

ИНСТИТУТ ЗА ФИЗИКУ			
ПРИМЉЕНО: 05-03-2025			
Рад.јед.	б р о ј	Арх.шифра	Прилог
080	1-35411		

Научном већу Института за физику у Београду

Извештај комисије за избор др Станка Николића у звање научни саветник

На седници Научног већа Института за физику у Београду, одржаној 04.03.2025. године, именовани смо у комисију за избор др Станка Николића у звање научни саветник. 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

Др Станко Николић је рођен 21. априла 1982. године у Београду где је похађао основну школу. Матурирао је у Математичкој гимназији 2001. године. Дипломирао је 2007. године на Физичком факултету Универзитета у Београду, на смеру Теоријска и експериментална физика, одбравивши дипломски рад *“Примена акусто-оптичког модулятора за амплитудну модулацију и прекидање ласерског снопа у видљивој и инфрацрвеној области”*, са просечном оценом 9.74 током студија. Једногодишње мастер студије кандидат завршава 2008. године и потом уписује докторске студије на смеру Физика јонизованих гасова, плазме и квантна оптика на истом факултету. Од августа 2007. године, кандидат је запослен у Институту за физику у Београду као истраживач-приправник. Од септембра 2009. године до краја фебруара 2010. године кандидат је боравио на Масачусетском институту за технологију (Massachusetts Institute of Technology – MIT) у Сједињеним Америчким Државама као гостујући студент. У новембру 2010. године изабран је у звање истраживач-сарадник. Дана 7. октобра 2014. године, Станко Николић је одбранио докторску дисертацију под називом: *“Електромагнетно индукована транспаренција и успоравање светлосних импулса у рубидијумској ћелији са бафер гасом”* (*“Electromagnetically induced transparency and slow light in rubidium buffer gas cell”*) на Физичком факултету Универзитета у Београду. Кандидат је потом стекао звање научни сарадник у мају 2015. године. У периоду након доктората, др Николић је започео нова истраживања из области теоријске нелинеарне оптике и динамике и објавио је серију радова из поменутих области. У вишег научног сарадника кандидат је изабран 15.09.2020. године.

Током свог научног рада, др Николић је успоставио сарадњу са неколико универзитета у иностранству. Почев од 2013. године, кандидат је остварио научну сарадњу са Каролинска институтом у Шведској са професорком Владаном Вукојевић где учествује у истраживањима на пољу масивно паралелне флуоресцентне аутокореелационе и кроскорелационе спектроскопије у циљу мерења концентрације, дифузионог времена и брзина различитих флуоресцентних обележивача у биолошким системима. Након одбрањеног доктората, др Николић је био постдокторант на Texas A&M Универзитету у Катару, у групи професора Миливоја Белића. На поменутом универзитету, кандидат је радио током неколико независних ангажмана са укупним трајањем од 4 године (од октобра 2015. до априла 2024. године). Научни рад у Катару се заснивао на истраживањима у пољу математичке физике и теоријске нелинеарне оптике. Кандидат је највише радио на аналитичком и нумеричком решавању нелинерне Шредингерове, Хиротине и квинтичне једначине при чему је пронашао нове класе

решења у форми бридера и солитона. Бавио се суштинским питањем природе, начина настанка и особина краткотрајних и изненадних таласа велике амплитуде у нелинеарној оптици. Са сарадницима је пронашао неколико нових класа решења кубичне и проширене нелинеарне Шредингерове једначине у форми мултиелиптичних кластера изненадних таласа велике амплитуде изграђених од једноставних бридера или солитона првог реда. Такође, бавио се и проблемом појачања таласа изван појаса модулационе нестабилности. Овај теоријски рад кандидат је наставио и на Институту за физику у Београду.

Поред ангажмана на научним пројектима, кандидат је радио и као професор физике у Математичкој гимназији у Београду у неколико независних уговора, од септембра 2012. до јуна 2020. године. Током летњег семестра 2016. године, др Станко Николић је радио као сарадник у настави професору Хјаншулу Нау на Texas A&M Универзитету у Катару, на предмету Електромагнетизам и оптика. Његова задужења су била организација и одржавање рачунских и лабораторијских вежби студентима и прегледање домаћих задатака, колоквијума и завршног испита.

У тренутку подношења ове молбе, др Станко Николић је аутор/коаутор укупно 74 рада и саопштења, од којих су 13 у категорији M21a, 7 у категорији M21, 6 у категорији M22, 3 у категорији M23, 6 у категорији M32, 2 у категорији M33 и 37 у категорији M34. Укупан број цитата радова кандидата (према извештају са сервиса *Web of Science*) је 258 (193 не рачунајући самоцитате), са Хиршовим индексом 11.

