина апсорпционог спектра молекула обезбеђују динамичку битност само једне лонгитудиналне моде. Додавши претходном закривљеност огледала резонатора, фотони у њему ефективно постају масени и у дводимензионалном хармонијском потенцијалу. Термализација је обезбеђена реапсорпцијом и емисијом од стране молекула органских боја. Кондензат се постиже довољно снажном некохерентном побудом молекула.

Полазећи од Линдбладове мастер једначине поменутог система кандидат је развио детаљни микроскопски модел као уопштење постојећег неравнотежног модела, који осим дисипативног укључује и кохерентни допринос динамици. На тај начин модел успешно интерполира између два дијаметрално супротна физичка случаја – Бозе-Ајнштајн кондензата фотона, када дисипација доминира динамиком, и стања сличног ласеру, када су кохерентни ефекти довољно изражени. У случају фотонског кондензата показано је да кохерентни процеси воде појави ефективне фотон-фотон интеракције која се преноси преко молекула органских боја. Процењена је јачина интеракције и добијено добро слагање са литературом. Такође је испитана њена зависност од параметара система. Све то је садржано у раду:

- **M. Radonjić**, W. Kopylov, A. Balaž, and A. Pelster, *Interplay of coherent and dissipative dynamics in condensates of light*, New J. Phys. **20**, 055014 (2018).

3. Елементи за квалитативну оцену научног доприноса кандидата

3.1 Квалитет научних резултата

3.1.1 Научни ниво и значај резултата, утицај научних радова

Др Милан Радоњић је у свом досадашњем раду објавио 47 радова у међународним часописима са ISI листе, од којих 16 у категорији M21a, 11 у категорији M21, 4 у категорији M22, 4 у категорији M23 и 12 у категорији M33.

У периоду након одлуке Научног већа о предлогу за стицање претходног научног звања, др Милан Радоњић је објавио 26 радова у међународним часописима са ISI листе и саопштења на међународним конференцијама, од којих 4 у категорији M21a, 8 у категорији M21, 4 у категорији M22, 1 у категорији M23, 1 у категорији M32, 4 у категорији M33 и 4 у категорији M34.

Као пет најзначајнијих радова кандидата издвајају се:

1. **M. Radonjić**, D. Arsenović, Z. Grujić, and B. M. Jelenković, *Coherent population trapping linewidths for open transitions: Cases of different transverse laser intensity distribution*, Phys. Rev. A **79**, 023805 (2009), **M21a** (ИФ = 2,908 за 2008. годину), цитиран 15 пута,
2. **M. Radonjić**, S. Prvanović, and N. Burić, *Hybrid quantum-classical models as constrained quantum systems*, Phys. Rev. A **85**, 064101 (2012), **M21a** (ИФ = 3,042 за 2012. годину), цитиран 23 пута,
3. Wassilij Kopylov, **Milan Radonjić**, Tobias Brandes, Antun Balaž, and Axel Pelster, *Dissipative two-mode Tavis-Cummings model with time-delayed feedback control*, Phys. Rev. A **92**, 063832 (2015), **M21** (ИФ = 2,991 за 2013. годину), цитиран 12 пута,
4. Borivoje Dakić and **Milan Radonjić**, *Macroscopic Superpositions as Quantum Ground States*, Phys. Rev. Lett. **119**, 090401 (2017), **M21a** (ИФ = 8,839 за 2017. годину), цитиран 1 пут,
5. **M. Radonjić**, W. Kopylov, A. Balaž, and A. Pelster, *Interplay of coherent and dissipative dynamics in condensates of light*, New J. Phys. **20**, 055014 (2018), **M21** (ИФ = 3,786 за 2016. годину).

Први рад је био полазна основа докторске дисертације кандидата. У њему је кандидат увео детаљан теоријски модел временски зависне ласер-атом интеракције, који узима у обзир комплексну хиперфину структуру атома алкалних метала. Користећи развијени метод успешно су описани и физички интерпретирани експерименти у вези са квантно-оптичким кохерентним и нелинеарним ефектима. Модел је омогућио да се прецизно испита временска еволуција атома рубидијума приликом интеракције са ласерским пољима различитих профила интензитета и да се схвате сасвим различити физички феномени у разматраним случајевима.

