

Научном већу Института за физику у Београду

Извештај комисије за реизбор др Димитрија Степаненка у звање виши научни сарадник

На седници Научног већа Института за физику у Београду одржаној 23. 10. 2018. године именовани смо у комисију за реизбор др Димитрија Степаненка у 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

Димитрије Степаненко је рођен 13. 7. 1974. у Врању, где је завршио основну школу и Гимназију. Током школовања у основној и средњој школи учествовао је на такмичењима из физике и освојио бројне награде. Освојио је похвалу на међународном такмичењу “First step to Nobel Prize in Physics” који је организовала Академија наука Пољске. Освојио је прву награду на државном такмичењу из физике и био је изабран у тим за Међународну физичку олимпијаду 1993. на коју национални тим није отишао.

Студирао је на Физичком факултету Универзитета у Београду, где је 1998. године дипломирао на смеру Теоријска и експериментална физика, са просечном оценом током студија 9.68. Током студија радио је у Истраживачкој станици Петница као сарадник.

По дипломирању одлази на постдипломске студије на Универзитет у Бостону (Boston University) где је провео две године као стипендиста универзитета (Presidential University Graduate Fellowship). Од 2001. наставља постдипломске студије на Државном Универзитету Флориде (Florida State University). Докторат из теоријске физике кондензованог стања одбранио је 2005. године. Докторат је нострификован на Универзитету у Београду, решењем бр. 06-613-7554/4-11 од 30. јануара 2012. године. Током постдипломских студија добио је Дирак-Хелманову награду за теоријску физику 2004. године. Током студија радио је као асистент у настави и извођењу рачунских и експерименталних вежби на додипломским студијама. Радио је и као асистент на постдипломском курсу квантне механике. Сарађивао је на истраживању у Националној лабораторији за јака магнетна поља (National High Magnetic Field Laboratory). Боравио је у истраживачким групама у ИБМ истраживачком центру (IBM T. J. Watson research Center) и на Универзитету Охаја (Ohio University).

После доктората ради на Универзитету у Базелу (Universitaet Basel), Швајцарска, у групама Гвида Буркарда и Даниела Лоса. Држао је одабрана предавања и рачунске вежбе на напредним курсевима физике кондензованог стања и физике многочестичних система и учествовао је у настави на уводним курсевима физике и примењене математике. Учествовао је у истраживањима на пројектима Швајцарске националне фондације (SNF), Европске комисије на Марија Кири пројекту MagMaNet и ФП7 пројектима MolSpinQIP и ELFOS, као и у истраживањима у области квантне информације под покровитељством агенција DOE и IARPA Сједињених Америчких Држава. Поред истраживања, на пројектима MagMaNet, MolSpinQIP и ELFOS радио је и као организатор локалне групе конзорцијума на Универзитету у Базелу.

Боравио је на Институту за нанонауке Универзитета Модена и Ређио Емилија у Модени као гостујући истраживач.

Од 2013. ради на Институту за физику у Београду на пројекту ОН171032 "Физика наноструктурних оксидних материјала и јако корелираних система" под руководством др Зоране Дохчевић-Митровић, у групи за нове материјале и нанонауке. Водио је пројекте билатералне сарадње са Немачком и Француском, као и пројекат у оквиру SCOPES програма сарадње Швајцарске националне фондације. Национални је представник у европској мрежи за молекуларни магнетизам у оквиру COST акције MolSpin.

Тема научног рада кандидата је контрола спинова и наелектривања у наноструктурама. Развио је принципе коришћења спин-орбитне интеракције за контролу спинова користећи електрична поља као класичне контролне величине у квантним тачкама и молекуларним магнетима. Ради на процесирању квантне информације у молекуларним магнетима, оптичким методама контроле нуклеарних спинова у полупроводничким наноструктурама, квантном транспорту шупљина и транспорту наелектривања у зрнастим филмовима.

2. Преглед научне активности

Научно-истраживачка активност др Димитрија Степаненка је у области квантне физике и бави се квантним својствима спинова у материјалима са наноструктуром и њиховом контролом помоћу класичних поља у сврху обраде квантних информација. Међу системима који могу послужити као основа за изградњу квантних рачунара, спинови су специфични по томе што су све њихове особине инхерентно квантне и описане коначним, обично малим, бројем степени слободе.