2. Преглед научне активности др Станка Николића

Научно-истраживачки рад др Станка Николића је у подељен у три главне области: експериментална квантна оптика, напредне микроскопске методе и теоријска нелинеарна оптика. За време докторских студија у Београду (2008-2014), кандидат се бавио проучавањем квантно-оптичких феномена који настају у кохерентној нелинеарној интеракцији резонантног ласерског зрачења са атомима рубидијума у гасовитом агрегатном стању. Докторирао је на теми *"Електромагнетно индукована транспаренција и успоравање светлосних импулса у рубидијумској хелији са бафер гасом"*, урађеној под руководством др Бранислава Јеленковића у Центру за фотонику Института за физику у Београду. Током дугогодишње сарадње са проф. Владаном Вукојевић из Каролинска института у Стокхолму, др Николић је радио на постављању и рачунарској контроли експеримената из масивно паралелне флуоресцентне корелационе спектроскопије. У Лабораторији за биофизику у Институту за физику у Београду кандидат је ангажован на развоју алгоритама и софтвера за контролу нелинеарног микроскопа и анализе података. Након завршеног доктората, др Николић је започео рад у пољу теоријске нелинеарне оптике и нелинеарне динамике током постодокторских студија на Texas A&M Универзитету у Катару, у сарадњи са проф. Миливојем Белићем. У тренутку подношења ове молбе, кандидат је запослен као виши научни сарадник у Центру за фотонику Института за физику у Београду где наставља истраживачки рад у поменутиим научним областима.

Досадашња научно-истраживачка активност кандидата обухвата проучавање следећих тема:

- електромагнетно индукована транспаренција (ЕИТ) у различитим рубидијумским хелијама (без бафер гаса и са бафер гасом) и простирање светлосних импулса различитих временских облика кроз рубидијумску хелију у режиму Земанове ЕИТ,

- масивно паралелна флуоресцентна корелациона спектроскопија у микроскопској конфигурацији са 1024 или 2048 конфокалних запреминских елемената,
- развијање алгоритама и рачунарских програма за контролу уређаја и аквизицију и обраду података у експерименту нелинеарне ласерске скенирајуће микроскопије,
- израчунавање и анализа различитих класа решења нелинеарне Шредингерове једначине (НЛШЈ) и проширене породице једначина изведених из нелинеарне Шредингерове једначине (ПНЛШЈ) (бридери, солитони, Талбо теписи и изненадни таласи великих амплитуда)
- систематично генерисање мултиелиптичних кластера код НЛШЈ и ПНЛШЈ образованих око таласа великих амплитуда који су састављени од Ахмедијевих бридера и Кузњетсов-Ма солитона.

У наредним одељцима укратко су приказани главни научни резултати који су добијени у оквиру набројаних тема и публиковани у међународним научним часописима и на међународним конференцијама.

2.1 Електромагнетно индукована транспаренција (ЕИТ) у различитим рубидијумским ћелијама (без бафер гаса и са бафер гасом) и простирање светлосних импулса различитих временских облика кроз рубидијумску ћелију у режиму Земанове ЕИТ

Прве научне активности др Станка Николића су биле везане за проучавање ЕИТ феномена у вакуумској рубидијумској ћелији. Испитивана је суперпозиција два различита поднивоа основног хиперфиног стања атома рубидијума (^{87}Rb) приликом интеракције атома са једним ласерским снопом тачно одређене фреквенције, поларизације, снаге и попречне расподеле интензитета зрачења (профила снопа). У поменутој суперпозицији долази до немогућности апсорпције резонантног ласерског зрачења. Ово специфично квантно-механичко стање се назива *тамно стање* пошто атоми не могу да емитују флуоресцентну светлост. На тај начин се у узаном фреквентном опсегу око атомске учестаности добија приметно повећање трансмисије резонантног ласерског зрачења, које се означава као ЕИТ резонанца. Експериментални циљ је добијање што израженијих и ужих ЕИТ резонанци у циљу реализације прецизних магнетометара и стандарда учестаности. Др Николић је изучавао механизме сужавања и промена облика ЕИТ линија у вакуумској Rb ћелији када се резонанце снимају целим снопом или само у одређеним деловима снопа. Испитиван је и утицај профила, пречника и интензитета ласерског снопа на амплитуде и ширине ЕИТ резонанци.

У циљу добијања још ужих ЕИТ резонанци и дужег времена живота тамног стања, кандидат је отпочео истраживања ЕИТ феномена у рубидијумским ћелијама са бафер гасом. У сударима са атомима бафер гаса, атоми Rb се дуже задржавају у снопу и не долази до разарања атомских кохеренција. У овим ћелијама, отвара се могућност ефикасног успоравања светлосних импулса, односно постизања споре светлости. У питању је ефекат који проистиче из слободног простирања резонантних ласерских импулса кроз загрејану атомску пару групном брзином која је неколико редова величине мања од брзине светлости у вакууму. Уколико се брзо прекине целокупан ласерски сноп током простирања спорог импулса кроз ћелију, могуће је уписати информације о стању импулса у атоме Rb у облику сложене атом-фотон ексцитације. Након неког времена, ласерски сноп се поново укључује, након чега "заробљени" импулс напушта ћелију. Последњи ефекат је у литератури познат као меморисање светлости у атомској пари (енг. *Storage of light*).

Кандидат је испитивао три наведена кохерентна ефекта у ћелијама са бафер гасом са циљем да се утврди на који начин профил, пречник и интензитет ласерског снопа, као и густина атома Rb утичу на облик линија, амплитуда и ширина ЕИТ резонанци. Утврђено је да се најизраженије резонанце добијају када је густина атома максимална (у границама експерименталних могућности). Показано је да је Ремзијево сужавање линија услед дифузије атома из ласерског снопа у таман простор, и потом назад у сноп, доминантан механизам сужавања ЕИТ резонанци чији облици притом одступају од фундаменталног облика Лоренцијана. У случају широког гаусовског снопа и слабог ласерског интензитета добијене су лоренцовске ЕИТ линије, док повећањем оптичке снаге ЕИТ криве одступају од облика Лоренцијана услед различитих доприноса атома у централним деловима снопа и на његовим ободима. Доказана су теоријска разматрања по којима се за широки П профил ласерског снопа увек добијају ЕИТ резонанце облика Лоренцијана, независно од ласерског интензитета.