У другом раду кандидат уводи оригинални конзистентни опис хибридних интерагујућих квантно-класичних система преко Хамилтоновог формализма. Приступ је надаље резултовао бројним публикацијама на ту тему. Дираков формализам система са везама, познат у класичној механици, искоришћен је у контексту хибридних система и резултовао тзв. описом у смислу средњег поља. Наиме, класични системи су описани као макроскопски квантни са динамиком ограниченом на многострукост кохерентних стања. Тиме је омогућен унифициран третман класичних и квантних система на компатибилан начин.

Трећи рад садржи анализу дисипативног дво-модног Тејвис-Камингсовог модела интеракције атомског ансамбла и светлости. Основу чини теорија средњег поља примењена на Линдбладову мастер једначину система. Разматрана су могућа стационарна стања система када постоји спољашња побуда и утврђена њихова стабилност. Рад заправо садржи поједностављени модел потпуног микроскопског описа кондензата светлости, без механизма термализације. Међутим, добијени резултати ипак одговарају карактеристичним особинама реалистичних система. Такође су разматране могућности које нуди контрола преко повратне спреге са кашњењем.

Четврти рад се бави питањем да ли макроскопске квантне суперпозиције могу бити јединствена основна стања локалних Хамилтонијана. Под претпоставком да таква суперпозиција јесте основно стање, показано је да у термодинамичком лимиту енергијски процеп мора тежити нули. Физичка последица тога је да хлађење макроскопског квантног система води препарацији мешаног стања, а не чистог. Такав резултат делимично расветљава парадокс Шредингерове мачке и има импликације на квантни маргинални проблем, као и на адијабатско квантно рачунање које користи основна стања квантних система.

У петом раду кандидат излаже детаљни микроскопски модел кондензата светлости и добијање

Линдбладове мастер једначине система. За разлику од постојеће литературе, конзистентно је урачунат допринос кохерентне динамике, поред дисипативне. То је омогућило да се истим моделом интерполира између два потпуно различита физичка сценарија – стања сличног ласеру и Бозе-Ајнштајн кондензата фотона. У првом случају кохерентни ефекти су знатни и воде усаглашавању фаза светлости и активног медијума. У другом режиму дисипативни ефекти доминирају и воде термализацији светлости. Кохерентни ефекти тада узрокују појаву слабе ефективне фотон-фотон интеракције која се преноси путем активног медијума и чије понашање у зависности од параметара система је проучено.

3.1.2 Позитивна цитираност научних радова кандидата

Према бази података *Web of Science* на дан 1. октобра 2018. године, радови кандидата су цитирани укупно 166 пута, односно 100 пута не рачунајући самоцитате. Према истој бази, Хиршов индекс кандидата је 8. Релевантни подаци о цитираности са интернет странице *Web of Science* базе су дати у прилогу.

3.1.3 Параметри квалитета часописа

Битан елемент за процену квалитета научних резултата је и квалитет часописа у којима су радови објављени, односно њихов импакт фактор – ИФ. У категоријама М21а, М21, М22, М23 и М33 кандидат је објавио радове у следећим часописима, при чему су подвучени случајеви у који се односе на период након одлуке Научног већа о предлогу за стицање претходног научног звања:

- 1 рад у *Physical Review Letters* (ИФ = 8,839),
- 1 рад у *Optics Express* (ИФ = 3,880),
- 1 рад у *New Journal of Physics* (ИФ = 3,786),
- 1 рад у *Laser Physics* (ИФ = 3,605),
- 1 рад у *Annals of Physics (N.Y.)* (ИФ = 3,318),
- 11 + 5 радова у *Physical Review A* (ИФ = 3,042 за 4 рада, ИФ = 2,878 за 2 рада, ИФ = 2,866 за 1 рад, ИФ = 2,908 за 4 рада, ИФ = 3,042 за 2 рада, ИФ = 2,991 за 2 рада, ИФ = 2,925 за 1 рад),
- 1 рад у *Laser Physics Letters* (ИФ = 2,964),
- 2 + 2 рада у *Journal of Physics B* (ИФ = 2,031 за 2 рада, ИФ = 2,031 за 1 рад, ИФ = 1,975 за 1 рад),
- 1 рад у *Journal of the Optical Society of America B* (ИФ = 1,970),
- 1 рад у *Physics Letters A* (ИФ = 1,766),
- 1 рад у *Chinese Physics B* (ИФ = 1,631),
- 3 + 3 рада у *Physica Scripta* (ИФ = 1,204 за 2 рада, ИФ = 1,088 за 1 рад, ИФ = 1,296 за 1 рад, ИФ = 1,296 за 2 рада),
- 1 рад у *International Journal of Theoretical Physics* (ИФ = 1,186),
- 1 рад у *Foundations of Physics* (ИФ = 1,170),
- 3 + 1 рад у *Acta Physica Polonica A* (ИФ = 0,433 за 3 рада, ИФ = 0,604 за 1 рад),
- 3 + 1 рад у *Proceedings of SPIE* (без ИФ),
- 2 рада у *Journal of Physics: Conference Series* (без ИФ).