Слободни спинови електрона су, нажалост, лош избор за носиоце квантних информација пошто је њима тешко манипулисати. Зато је квантна динамика јасно видљива и управљива само код електронских спинова уроњених у веће структуре. Временска скала квантне контроле мора бити довољно кратка како декохеренција не би уништила квантне особине спинова. Просторна скала контроле мора бити довољно мала да би се манипулисали појединачни спинови. Ови захтеви говоре да су најбољи носиоци квантне информације системи димензија између једног и сто нанометара. На просторним и временским скалама карактеристичним за наносистеме, брзо променљива, јака и локална електрична поља је знатно лакше произвести него одговарајућа магнетна поља. Док су дужа времена кохеренције су повезана са мањим системима, једноставност контроле фаворизује веће. Зато свака архитектура квантног рачунара мора наћи равнотежу између ова два захтева.

Кандидатова истраживања разматрају електронске спинове у квантним тачкама са карактеристичним димензијама реда величине десет до сто нанометра, мултифероичним филмовима са зрнима величине једног до сто нанометара и молекуларним магнетима са карактеристичним димензијама од десетог дела нанометра до неколико нанометара. Основне теме истраживања су:

- контрола спинова у квантним тачкама са спин-орбитном интеракцијом,
- ефективна интеракција спинова,
- ефективна интеракција спина и електричног поља у молекуларним магнетима,
- електричне особине материјала са мултифероичним зрнима,
- транспорт у наноструктурама са спинском текстуром,
- квантна мерења и контрола декохеренције.

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

2.1 Контрола спинова у квантним тачкама са спин-орбитном интеракцијом

Спин-орбит интеракција изазива декохеренцију и тиме ствара озбиљан проблем у дизајну квантних рачунара базираних на спину електрона у једноелектронским квантним тачкама. Како су спински степени слободе знатно кохерентнији од орбиталних, спремање смањује време кохеренције спина. Кандидат је показао да, и поред смањења времена кохеренције, спин-орбитна интеракција може бити ресурс за контролу спинова. Показао је да комбиновани ефекат временски зависне контроле и спин-орбитне интеракције производи корисна квантна логичка кола.

У периоду након претходног избора у звање виши научни сарадник, кандидат је развио процедуру за контролу спинова у квантним тачкама која користи временски зависну енергију стања у празној квантној тачки која интерагује тунеловањем са суседном квантном тачком у којој лежи спински кубит. Анализа временске зависности стања система открива неинтуитиван режим описан Ландау-Зенер прелазом. У овом режиму промена орбиталног стања везаног електрона је виртуелна, и сва промена је концентрисана на спинско стање. На основу овог прелаза конструисао је процедуру којом се спин контролише електричним пољем, без локалног мењања магнетног поља и без манипулације спин-орбитном интеракцијом. Специфичност описаног поступка је могућност обављања прецизно дефинисане квантне операције без познавања јачине магнетног поља у квантним тачкама.

Тема контроле спинова коришћењем спин-орбит интеракције је покренута у радовима кандидата који су урађени пре претходног избора у звање. У њима је показао да квантно логичко коло на спиновима у квантним тачкама под утицајем спин-орбитне интеракције зависи од облика временске зависности примењеног импулса. Кандидат је развио метод за смањење грешке у колу коришћењем временски симетричних импулса. Показао је да оваква контрола може произвести различита квантна логичка кола варирањем временске зависности симетричних импулса. Касније је показао да се овим импулсима могу применити сва кола из скупа универзалног за квантно рачунање над кубитима кодираним у парове спинова. Развио је поступак контроле за системе спинова у константном и хомогеном магнетном пољу и за системе спинова у временски константном али просторно јако нехомогеном магнетном пољу. Најзначајнији радови из ове теме:

- *Coherent manipulation of single electron spins with Landau-Zener sweeps*
M. Rančić and **D. Stepanenko**
Phys. Rev. B **94**, 241301(R) (2016); M21
- *Exchange-based CNOT gates for singlet-triplet qubits with spin-orbit interaction*
J. Klinovaja, **D. Stepanenko**, B. I. Halperin, and D. Loss
Phys. Rev. B **86**, 085423 (2012); M21
- *Universal quantum computation through control of spin-orbit coupling*
D. Stepanenko and N. E. Bonesteel
Phys. Rev. Lett. **93**, 140501 (2004); M21a
- *Spin-orbit coupling and time-reversal symmetry in pulsed quantum gates*
D. Stepanenko, N. E. Bonesteel, D. P. DiVincenzo, G. Burkard, and D. Loss
Phys. Rev. B **68**, 115306 (2003); M21a
- *Anisotropic spin exchange in pulsed quantum gates*
N. E. Bonesteel, **D. Stepanenko**, and D. P. DiVincenzo
Phys. Rev. Lett. **87**, 207901 (2001); M21a

2.2 Ефективна интеракција спинова

Квантни рачунари су засновани на системима са малим бројем дискретних квантних бројева. Природа коришћених квантних бројева зависи од имплементације и они не описују цео систем. Са друге стране, примена квантних логичких кола захтева хамилтонијан који је функција искључиво кубитних степени слободе. Поједностављење описа система преласком са стварних степени слободе на ефективни систем логичких кубита је користан први корак у дизајну квантних рачунара. Кандидат је развио ефективне описе за неколико типова кубита.