Утврђивањем особина ЕИТ резонанци у случају константне снаге и поларизације ласерског снопа, прешло се на истраживања временског развоја ЕИТ резонанци током простирања два временски раздвојена импулса елиптичне поларизације кроз Rb пару. Утврђено је да импулси са мањим процентом σ^- компоненте у односу на σ^+ компоненту припремају тамна стања која потом утичу на простирање самих импулса. У Ремзијевој поставци, први припремни импулс припрема тамна стања. Потом следи тзв. тамни период током којег је светлост ласера искључена и тамна стања могу слободно да еволуирају у мраку. На крају, ласерски сноп се поново укључује и други (пробни) импулс може да "проба" кохеренције. Као резултат поновљене интеракције атома и поларизационих импулса, под одређеним условима се добијају Ремзијеви интерференциони минимуми и максимуми на сигналу трансмисије σ^- светлости.

На основу претходних резултата, др Станко Николић је приступио проучавању успоравања и меморисања гаусовских σ^- ласерских импулса у Rb ћелији са бафер гасом. Испитивани су утицај ласерског интензитета и дужине трајања импулса на групну брзину и релативно кашњење спорог импулса који се креће кроз ћелију у односу на референтни импулс који се простира кроз ваздух. Утврђено је да се најмања групна брзина постиже за ниске ласерске интензитета и дуге ласерске импулсе. Минимална групна брзина је добијена за импулс дужине трајања 400 μ s и износи 2 km/s. У овој поставци реализовано је и меморисање гаусовских σ^- импулса у Rb пари, али са малом меморијском ефикасношћу од неколико процената. Из тог разлога, анализирана је друга поставка за успоравање и меморисање светлости у Rb ћелији где гаусовском импулсу претходи припремни П импулс исте поларизације праћен тамним периодом. Добијени резултати указују на повећање групне брзине импулса због ширења ЕИТ линија услед пораста оптичке снаге, али уједно и на већу меморијску ефикасност.

Временски разложени кохерентни ефекти, описани у претходном тексту, захтевају могућност ефикасне контроле улазних и анализе излазних експерименталних сигнала, као и брзу обраду података. У том циљу, развијен је електронски уређај на бази програмабилних логичких кола који се састоји од кола са аналогном и дигиталном електроником. Развијен је и C++ софтвер за контролу уређаја у графичком окружењу у *Windows* оперативном систему.

Кандидат је спровео теоријску и експерименталну анализу временског развоја Земанових ЕИТ резонанци током простирања два временски раздвојена поларизациона импулса кроз загрејану рубидијумску пару у ћелији са бафер гасом (неоном). У поворци импулса, први

импулс припрема атоме у тамно стање, потом следи тамно време током којег је ласер искључен, а потом почиње пробни импулс који испитује атомску кохеренцију. Након тога следи, у односу на трајање импулса (реда 100 μ s), дуга пауза (реда 10 ms) да би се атоми Rb релаксирани у основно стање. Импулси су генерисани синхроним контролом интензитета ласерског снопа и угла елиптичне поларизације. Фреквенција ласерског зрачења је подешена на хиперфини прелаз $F_g=2 \rightarrow F_e=1$ на D_1 линији у атому ^{87}Rb . У експерименту се мери интензитет поларизационе σ^- компоненте трансмитованог ласерског снопа у различитим временским тренуцима у функцији спољашњег магнетног поља. На основу скупа вредности трансмисионих сигнала, реконструисане су Земанове ЕИТ резонанце у жељеном временском тренутку током пропагације импулса. Показано је да се ЕИТ резонанце, непосредног након генерисања пробног импулса, одликују карактеристичним Ремзијевим интерференционим минимумима и максимумима. У каснијим тренуцима, ове осцилације интензитета нестају и појављује се узани централни максимум. Поменуте осцилације на почетку пробног импулса објашњене су Ларморовом прецесијом кохеренција током тамног времена. Каснији престанак осцилација се брже јавља код већих интензитета услед некохерентног оптичког пумпања. Проучавана је и зависност амплитуде и ширине централног максимума ЕИТ резонанци од интензитета пробе и густине атома рубидијума. Уочено је да за мале интензитете пробе, обе функције монотонно опадају током времена ако је густина Rb мала. Повећањем температуре хелије расте атомска густина и амплитуде и ширине прво расту током времена, а потом опадају.

Наведени резултати су приказани у радовима пре претходног избора у звање.