Укупан импакт фактор радова кандидата је 98,883, а у периоду након одлуке Научног већа о предлогу за стицање претходног научног звања тај фактор је 52,093. Часописи у којима је кандидат објављивао су по свом угледу веома цењени у областима којима припадају. Међу њима се посебно истичу: *Physical Review Letters*, *Optics Express*, *New Journal of Physics*, *Physical Review A* и *Annals of Physics*.

Додатни библиометријски показатељи у вези са објављеним радовима кандидата након одлуке Научног већа о предлогу за стицање претходног научног звања дати су у доњој табели. Она садржи импакт факторе (ИФ) радова, М бодове радова по српској категоризацији научноистраживачких резултата, као и импакт фактор нормализован по импакту цитирајућег чланка (СНИП). 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 категоријама М20.

	ИФ	М	СНИП
Укупно	48,205	127	21,359
Усредњено по чланку	2,836	7,471	1,256
Усредњено по аутору	13,811	32,683	5,671

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

Кандидат је водећи аутор 11 радова, други аутор 12 радова, трећи аутор 11 радова, четврти аутор 10 радова, пети аутор 2 рада и шести аутор 1 рада, од укупно 47 радова. На радовима који су објављени у периоду након одлуке Научног већа о предлогу за стицање претходног звања, кандидат је водећи аутор 2 рада, други аутор 7, трећи аутор 6 радова, четврти аутор 4 рада и пети аутор 2 рада, од укупно 21 рада. У другом назначеном периоду кандидат је на 2 рада други аутор, док је први аутор студент Анђело Мађити чијом израдом докторске тезе је кандидат руководио.

При изради поменутих радова др Милан Радоњић је учествовао у осмишљавању, формулацији и дискусији проблема, изведби релевантних нумеричких симулација, анализи добијених података (и поређењу са експериментима у одређеним случајевима), развоју аналитичких метода и аналитичким прорачунима, као и самом писању радова.

Током израде докторске дисертације у Центру за фотонику Института за физику у Београду, кандидат је развио теоријско-нумерички модел интеракције ласерског зрачења и атома алкалних метала који је био кључан за опис и разумевање експеримената урађених у поменутом Центру на тему кохерентних и нелинеарних ефеката у квантној оптици. Током завршне године израде докторске дисертације кандидат је започео плодотворну сарадњу са др Николом Бурићем и разрадио оригинални приступ конзистентном третману хибридних интерагујућих квантно-класичних система. Такође, започео је и водио истраживање поларитона тамних стања који су били тема докторске дисертације студента Анђела Мађитија. Након завршетка своје докторске дисертације кандидат је наставио са истраживањима на претходно поменутој теми и уз др Антуна Балажа успоставио сарадњу са др Акселом Пелстером са Техничког универзитета у Кајзерслаутерну на истраживањима Бозе-Ајнштајн кондензата фотона. Током постдокторског усавршавања у групи проф. др Филипа Валтера на Универзитету у Бечу кандидат је радио на теоријским проблемима макроскопских квантних стања и осмишљавању фотоничких симулатора. Експерименти у вези са последњом темом су

у фази израде. Кандидат се тренутно бави и проучавањем ефеката динамичког неуређења на Бозе-Ајнштајн кондензате у оквиру постдокторског ангажмана на Техничком универзитету у Кајзерслаутерну.

Кандидат учествује у раду Центра за изучавање комплексних система и Центра за фотонику Института за физику у Београду. Такође, има међународну сарадњу са групом проф. др Филипа Валтера у Бечу, са др Боривојем Дакићем у Бечу, са др Акселом Пелстером у Кајзерслаутерну и др Василијем Копиловим у Берлину. Скорашњи радови настали као резултат међународне сарадње су видни у листи публикација кандидата, док је неколико радова тренутно у фази припреме.

3.1.5 Награде

Кандидат је добитник Студентске награде Института за физику у Београду 2014. године за најбољу докторску дисертацију урађену током претходне године.