У периоду након претходног избора у звање виши научни сарадник, кандидат је развио ефективни хамилтонијан за троструку квантну тачку. Трострука квантна тачка је значајна као најмањи логички кубит који омогућавају универзални скуп квантних логичких кола контролисаних само изотропном интеракцијом спинова. Зато је битно пронаћи ефективну интеракцију која квантификује утицај анизотропног спин-орбитног спрезања. Кандидат је израчунао и испитао особине ефективне спинске интеракције у трострукој квантној тачки произвољне геометрије. Показао је да интеракција спинова у пару тачака зависи и од особина треће. У ефективном моделу, пронашао је опсег у коме се параметри ефективне интеракције могу контролисати.

Пре претходног избора у звање, кандидат је израчунао ефективни спински хамилтонијан двоструке квантне тачке са спин-орбитном интеракцијом у присуству нуклеарне хиперфине интеракције са језгрима и четвороструке квантне тачке која кодира два двоспинска кубита. Ефективни хамилтонијан двоструке тачке је искористио за предвиђање доприноса спин-орбитне и нуклеарне хиперфине интеракције у тунеловању између спинских стања. Предвиђена зависност је недавно потврђена и искоришћена у експериментима у којима су измерене јачине ових интеракција. Користећи ефективни хамилтонијан четвороструке квантне тачке, кандидат је издвојио параметар који одређује моћ ефективне интеракције у примени двокубитних квантних логичких кола. Показао је да пронађени параметар зависи од особина материјала у коме су кодиране квантне тачке и од геометрије система. Најзначајнији радови из ове теме:

- *Effective spin Hamiltonian of a gated triple quantum dot in the presence of spin-orbit interaction*
M. Milivojević and **D. Stepanenko**
J. Phys. Cond. Matter **29**, 405302 (2017); M22
- *Singlet-triplet splitting in double quantum dots due to spin-orbit and hyperfine interactions*
D. Stepanenko, M. Rudner, B. I. Halperin, and D. Loss
Phys. Rev. B **85**, 075416 (2012); M21
- *Quantum gates between capacitively coupled double quantum dot two-spin qubits*
D. Stepanenko and G. Burkard
Phys. Rev. B **75**, 085324 (2007); M21

2.3 Ефективна интеракција спина и електричног поља у молекуларним магнетима

На малим просторним и временским скалама, карактеристичним за квантну контролу спинова, лакше је контролисати електрична него магнетна поља. Међутим спинови не интерагују директно са електричним пољима, због чега је кандидат истраживао могућности индиректне контроле спинова електричним пољима, односно ефективне интеракција спина и електричног поља, коју можемо да назовемо спин-електрична интеракција.

У периоду након претходног избора у звање, кандидат је предвидео суперрадијантни квантни фазни прелаз у систему молекуларних магнета са спин-електричном интеракцијом који

интерагују са електромагнетним пољем микроталасног резонатора. Предвидео је фазни прелаз између нормалне фазе карактерисане празном шупљином и суперрадијантне фазе карактерисане шупљином са ненултим бројем фотона. Пронашао је да у суперрадијантној фази компоненте електричних диполних момената молекула које леже у равни магнетних центара показују јаке флукуације. Прелаз је специфичан зато што се критична јачина интеракције електричног поља и спинова може променити применом спољног хомогеног магнетног поља. Зато би у принципу било могуће мењати фазу система спољним константним магнетним пољем.