2.2 Масивно паралелна флуоресцентна корелациона спектроскопија у микроскопској конфигурацији са 1024 или 2048 фокалних елемената

У дугогодишњој сарадњи са истраживачима са Каролинска института у Шведској, кандидат је радио на експерименталним истраживањима у пољу флуоресцентне корелационе спектроскопије. Заједно са др Александром Крмпотом са Института за физику у Београду и професорком Владаном Вукојевић из Центра за молекуларну медицину на Каролинска институту у Стокхолму, развијена је посебна техника функционалног флуоресцентног микроскопског сликавања (енг. *functional fluorescence microscopy imaging* - fFMI). У овој поставци, експериментална мерења се заснивају на детекцији појединачних фотона из флуоресцентног сигнала током узастопних временских интервала (фрејмова), где сваки траје 20.74 μ s. Микроскоп је у конфокалној конфигурацији, а могуће је истовремено мерење фотонских одброја из 1024 или 2048 просторно раздвојена фокална запреминска елемента без скенирања ласерског снопа по узорку. Експеримент је развијен у циљу квантитативне карактеризације транспортних процеса или брзих биохемијских реакција у узорцима обележених одговарајућим бојама које апсорбују упадно ласерско зрачење и потом емитују флуоресценцију. Метода која се користи за добијање потребних информација је масивно паралелна флуоресцентна корелациона спектроскопија (мпФКС, енг. *massively parallel Fluorescence Correlation Spectroscopy* - mpFCS). Симултана екситација флуоресцентних молекула у просторно раздвојеним фокалним елементима постигнута је употребом дифракционог оптичког елемента (ДОЕ). Један ласерски сноп се након проласка кроз поменути дифракциони елемент дели на $N = 32 \times 32$ или $N = 64 \times 32$ снопова, од који се сваки фокусира у исту раван узорка у матричном распореду, при чему су сви суседни елементи на једнаким растојањима. Сигнали флуоресценције из свих фокалних елемената мере се специјалним детектором који садржи N лавинских фотодиода у идентичној матричној поставци. Свака од њих има довољну осетљивост за детекцију појединачних фотона. Наиме, из наизглед

стохастичних низова фотонских одброја који настају приликом проласка флуоресцентно обележених молекула кроз фокалну запремину, могуће је добити врло корисне информације о флуоресцентним молекулима у узорку, као што су њихова концентрација и време дифузије у фокалној запремини. То се постиже рачунањем аутокорељационих функција (у сваком фокалном елементу по једна) и кроскорелационих функција (у принципу по једна за сваки пар фокалних елемената). Др Николић је највише радио на развоју и унапређењу софтвера за управљање камером и за брзу аутокорељациону и кроскорелациону анализу података. Коришћена је велика рачунарска моћ графичких процесора компаније NVIDIA која је развила и комплетно окружење и компајлере за њихову софтверску употребу, познату под називом CUDA технологија. Софтвер који је кандидат развијао омогућава израчунавање 1024 аутокорељационе функције за приближно 4 секунде (наспрам серијског израчунавања на централном процесору које траје по неколико десетина минута). Такође, програм рачуна и знатно већи број кроскорелационих функција између суседа првог и другог реда за свега 45 секунди. На тај начин, велика количина података која се добија при сваком мерењу може да се обради у прихватљивом временском интервалу. Ово омогућава вишеструка мерења током дана и уопште практичну реализацију овог захтевног огледа.

Др Николић је радио и на применама флуоресцентне корелационе спектроскопије и осликавања времена живота флуоресцентних обележивача у експерименту са мултифокалним микроскопом. Прво су разматране техничке особине и могућности камере неопходне за мерења брзих процеса у биолошким узорцима: (1) кратки временски интервали током којих је бројање фотона реализовано (20,74 μ s), (2) кратко мртво време када појединачни пиксели камере не могу да врше мерења (50-200 ns) и (3) веома-кратки временски прозори (од неколико наносекунди) који се могу померати у времену у корацима од неколико 100 ps чиме се омогућава такозвани time gating који се користи за мерење времена живота флуоресценције. Представљени су резултати мерења у растворима квантних тачака и на зеленом флуоресцентном протеину у живим НЕК293-Т ћелија хуманог бубрега. Даље, приказана је квантитативна анализа динамике Хоксовог гена и транскрипционог фактора анализом аутокорељационих и кроскорелационих функција. Разматрано је и проучавање динамике ДНК молекула у једрима ћелија плувачних жлезда ларве инсекта *Drosophila Melanogaster*.

Кандидат је додатно испитивао квантитативни временски разложени метод за мерење концентрације и коефицијената дифузије у различитим ћелијским регијама. Експеримент и матрични детектор су били пажљиво подешени чиме је добијена осетљивост мерења на нивоу детекције појединачних молекула. Закључено је да молекули који немају одређену биолошку функцију, као што је слободни зелени флуоресцентни протеин (eGFP), доживљавају униформну дифузију. Са друге стране, када се флуоресцентни обележивачи попут eGFP-а вежу за своје молекулске мете које имају одређену биолошку функцију, примећена је јасна зависност концентрације и дифузије од области ћелије која се снима. Ови закључци су поткрепљени мерењима на два молекула транскрипционих фактора: на глукокортикоидном рецептору пре и после транслокације у једро и на Sex combs reduced (Scr) транскрипционом фактору у плувачним жлездама *Drosophila ex vivo*.