3.2 Ангажованост у формирању научних кадрова

Кандидат др Милан Радоњић је био ментор доктората студента Физичког факултета у Београду Анђела Мађитија, на тему поларитона тамних стања и дво-поларитонских везаних стања у низовима атома и оптичких микрорезонатора. Током рада на изради поменутог доктората урађени су следећи радови:

- A. Maggitti, **M. Radonjić**, and B. M. Jelenković, *Dark-state polaritons in a degenerate two-level system*, *Laser Phys.* **23**, 105202 (2013),
- A. Maggitti, **M. Radonjić**, and B. M. Jelenković, *Dark-polariton bound pairs in the modified Jaynes-Cummings-Hubbard model*, *Phys. Rev. A* **93**, 013835 (2016),

који су део докторске дисертације:

- Анђело Мађити (Angelo Maggitti), *Formation of dark-state polaritons and two-polariton bound states in arrays of atoms and optical cavities*, Физички факултет Универзитета у Београду, октобар 2015. године

Ментор: др Милан Радоњић.

Менторство се може верификовати на основу одговарајућег записник са седнице Наставно-научног већа Физичког факултета, одговарајуће странице интернет портала НаРДуС (Национални репозиторијум дисертација у Србији) и уводне странице дисертације Анђела Мађитија, који су дати у материјалу за овај избор у звање.

3.3 Нормирање броја коауторских радова, патената и техничких решења

Кандидат је објавио 26 радова након одлуке Научног већа о предлогу за стицање претходног научног звања, и они се могу сврстати у следеће категорије:

- у категорију теоријских радова у природно-математичким наукама који се признају са пуним бројем М бодова до три коаутора спадају радови [1,2,3,4,18,21,30,31,32,38] из списка публикација и нормирани су у складу са Правилником,
- у категорију радова са нумеричким симулацијама који се признају са пуним бројем М бодова до пет коаутора спадају радови [17,20,23,29,36,49,50,51,52] и нормирани су у складу са Правилником,

- у категорију експерименталних радова у природно-математичким наукама који се признају са пуним бројем М бодова до седам коаутора спадају радови [19,22,24,28,37,39,40] и нормирани су у складу са Правилником.

Након нормирања према Правилнику, број М бодова које је кандидат остварио након одлуке Научног већа о предлогу за стицање претходног научног звања се мења са 134,5 на 125, односно нормирање не утиче на значајан начин на број бодова, а кандидат свакако има вишеструко већи број бодова од захтеваног.

3.4 Руководијење пројектима, потпројектима и пројектним задацима

Кандидат руководи потпројектом “Утицај динамичког неуређења на особине Бозе-Ајнштајн кондензата” у оквиру пројекта ОН171017 “Моделирање и нумеричке симулације сложених вишечестичних система” којим руководи др Антун Балаж.

Такође, током постдокторског рада на Физичком факултету Универзитета у Бечу кандидат је руководио пројектним задатком у оквиру европског QUCHIP пројекта са темом теоријског дизајна квантног кола за симулацију бензена помоћу шест фотона. Експеримент који се бави реализацијом дизајнираног кола је у току.

3.5 Активност у научним и научно-стручним друштвима

Кандидат је рецензент у следећим научним часописима: *Physical Review Letters*, *Optics Communications*, *Optical and Quantum Electronics* и *International Journal of Modern Physics B*.

3.6 Утицајност научних резултата

Утицајност научних резултата кандидата је наведена у одељку 3.1 овог документа. Пун списак радова је дат прилогу, а подаци о цитираности са интернет странице *Web of Science* базе су дати након списка свих радова кандидата.

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

Кандидат је значајно допринео сваком раду у чијој припреми је учествовао. Сви радови објављени у периоду након одлуке Научног већа Института за физику о предлогу за стицање претходног научног звања су урађени у сарадњи са колегама из земље и иностранства. Др Радоњић је имао кључни допринос публикацијама на којима је први аутор (2 рада) и други аутор (7 радова). Током израде ових радова, он је битно утицао на сам ток истраживања, радио на развоју и извођењу одговарајућих нумеричких симулација, анализи релевантних података, на теоријским и аналитичким прорачунима, методима и техникама приступа проблемима, писању радова, а такође је учествовао и у комуникацији са рецензентима приликом припреме радова за објављивање.

3.8 Уводна предавања на конференцијама и друга предавања

У периоду након одлуке Научног већа о предлогу за стицање претходног звања, кандидат је одржао следеће предавање по позиву на међународном скупу, које је штампано у изводу (категорија М32):

- **M. Radonjić**, W. Kopylov, A. Balaž, and A. Pelster, *Interplay of coherent and dissipative dynamics in condensates of light*, 659. WE-Heraeus-Seminar on “Condensates of Light”, 14-17. January 2018, Physikzentrum Bad Honnef, Germany.