Спин-електрична интеракција у молекуларним магнетима је откриће кандидата из периода пре претходног избора у звање. Интеракција је недавно измерена у електронској спинској резонанци молекуларних магнета. Кандидат је предвидео да ефекат може постојати у свим антиферромагнетним молекулама без симетрије на инверзију. Претходни резултати кандидата су класификација ових интеракција у молекуларним прстеновима и предвиђање последица интеракције по електромагнетни и топлотни одзив материјала. Кандидат је идентификовао композитне спинске степене слободе молекула који интерагују са електричним пољима. Показао је да су времена кохеренције ограничена интеракцијом са језгрима код ових степени слободе два до пет редова величине дужа од одговарајућих времена кохеренције појединачних спинова и пројекције укупног спина молекула. Најзначајнији радови из ове теме:

- *Field-dependent superradiant quantum phase transition of molecular magnets in microwave cavities*
D. Stepanenko, M. Trif, O. Tsyaplyatyev, and D. Loss
Semicond. Sci. Technol. **31**, 094003 (2016); M22
- *Hyperfine-induced decoherence in triangular spin-cluster qubits*
F. Troiani, **D. Stepanenko**, and D. Loss
Phys. Rev. B **86**, 161409(R) (2012); M21
- *Spin-electric effects in molecular antiferromagnets*
M. Trif, F. Troiani, **D. Stepanenko**, and D. Loss
Phys. Rev. B **82**, 045429 (2010); M21
- *Quantum computing with molecular magnets*
D. Stepanenko, M. Trif, and D. Loss
Inorg. Chim. Acta **361**, 3740 (2008); M22
- *Spin-electric coupling in molecular magnets*
M. Trif, F. Troiani, **D. Stepanenko**, and D. Loss
Phys. Rev. Lett. **101**, 217201 (2008); M21a

2.4 Електричне особине зрнастих мултифероичних материјала

Спин електрична интеракција која се може користити за обраду квантних информација није једини случај преплитања електричних и магнетних својстава материје. Многи мултифероици показују истовремено електрично и магнетно уређење.

У периоду након претходног избора у звање, кандидат је проучавао електрична својства филмова који се састоје од зрна бизмут ферита. Зрнаста структура доводи делове материјала у јако електрично поље које природно постоји на границама зрна и у околини дефеката. Кандидат је проучавао промене у електричним особинама филмова бизмут ферита на путу од унутрашњости зрна, која по структури личи на унутрашњост великих кристала, до границе зрна које на њу не личи. Пронађено је да површина између два суседна зрна и њена околина у дубини до неколико нанометра проводи наелектрисање знатно боље од унутрашњости зрна. Механизам проводности у овој области не одговара ниједном од стандардних модела који описују полупроводнике или метале. Пронађено је и да се ова необична област близу границе

шири у јаким електричним пољима. Хистерезисни одзив проводности у функцији напона мења природу између две области.

Поред напона на границама зрна, контрола кристалографске фазе може утицати на појаву јаких унутарњих електричних поља у материјалу и промене електричних својстава. Кандидат је посматрао промене диелектричних особина допираних мултифероика са додавањем примеса холмијума. Пронађено је да допирање мења састав матријала по кристалографским фазама и њихов диелектрични и фероелектрични одзив. У јако допираним узорцима, фероелектрични одговор опстаје до јако високих поља и доводи до значајне електричне поларизације. Најзначајнији радови из ове теме:

- *Dielectric and ferroelectric properties of Ho-doped BiFeO₃ films across the structural phase transition*
B. Stojadinović, Z. Dohčević-Mitrović, **D. Stepanenko**, M. Rosić, I. Petronijević, N. Tasić, N. Ilić, B. Matović, B. Stojanović
Ceram. Int. **43**, 16531 (2017); M21a
- *Variation of electric properties across the grain boundaries in BiFeO₃ films*
B. Stojadinović, B. Vasić, **D. Stepanenko**, N. Tadić, R. Gajić, and Z. Dohčević-Mitrović
J. Phys. D **49**, 045309 (2016); M21

2.5 Транспорт у наноструктурама са спинском текстуром

Електрични транспорт у наноструктурама на ниским температурама је одређен квантном интерференцијом путева кроз структуру. У случају носилаца наелектрисања са спиновима, детаљи интерференције зависе и од спинских степени слободе. Контрола кретања наелектрисања је основа електронике. Зависност транспорта наелектрисања од спина и спински транспорт су основе електронике засноване на спину - спинтроники.