Др Николић је са сарадницима користио масивно паралелну флуоресцентну корелациону спектроскопију и микроскопију осликавања времена живота флуоресцентних обележивача (ФЛИМ, енг. Fluorescence Lifetime Imaging Microscopy FLIM) за мапирање локално специфичних варијација у концентрацији, дифузији, хомодимеризацији, везивању за ДНК и локалном окружењу транскрипционог фактора олигодендроцита 2, везаним за

побољшани зелени флуоресцентни протеин (OLIG2-eGFP), у живој ћелији. Такође, испитивани су и ефекти алостеричног инхибитора хомодимеризације OLIG2 на ове детерминанте OLIG2 функције. Унапређени експериментални услови омогућили су осетљивост детекције на нивоу појединачног флуоресцентног молекула, високу временску резолуцију ($\sim 20 \mu\text{s}$ /фрејму) и могућност за снимање живота флуоресценције са тачношћу реда величине наносекунде. У овој експерименталној поставци показано је да су OLIG2-eGFP у цитоплазми углавном мономерни и слободно дифузиони, са уделом слободно дифузионих OLIG2-eGFP молекула од 0.75 ± 0.10 и временом дифузије од $(0.5 \pm 0.3) \text{ ms}$. Насупрот томе, закључено је да су OLIG2-eGFP хомодимери присутни у једру ћелије, чинећи $\sim 25 \%$ запремине језгра. Удео нуклеарног OLIG2-eGFP везаног за хроматин ДНК износи 0.65 ± 0.10 , док слободно покретни OLIG2-eGFP молекули дифундују истом брзином као и они у цитоплазми. Ова тврдња је поткрепљена једнакошћу времена дифузије за ова два процеса који износи $(0.5 \pm 0.3) \text{ ms}$. Интеракција OLIG2-eGFP са хроматином ДНК карактерише се дисоцијационом константом од $(45 \pm 30) \text{ nM}$, док је дисоцијациона константа за OLIG2-eGFP хомодимере процењена на приближно 560 nM . Алостерични инхибитор хомодимеризације OLIG2 једињења NSC 50467 не утиче на особине OLIG2-eGFP у цитоплазми, нити мења укупно цитоплазматично окружење. Напротив, значајно омета хомодимеризацију OLIG2-eGFP у језгру ћелије, повећавајући петоструко очигледну дисоцијациону константу од $3 \mu\text{M}$. Тиме се смањују нивои хомодимера испод 7% и ефективно поништава специфично везивање OLIG2-eGFP за хроматин ДНК. Др Николић је у овом научном раду био ангажован на израчунавању аутокорелационих функција, концентрација и дифузионих времена OLIG2-eGFP система, као и фитовању експерименталних података који су омогућили горе наведене закључке. Радио је и на визуализацији поменутих физичких величина у виду обојене матрице пиксела чиме се контуре ћелија и њених органела могу знатно лакше уочити.

Др Николић је теоријски симулирао и експериментално измерио транспорт флуорофора и флуоресцентних обележивача у калибрационим растворима и биолошким узорцима у експерименталној поставци мПФКС. У ту сврху је поред аутокорелационих функција, насталих мерењем одброја у једној конфокалној запремини, рачунао и кроскорелационе криве. У питању је било одређивање корелације између сирових фотонских одброја измерених симултано у две различите фокалне запремине. Кроскорелациона функција има другачији облик од аутокорелационе и карактерише се израженим максимумом на равној позадини уколико се правац и смер кретања флуоресцентне честице подудара са правом која пролази кроз две посматране фокалне запремине. Тај врх одређује време прелета флуоресцентног молекула из једног у други фокални елемент. Уколико се знају просторне карактеристике фокалне матрице, на основу кроскорелационе криве може се одредити пројекција вектора брзине флуоресцентног обележивача у равни узорка. Зато се овој техници додељује префикс "дво-фокална" или "дво-живна" масивно паралелна флуоресцентна корелациона спектроскопија. Др Николић је кроскорелационе функције користио за одређивање правца и брзине простирања глуокортикоидног рецептора из цитоплазме у једру и из једра у цитоплазму код живих ћелија.

Поменути резултати јасно наглашавају предност масивно паралелне флуоресцентне корелационе спектроскопије у квантитативној анализи брзих процеса у живим ћелијама разних биолошких узорака. Специфична матрична поставка ласерских фокалних елемената и њима придружених лавинских фотодиода омогућава симултану мерења 1024 или 2048 сигнала флуоресценције на различитим местима унутар ћелије.

Након покретања претходног избора у звање, један део резултата је публикован у следећим радовима:

- Sho Oasa, Aleksandar J. Krmpot, **Stanko N. Nikolić**, Andrew H. A. Clayton, Igor F. Tsigelny, Jean-Pierre Changeux, Lars Terenius, Rudolf Rigler, Vladana Vukojević: *Dynamic Cellular Cartography: Mapping the Local Determinants of Oligodendrocyte Transcription Factor 2 (OLIG2) Function in Live Cells Using Massively Parallel Fluorescence Correlation Spectroscopy Integrated with Fluorescence Lifetime Imaging Microscopy (mpFCS/FLIM)*, Analytical Chemistry **93**, 12011–12021 (2021) (ИФ=8.008 за 2021. годину)
- **Stanko N. Nikolić**, Sho Oasa, Aleksandar J. Krmpot, Lars Terenius, Milivoj R. Belić, Rudolf Rigler, Vladana Vukojević: *Mapping the direction of nucleocytoplasmic transport of glucocorticoid receptor (GR) in live cells using two-foci cross-correlation in massively parallel Fluorescence Correlation Spectroscopy (mpFCS)*, Analytical Chemistry **95**, 15717 (2023) (ИФ=8.008 за 2021. годину)

Остали резултати су објављени у радовима пре претходног избора у звање.