Поред тога, одржао је и следећа саопштења на међународним конференцијама, која су штампана у изводу (категорија М34):

- **M. Radonjić**, W. Kopylov, T. Brandes, A. Balaž, and A. Pelster, *Microscopic Model of Photon Condensation*, 616. WE-Heraeus-Seminar on “Ultracold Quantum Gases – Current Trends and Future Perspectives”, 9-13. May 2016, Physikzentrum Bad Honnef, Germany,
- **Milan Radonjić** and Philip Walther, *Photonic simulation of open quantum systems with various exchange statistics*, PHOTONICA2017 The Sixth International School and Conference on Photonics, 28. August - 1. September 2017, Belgrade, Serbia,
- **M. Radonjić**, W. Kopylov, A. Balaž, and A. Pelster, *Modeling Dye-Mediated Photon-Photon Interaction in Condensates of Light*, 82nd Annual Conference of the DPG and DPG Spring Meeting, 4-9. March 2018, Erlangen, Germany,
- **M. Radonjić**, W. Kopylov, A. Balaž, and A. Pelster, *Interplay of coherent and dissipative dynamics in condensates of light*, 49th Annual DAMOP Meeting, 28. May - 1. June 2018, Ft. Lauderdale, Florida, USA.

У оквиру међународне сарадње, др Радоњић је одржао следећа предавања:

- **Milan Radonjić**, *Microscopic Model of Photon Condensation*, 19. November 2015, Department of Physics, Technical University of Kaiserslautern, Germany,
- **M. Radonjić**, *Hamiltonian Formulation of Hybrid Quantum-classical Systems*, Nikola Burić Memorial Workshop, 9. December 2016, Institute of Physics Belgrade, Serbia,

У прилогу су дата одговарајућа позивна писма и апстракти излагања са пропратним материјалом.

4. Елементи за квантитативну оцену научног доприноса кандидата

У периоду након одлуке Научног већа о предлогу за стицање претходног научног звања, др Милан Радоњић је објавио 26 радова у међународним часописима са ISI листе и саопштења на међународним конференцијама, од којих 4 у категорији M21a, 8 у категорији M21, 4 у категорији M22, 1 у категорији M23, 1 у категорији M32, 4 у категорији M33 и 4 у категорији M34.

Категорија	М бодова по раду	Број радова	Укупно М бодова	Нормирани број М бодова
M21a	10	4	40	35,48
M21	8	8	64	61,72
M22	5	4	20	18,33
M23	3	1	3	2,14
M32	1,5	1	1,5	1,5
M33	1	4	4	3,83
M34	0,5	4	2	2

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

Минимални број М бодова		Остварено, М бодова без нормирања	Остварено, нормирани број М бодова
Укупно	50	134,5	125
M10+M20+M31+M32+M33+M41+M42+M90	40	132,5	123
M11+M12+M21+M22+M23	30	127	117,67

Према бази података *Web of Science* на дан 1. октобра 2018. године, радови кандидата су цитирани укупно 166 пута, односно 100 пута не рачунајући самоцитате. Према истој бази, Хиршов индекс кандидата је 8.

ЗАКЉУЧАК

Имајући у виду изузетно високу вредност и оригиналност научних радова др Милана Радоњића, као и његово значајно искуство у међународној сарадњи и педагошком раду, мишљења смо да је кандидат достигао високу истраживачку зрелост и научну компетентност. Посебно истичемо његове бројне радове у престижним часописима, што је јасан знак квалитета научног рада кандидата. Др Радоњић је у периоду доктората имао радове остварене у широј сарадњи са експерименталном групом из области квантне оптике, али је од претходног избора у научно звање истовремено израстао и у покретача теоријских истраживања у области квантне физике, квантних информација и физике кондензоване материје.

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

У Београду, 24. 10. 2018. године

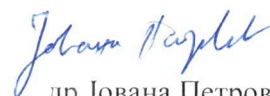
Чланови комисије:



др Антун Балаж
научни саветник
Институт за физику у Београду



др Ивана Васић
виши научни сарадник
Институт за физику у Београду



др Јована Петровић
виши научни сарадник
Институт за нуклеарне науке "Винча"



др Бранислав Јеленковић
научни саветник у пензији
Институт за физику у Београду
дописни члан САНУ