У периоду пре претходног избора у звање, кандидат је проучавао интерференцију спинова у квантном транспорту. У III-V полупроводничким структурама, шупљине показују специфичан облик спин-орбитне интеракције, које је доминантно кубна по компонентама импулса, за разлику од стандардне линеарне интеракције електрона. Кандидат је показао како ова необична интеракција утиче на квантни транспорт. Резултате је генерализовао на општу дискусију Ахаронов-Бом ефекта у системима са спинским интеракцијама, уз ограничење спински независног расејања. Најзначајнији радови из ове теме:

- *Current-conserving Aharonov-Bohm interferometry with arbitrary spin interactions*
M. Lee and **D. Stepanenko**
Phys. Rev. B **85**, 075316 (2012); M21
- *Interference of heavy holes in an Aharonov-Bohm ring*
D. Stepanenko, M. Lee, G. Burkard, and D. Loss
Phys. Rev. B **79**, 235301 (2009); M21

2.6 Квантна мерења и контрола кохеренције

Квантна кохеренција је неопходан услов за функционисање квантног рачунара. Њена мера је време кохеренције, дефинисано као карактеристично време у коме стање кубита пређе из добро дефинисаног квантног стања у статистичку мешавину која не носи квантну информацију. Код кубита заснованих на спиновима у квантним тачкама кохеренција је ограничена спин-орбитном интеракцијом и хиперфином интеракцијом електронских и нуклеарних спинова.

У периоду пре претходног избора у звање, кандидат је развио поступак припреме неполарисаних стања језгара која су по утицају на губитак кохеренције спина еквивалентна поларизацијама реда 0.99. Припрема је заснована на ефекту електромагнетски индуковане транспарентности, мерењу емисије фотона и прилагођавању параметара експеримента у зависности од измерених времена емисије. У нумеричким симулацијама је показао да тако припремљена језгра изазивају спори губитак кохеренције. Најзначајнији радови из ове теме:

- *Optical preparation of nuclear spins coupled to a localized electron spin*
D. Stepanenko and G. Burkard
Proc. 4th Symposium on Mesoscopic Superconductivity and Spintronics, 371 (2008); M33
- *Enhancement of electron spin coherence by optical preparation of nuclear spins*
D. Stepanenko, G. Burkard, G. Giedke, and A. Imamoglu
Phys. Rev. Lett. **96**, 136401 (2006); M21a

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 Димитрије Степаненко је у свом досадашњем раду покренуо теме контроле спинова у квантним тачкама прилагођавањем временске зависности контролних параметара и спин-електричне интеракције у молекуларним магнетима. Објавио је 18 радова у међународним часописима са ISI листе. Од тога 5 радова у часописима категорије M21a, 10 у часописима категорије M21 и 3 у часописима категорије M22. Поред радова у часописима, објавио је и једно саопштење са конференције штампано у целини које спада у категорију M33, 15 саопштења са скупова штампаних у изводу која спадају у категорију M34 и једно поглавље у монографији које спада у категорију M13.

У периоду након претходног избора у звање виши научни сарадник, кандидат је објавио један рад у часопису категорије M21a, два рада у часописима категорије M21, два рада у часописима категорије M22 и један прегледни рад у категорији M13. Одржао је два предавања по позиву на научним скуповима (једно M32 и једно M62).

Као пет најзначајнијих радова кандидата издвајају се:

1. *Coherent manipulation of single electron spins with Landau-Zener sweeps*
Marko J. Rančić and Dimitrije Stepanenko
Phys. Rev. B **94**, 241301(R) (2016)
M21, цитиран 2 пута по Web of Science
2. *Singlet-triplet splitting in double quantum dots due to spin-orbit and hyperfine interactions*
Dimitrije Stepanenko, Mark Rudner, Bertrand I. Halperin, and Daniel Loss
Phys. Rev. B **85**, 075416 (2012)
M21, цитиран 44 пута по Web of Science
3. *Spin-Electric Coupling in Molecular Magnets*
Mircea Trif, Filippo Troiani, Dimitrije Stepanenko, and Daniel Loss
Phys. Rev. Lett. **101**, 217201 (2008)
M21a, цитиран 113 пута по Web of Science

4. *Enhancement of Electron Spin Coherence by Optical Preparation of Nuclear Spins*
Dimitrije Stepanenko, Guido Burkard, Geza Giedke, and Atac Imamoglu
Phys. Rev. Lett. **96**, 136401 (2006)
M21a, цитиран 111 пута по Web of Science
5. *Universal Quantum Computation through Control of Spin-Orbit Coupling*
D. Stepanenko and N. E. Bonesteel
Phys. Rev. Lett. **93**, 140501 (2004)
M21a, цитиран 55 пута по Web of Science