2.3 Развијање алгоритама и рачунарских програма за контролу уређаја и аквизицију и обраду података у експерименту нелинеарне ласерске скенирајуће микроскопије

У Лабораторији за биофизику у Институту за физику у Београду постављен је комплексан експеримент из нелинеарне ласерске скенирајуће микроскопије у којем се након побуде узорка фемтосекундним ласерским импулсима могу детектовати сигнали флуоресценције након двофотонске екситације (ФДФЕ), затим другог или трећег хармоника (Д/ТХ) упадног ласерског зрачења. Скенирањем ласерског снопа помоћу два галво-огледала добијају се матрице димензија до 1024x1024. Сваки пиксел матрице одговара једној тачки у равни екситације која је одређена текућим положајем скенирајућих огледала и карактерише се сигналом ФДФЕ, ДХ или ТХ који мери одговарајући фотомултипликатор. Др Николић је био ангажован на унапређењу софтвера за контролу галво-огледала и прикупљање и анализу напонских сигнала са фотодетектора у матричној форми. Важан задатак је био написати програм којим се симултано снимају сигнали ФДФЕ и ТХ са два фотомултипликатора, једног у рефлексивној (коришћен углавном за ФДФЕ и ДХ сигнале) и другог у трансмисионој грани (коришћен углавном за ТХ сигнале). Услед преливања ФДФЕ сигнала у ТХ канал када се ова два сигнала снимају истовремено у две гране, др Николић је развио алгоритам и одговарајући компјутерски код којим се израчунава трећи сигнал једнак разлици поменути два сигнала помноженој подесивим параметром од нула до један. На тај начин се може утврдити степен преклапања два сигнала и до одређене мере се они могу раздвојити. Разлог за симултано снимање сигнала ФДФЕ и ТХ јесте у томе да би метода могла да се примени на живим узорцима у којима се структуре крећу (померају) у реалном времену, при чему одређене особине узорка открива прва, а друге карактеристике друга техника.

Кандидат је са сарадницима користио нелинеарну ласерску скенирајућу микроскопију у генерисању трећег хармоника за снимање необележених (небојених) живих ћелија, како би се посматрале капљице липида у хифама кончасте гљиве *Phycomyces blakesleeana*. Сlike које су добијене у експерименту показале су светле сферне објекте који су били распршени по цитоплазми хифе која је гајена у контролисаним условима, као и привремени пораст броја ових светлих објеката након потпуног изгладњивања ћелија азотом. Анализа колокализације сигнала

на ФДФЕ и ТХ сликама узорака обојених бојама специфичним за липиде потврдила је да су светле тачкасте структуре на ТХ сликама заправо липидне капи. Анализа величине честица (АВЧ – енг. Particle Size Analysis - PSA) и корелациона спектроскопија слика (КСС - енг. Image Correlation Spectroscopy - ICS) коришћене су за квантитативно одређивање густине расподеле и величине капљица липида. Обе анализе су показале повећање са 16×10^{-3} на 23×10^{-3} капљица липида/ μm^2 након изгладњивања, као и смањење просечне величине капљица, у опсегу пречника од (0.5–0.8) μm . Закључак ове студије, у којој је др Николић учествовао и као аналитичар података, јесте да снимање ТХ, праћено са АВЧ и КСС, може поуздано да се користи за кончасте гљиве за *in vivo* пребројавање капљица липида без потребе за обележавањем (бојењем) и/или фиксацијом.

Наредна примена нелинеарне ласерске скенирајуће микроскопије је било и проучавање интеракције фемтосекундних ласерских импулса са молекулом хемоглобина. Хемоглобин је изузетно важан протеин који је у високој концентрацији заступљен у црвеним крвним зрнцима. Одређен број студија је већ пријавио флуоресценцију детектовану приликом интеракције фемтосекундних ласерских импулса са хемоглобином, међутим механизми настанка као и порекло те флуоресценције нису у потпуности разјашњени. У огледу који је спроведен у Лабораторији за биофизику, а у којој је учествовао и др Николић, фотофизички је окарактерисана поменута интеракција и урађено је осликавање еритроцита засновано на детекцији настале флуоресценције. Постепено повећање интензитета флуоресценције, које се завршава сатурацијом, посматрано је при продуженом излагању танког филма хемоглобина и еритроцита ултракратким ласерским импулсима на таласној дужини од 730 nm. Резултати су показали да у блиској инфрацрвеној области долази до деградације молекула хемоглобина и ослобађања гвожђа. То доводи до образовања флуоресцентног једињења без гвожђа које је упоредиво са продуктом реакција хемоглобина и H_2O_2 . Коришћена је и класична једнофотонска апсорпциона спектроскопија у ултра-виолетној и видљивој области спектра како би се окарактерисало новонастало флуоресцентно једињење. На овај начин, под дејством јако фокусираних ултракратких ласерских импулса, настаје фотопродукт из хемоглобина. Овај процес је просторно и временски контролисан и не долази до интеракције са другим молекулима и структуром еритроцита. Др Николић је радио на даљем развоју софтвера и анализи експерименталних резултата како би се ефикасно проучила описана интеракција фемтосекундних импулса са хемоглобином.