Први рад представља нови облик контроле спинова помоћу временски зависних електричних поља. Кандидат је аутор идеје о контроли спинова помоћу временске зависности енергије електронских нивоа квантне тачке. Допринос кандидата укључује поставку проблема, аналитички третман прелаза у пару квантних тачака и интерпретацију нумеричких резултата. Истраживање је обављено у сарадњи са студентом постдипломских студија на Универзитету Констанц, у оквиру пројекта билатералне сарадње са Немачком. За разлику од ранијих метода који се ослањају на контролу облика напонских импулса којима се контролише електрично поље, нови облик контроле се заснива на Ландау-Зенер прелазу између својственог стања квантне тачке која носи спин и својственог стања суседне празне квантне тачке. Специфичност овог метода је да не захтева прецизно познавање параметара система за прецизну примену квантног логичког кола. Показано је да релативна неосетљивост прелаза на детаље система и спољног контролног поља чини прелаз неосетљивим на декохеренцију. Овим резултатом отворена је могућност контроле спинова у случајевима када технолошка ограничења спречавају фину контролу временске зависности контролних импулса.

У другом раду, представљен је метод којим се у укупној вероватноћи промене спина при тунеловању електрона између две квантне тачке могу раздвојити доприноси спин-орбитне и нуклеарне хиперфине интеракције. Резултати недавног експеримента потврђују облик израчунате зависности и мере однос интензитета спин-орбитне и нуклеарне хиперфине интеракције у двострукој квантној тачки. Рад је урађен у сарадњи са колегама са Универзитета у Базелу, Швајцарска и Универзитета Харвард, Сједињене Америчке Државе. Кандидат је поставио и нумерички решио модел које описује доприносе прелаза изазваних разматраним интеракцијама и њихову интерференцију. Са сарадницима је анализирао применљивост модела у различитим режимима параметара двоструке квантне тачке.

У трећем раду представљено је откриће интеракције спинова у молекуларним магнетима са електричним пољем. Кандидатов допринос се састоји од основне идеје да интеракција електричног поља са вишеспинским системима може постојати, раду са сарадницима на симетријској анализи, идентификацији спинских степени слободе значајних за интеракцију и дискусији модела заснованог на локализованим орбиталама. Ефекат је недавно потврђен у електронској спинској резонанци. На основу овог резултата и каснијих истраживања спин-електричне интеракције, покренути су пројекти MagMaNet, ELFOS, и MolSpinQIP. Кандидат наставља рад на овој теми у сарадњи са групом у CNRS Saclay, Република Француска и у оквиру COST акције CA15128-Molecular Spintronics.

У четвртном раду анализиран је стандардни експеримент квантне оптике, прозачност индукована електромагнетним пољем, у прелазима између спинских стања и ексцитона у квантној тачки. Показано је да се мерењем тренутка емисије и прилагођавањем таласне дужине ласера у зависности од времена емисије нуклеарни спинови доводе у стање у коме слабо утичу на кохеренцију електронског спина у квантној тачки. Кандидатов допринос се састоји од

постављања модела који описују мерење, његовог решавања и анализе временске зависности статистичког оператора нуклеарних спинова од резултата мерења. Овај метод је касније прилагођен на експерименте у којима се мери транспорт електрона кроз квантне тачке у режиму Кулонове блокаде.

Пети рад се бави контролом спинова у квантним тачкама коришћењем временски зависних електричних поља и спин-орбитне интеракције. Конструисан је универзални скуп квантних логичких кола за кубите кодираних у стања пара спинова на блиским квантним тачкама у полупроводнику са спин-орбитном интеракцијом. Конструисани скуп не захтева променљива магнетна поља за примену и поједностављује конструкцију квантног рачунара базираног на спину. Кандидат је у дискусији са сарадницима поставио проблем, дефинисао простор доступних операција, конструисао логичка кола и анализирао зависност грешке кола од примењених импулса. Овај резултат је један од повода за каснију сарадњу са групом на Универзитету Констанц у Савезној Републици Немачкој на развоју квантне контроле.

3.1.2 Позитивна цитираност научних радова кандидата

Према бази података *Web of Science*, радови кандидата су цитирани 610 пута, 586 пута без аутоцитата. Кандидатов *h*-индекс је 11. Релевантни подаци о цитираности са интернет странице *Web of Science* базе су дати у прилогу.

3.1.3 Параметри квалитета часописа

Кандидат је објавио пет радова у часописима категорије M21a, и то четири у *Physical Review Letters*, и један у *Ceramics International*. У часописима категорије M21 објавио је 10 радова, од тога 9 у *Physical Review B*, и један у *Journal of Physics D: Applied Physics*. У часописима категорије M22 објавио је три рада, по један у *Journal of Physics: Condensed Matter*, *Semiconductor Science and Technology* и *Inorganica Chimica Acta*. Кандидат је аутор поглавља *Molecular Magnets for Quantum Information Processing* у монографији *Molecular Magnets, Physics and Applications*, Springer 2014, које је класификовано у категорију M13.

Након претходног избора у звање објавио је један рад категорије M21a, два рада категорије M21 и два рада категорије M22.

Укупан импакт фактор радова кандидата у периоду након стицања претходног научног звања је 14,16. Часописи у којима је кандидат објављивао су по свом угледу веома цењени у областима којима припадају. Међу њима се посебно истичу: *Physical Review Letters* и *Physical Review B*. Додатни библиометријски показатељи у вези са објављеним радовима кандидата након стицања 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 M20.

	ИФ	М	СНИП
Укупно	14,16	36	5,14
Усредњено по чланку	2,83	7,20	1,03
Усредњено по аутору	4,53	10,19	1,53

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

Кандидат је развијао идеје, рачунске и нумеричке методе потребне за решавање проблема у дискусијама са сарадницима. Основне идеје за разматрање проводности прстенова и спин-електричне интеракције потичу од кандидата, док су за проблеме који се баве спиновима у квантним тачкама идеје резултат дискусија са сарадницима, тако да су заједничке, са значајним доприносом кандидата. У истраживању електричних особина мултифероичних филмова, кандидат је допринео теоријским увидом у процесе који се могу одигравати у испитиваним материјалима и указивањем на интересантне детаље, док је основна идеја потекла из круга осталих сарадника.

Сви теоријски резултати имају значајан допринос кандидата, док је нумерички део посла равномерно подељен међу свим сарадницима. Око једне трећине нумеричких израчунавања су резултати кандидата, док је остатак самостални допринос осталих сарадника. У раду на проблемима спин-електричног ефекта у молекулима, поред доприноса теоријском разматрању и нумеричким израчунавањима, кандидат је организовао поделу рада међу сарадницима.

Кандидат сарађује са групама за теоријску физику кондензованог стања Универзитета у Базелу, Швајцарска, групом за квантну физику наносистема на Институту у Орсеју, Француска, групом за квантну спинтронику на Универзитету Констанц, Немачка, групом за молекуларни магнетизам на Националном центру за нанотехнологију у Модени, Италија, групом за неорганску хемију Универзитета у Валенсији, Шпанија и групом за физику квантне информације на Универзитету Цингхуа, Пекинг. Руководиоци ових група су Данијел Лос, Паскал Симон, Гвидо Буркард, Марко Афронте, Еугенио Коронадо и Мирча Триф.

3.1.5 Награде

Кандидат је добитник следећих награда:

- Presidential University Graduate Fellowship, Boston University - стипендија за постдипломске студије на Универзитету у Бостону. Једна до две овакве награде се додељују студентима природних наука на овом универзитету.
- Dirac-Hellman award for theoretical physics - једна награда се додељује студентима постдипломских студија или научним сарадницима на Државном Универзитету Флориде (Florida State University).

3.2 Ангажованост у формирању научних кадрова

Кандидат је био члан комисије за оцену дисертације др Симона Иерина, одбрањене на Универзитету Модене и регије Емилија у Италији.

Кандидат је био ментор на мастер студијама Зорице Ристић, студенткиње Физичког факултета Универзитета у Београду. Мастер теза је одбрањена 28. 09. 2018., а студенткиња је уписала докторске студије под менторством кандидата.

Кандидат је члан комисије која организује такмичење из физике ученика средњих школа. Сарађује са Истраживачком станицом Петница.

3.3 Нормирање броја коауторских радова, патената и техничких решења

Радови објављени након претходног избора у звање виши научни сарадник са темама о квантним тачкама и молекуларним магнетима су резултати до четири сарадника и садрже аналитичке и нумеричке резултате, те имају пуну тежину. Радови о мултифероичним филмовима су претежно експериментални. Један од њих је приказ резултата 6 аутора, па улази са пуном тежином, а други је резултат 9 аутора, па улази са тежином 0,71. Укупан ненормиран број бодова је 45,5, а нормиран 42,6, тако да је утицај нормирања мали.

3.4 Руковођење пројектима, потпројектима и пројектним задацима

Кандидат је руководио пројектима билатералне сарадње са Савезном Републиком Немачком (пројекат 3, 2014-15) и Републиком Француском (451-03-39/2016/09/16). Учествовао је у мрежи међународне сарадње у области молекуларне спинтронике у оквиру пројекта COST-MOLSPIN, где је заменик руководиоца радне групе за област квантних информација.