Након покретања претходног избора у звање, наведени резултата су објављени у следећим радовима:

- Tanja Pajić, Nataša V. Todorović, Miroslav Živić, **Stanko N. Nikolić**, Mihailo D. Rabasović, Andrew H. A. Clayton, Aleksandar J. Krmpot: *Label-free third harmonic generation imaging and quantification of lipid droplets in live filamentous fungi*, Scientific Reports **12**, 18760 (2022) (ИФ=4.997 за 2021. годину)
- Mihajlo D. Radmilović, Ivana T. Drvenica, Mihailo D. Rabasović, Vesna Lj. Ilić, Danica Pavlović, Sho Oasa, Vladana Vukojević, Mina Perić, **Stanko N. Nikolić**, Aleksandar J. Krmpot: *Interactions of ultrashort laser pulses with hemoglobin: Photophysical aspects and potential applications*, International Journal of Biological Macromolecules **244**, 125312 (2023) (ИФ=8.025 за 2021. годину)

2.4 Израчунавање и анализа различитих класа решења нелинеарне Шредингерове једначине (НЛШЈ) и проширене породице једначина изведених из нелинеарне Шредингерове једначине (ПНЛШЈ) (бридери, солитони, Талбо теписи и изненадни таласи великих амплитуда)

Током постдокторског усавршавања на Texas A&M Универзитету у Катару, др Николић је започео и сада активно истражује важне једначине у нелинеарној оптици, попут нелинеарне Шредингерове једначине и фамилије једначина изведених из ње. У серији радова које је публикувао са професором Миливојем Белићем из Катара, сарадницима из Института за физику у Београду и Texas A&M Универзитета у Сједињеним Америчким Државама, објављене су нове класе решења поменутих једначина (солитони, бридери и Талбо теписи). Детаљно су проучавани и изненадни таласи великих амплитуда код НЛШЈ и ПНЛШЈ или циновски таласи (енг. *rogue waves*).

Једна класа решења једнодимензионалне нелинеарне Шредингерове једначине су Ахмедијеви бридери. Они се одликују периодичним максимумима дуж просторне осе и локализацијом на временској оси. Бридери првог реда су најједноставнија и фундаментална решења са релативно slabим максимумима. Коришћењем нелинеарне и рекурентне Дарбуове трансформације, ова решења се могу надоградити у бридере виших редова који имају знатно уже и јаче максимуме. Кандидат је радио на извођењу једноставне једначине којом се одређује максималан интензитет Ахмедијевог бридера произвољног реда на равной подлози - енгл. *peak-height formula* (PHF). У раду је разматран случај бридера N -тог реда добијен нелинеарном суперпозицијом N бридера првог реда, који сви имају сразмерне периоде. Показано је да се висине ових градивних максимума једноставно сабирају и тако образују максимум финалног бридера. Користећи ову релацију, доказано је да за изабрани основни период постоји јединствен бридер вишег реда са максималним интензитетом. Варирањем основног периода добија се фамилија бридера N -тог реда у којој се интензитет централног максимума повећава са повећањем основног периода.

Разматрано је и уопштење PHF једначине за рачунање максимума код бридера вишег реда, формираних не само на униформној, већ и на произвољној подлози. У овом контексту, подлога представља вредност таласне функције у просторно-временској равни далеко од максимума (где структура самог бридера слаби и ишчезава). За таласасту подлогу на којој се Ахмедијев бридер формира, узете су Јакобијеве елиптичне функције: дноидална и кноидална. Математичком анализом је показано да се амплитуда максимума бридера вишег реда добија сабирањем максимума градивних бридера (као код равне подлоге) и амплитуде позадинских таласа. Такође, математички је показано како се периодични низови изузетно изражених и уских максимума могу добити из Ахмедијевих бридера вишег реда уколико важи услов самерљивости учестаности између (1) појединачних компоненти у Дарбуовој шеми и (2) појединачних бридера и дноидалних осцилација.

Др Николић је анализирао и решења Хиротине једначине која се добијају проширењем нелинеарне Шредингерове једначине члановима који садрже дисперзију трећег реда по просторној оси и додатну нелинеарност. Прво су разматрана аналитичка решења Хиротине једначине, добијена Дарбуовом трансформацијом, у форми солитона и бридера. Циљ је био пронаћи почетне услове који би развојем у нумеричкој симулацији дали бридере вишег реда. Да би се то постигло, аналитички је израчуната таласна функција далеко од максимума бридера и те вредности су коришћене као почетни услови за динамичку интеграцију. Приказана је и нова

математичка метода за нумеричко израчунавање бридера вишег реда на елиптичним позадинским таласима. Закључено је да РНФ формула такође важи и код Хиротине једначине.

Кандидат је радио на даљој генерализацији НЛШЈ и Хиротине једначине тако што је проучавао динамичко генерисање бридера, циновских таласа и солитона за квинтичну једначину која је окарактерисана додатним нелинеарним члановима и дисперзијом четвртог и петог реда. Једначина је врло комплексна и захтевна за нумеричка израчунавања. Из тог разлога, коришћена је метода коначних разлика високе тачности за симулацију дуж трансверзалне осе и Рунге-Куте алгоритам четвртог реда за временску еволуцију таласне функције. Развијени су специјални алгоритми за Nvidia графичке картице у CUDA технологији који редукују време једне симулације преко 100 пута. Уведена је нова класа нумеричких решења, названа периодичним циновским таласима, који се добијају када су фреквенције градивних компоненти у бридеру N -тог реда међусобно пропорционалне и сразмерне фреквенцији елиптичног таласа на подлози бридера (дноидалне и кноидалне функције). Тада долази до "нелинерне интерференције" две таласне структуре у истим тачкама дуж просторне осе, што као резултат даје периодичан низ узаних максимума високог интензитета.