Ангажован је на пројекту ОН171032 "Физика наноструктурних оксидних материјала и јако корелисаних система" под руководством др Зоране Дохчевић-Митровић, у оквиру којег руководи пројектним задатком.

3.5 Активност у научним и научно-стручним друштвима

Кандидат је члан комисије за организовање такмичења из физике за ученике средњих школа. Рецензент је у часописима *Nature*, *Nature Materials*, *npj Quantum Inforamtion*, *Nature Scientific Reports*, *Physical Review Letters*, *Physical Review 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.

Кандидатови резултати су стандардне референце за манипулацију спинова коришћењем ефекта спин-орбитне интеракције, за електричну контролу молекуларних магнета и за контролу стања нуклеарних спинова slabим квантним мерењима.

Кандидатови радови су, према бази *Web of Science*, укупно цитирани 610 пута, од тога 586 пута не рачунајући аутоцитате, са h-индексом 11.

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. Он је зачетник две области у контроли спинова помоћу електричних поља. Развио је метод коришћења временске зависности електричних импулса као контролног механизма за спинове. Овај метод користи некомутирање ефективних спинских хамилтонијана узетих у различитим тренуцима током примене импулса. Метод је коришћен и за мерење интензитета интеракција које не очувавају спинове. Друга област је интеракција композитних спинских степени слободе у молекуларним магнетима са спољним електричним пољима. У овој области, резултати кандидата се користе у синтези молекуларних магнета за обраду квантних информација. Обе области развија у сарадњи са колегама у иностранству и у Србији.

3.8 Уводна предавања на конференцијама и друга предавања

У периоду након претходног избора у звање, кандидат је одржао два предавања по позиву на конференцијама:

- Spin-electric Coupling in Molecular Magnets, SFKM, Belgrade, Serbia, 2015. (M32)
- Квантни рачунари базирани на квантним тачкама и спин-орбит интеракцији, Дани физике кондензованог стања материје, САНУ, 10.-12. 09. 2013. (M62)

У овом периоду кандидат је одржао предавања о својим истраживањима у групама код којих је гостовао:

- Spin-electric coupling and coherence in triangular spin clusters, University of Konstanz, 24. 11. 2014.
- Spin structure and couplings in dimers of triangular molecules, University of Valencia, 11. 12. 2017.

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

4. Елементи за квантитативну оцену научног доприноса кандидата

У периоду након стицање претходног научног звања, др Димитрије Степаненко је објавио 8 радова у међународним часописима са ISI листе и саопштења на међународним конференцијама, од којих 1 у категорији M21a, 2 у категорији M21, 2 у категорији M22, 1 у категорији M13, 1 у категорији M32 и 1 у категорији M62.

Категорија	М бодова по раду	Број радова	Укупно М бодова	Нормирани број М бодова
M21a	10	1	10	7,1
M21	8	2	16	16
M22	5	2	10	10
M13	7	1	7	7
M32	1,5	1	1,5	1,5
M62	1	1	1	1

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

Минимални број М бодова		Остварено, М бодова без нормирања	Остварено, нормирани број М бодова
Укупно	50/2=25	45,5	42,6
M10+M20+M31+M32+M33+M41+M42+M90	40/2=20	44,5	41,6
M11+M12+M21+M22+M23	30/2=15	36	33,1

Кандидатови радови су, према бази Web of Science, укупно цитирани 610 пута, од тога 586 пута не рачунајући ауоцитате, са h-индексом 11.

ЗАКЉУЧАК

Имајући у виду изузетно високу вредност и оригиналност научних радова др Димитрија Степаненка, као и његово значајно искуство у међународној сарадњи и педагошком раду, мишљења смо да кандидат показује високу истраживачку зрелост и научну компетентност. Посебно истичемо његове радове у престижним часописима као што је *Physical Review Letters*, што је јасан знак квалитета научног рада кандидата. Др Степаненко учествује у успешној експерименталној сарадњи, а такође је остварио и значајне теоријске продоре у области квантне физике, посебно квантних информација.

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

У Београду, 26. 10. 2018. године

Чланови комисије:



др Зорана Дохчевић-Митровић

научни саветник

Институт за физику у Београду



др Антун Балаж

научни саветник

Институт за физику у Београду



др Жељко Шљиванчанин

научни саветник

Институт за нуклеарне науке "Винча"