Са коауторима, др Николић је представио нова егзактна решења квинтичне једначине у форми дводимензионалних Талбо тепиха. Уопштавањем резултата претходног рада, утврђено је да се за одређене вредности слободних параметара и усклађивањем периода градивних бридера (међусобно и са елиптичном подлогом), могу добити двоструко периодични низови бридера вишег реда (тј. циновских таласа). Размотрена је и нова нумеричка метода за елиминисање модулационе нестабилности која је названа Фуријеово пробирање мода. Наиме, ако се почетни услови из Дарбуових трансформација нумерички интеграле према нелинеарној Шредингеровој једначини, амплитуде виших хармоника ће током еволуције експоненцијално да расту и да надјачају ниже хармонике. Ова појава води до хомоклиничког хаоса и неконтролисаног преливања интензитета таласне функције у просторно-временској равни. Да би се нумерички репродуковали теоријски очекивани бридери вишег реда у форми дводимензионалне решетке, бирају се "нежељене" Фуријеове моде којима се током еволуције амплитуда поставља на нулу или неку малу вредност. На тај начин, добијени су бридери првог и другог реда периодични и дуж просторне и дуж временске осе.

Важан део научног рада кандидата након претходног избора у звање је било проучавање природе и порекла изненадних таласа великих амплитуда који се изненада појављују и потом нестају без трага у физичким системима који се описују нелинеарном Шредингеровом једначином. Један од предлога за њихов назив на српском језику јесте већ поменути термин *циновски таласи* због њихове знатно веће амплитуде у односу на таласе који обично настају у оваквим системима. Др Николић је са професором Белићем утврђивао различите аспекте циновских таласа и утврдио је да су они: (1) нелинеарни, пошто настају због модулационе нестабилности, (2) детерминистички, јер модулациона нестабилност доводи до хомоклиничког хаоса који је по својој природи детерминистички процес и (3) физички, из разлога што се циновски таласи могу образовати у бројним реалним системима у природи и експерименту. Кандидат се у овом раду такође осврнуо и на статистичку анализу изненадних максимума који се развијају из истих почетних услова при примени различитих алгоритама нумеричке интеграције. Утврдио је да статистика може да зависи од примењеног алгоритма, као и да непажљив одабир корака интеграције и умножавање нумеричких грешака услед модулационе нестабилности могу произвести лажне циневске таласе. Стога је закључено да постоје

ситуације када се циновски таласи могу појавити као линеарни, случајни и нумерички феномени.

Питање модулатионе нестабилности је изузетно важан проблем у нелинеарним наукама и физици уопште. Из тог разлога, др Николић је са једним од најзначајнијих научника у области теоријске нелинеарне оптике, проф. др Нејлом Ахмедијевим, утврдио да до значајног појачања амплитуде таласа може доћи и изван области модулатионе нестабилности у системима који се описују нелинеарном Шредингеровом једначином.

Након покретања претходног избора у звање, један део резултата је публикован у следећим радовима:

- Omar A. Ashour, Siu A. Chin, **Stanko N. Nikolić**, Milivoj R. Belić: *Higher-order breathers as quasi-rogue waves on a periodic background*, Nonlinear Dynamics **107**, 3819 (2022) (ИФ=5.741 за 2021. годину)
- Milivoj R. Belić, **Stanko N. Nikolić**, Omar A. Ashour, Najdan B. Aleksić: *On different aspects of the optical rogue waves nature*, Nonlinear Dynamics **108**, 1655 (2022) (ИФ=5.741 за 2021. годину)
- **Stanko N. Nikolić**, Najdan B. Aleksić, Wieslav Krolikowski, Milivoj R. Belić, Nail Akhmediev: *Wave amplification outside of the modulation instability band*, Romanian Journal of Physics **68**, 115 (2023) (ИФ=1.662 за 2021. годину)

Остали резултати су објављени у радовима пре претходног избора у звање.

2.5 Систематично генерисање мулти-елиптичних кластера код НЛШЈ и ПНЛШЈ образованих око таласа великих амплитуда који су састављени од Ахмедијевих бридера и Кузњетсов-Ма солитона

Последње научне активности др Николића везане су за аналитичко израчунавање нових класа решења кубичне и проширене нелинеарне Шредингерове једначине у форми мулти-елиптичних кластера циновских таласа. Након прегледа литературе, др Николић је утврдио да не постоји систематичан начин генерисања ових комплексних функција код НЛШЈ, као и да ова решења нису израчуната и пријављена код проширене породице једначина изведених из НЛШЈ. Мотивација за ово научно ангажовање је било одређивање начина на који настају ови специфични кластери и описивање њихових особина.

Установљено је да се ова решења могу добити на равној позадини коришћењем технике Дарбуове трансформације полазећи од равног таласа као почетног (нултог) решења (такозвана "семена" функција). Др Николић је утврдио да је потребно дефинисати укупан ред решења Дарбуове трансформације n и потом n недегенерисаних комплексних својствених вредности. Наиме, свака својствена вредност изграђује своју компоненту првог реда која учествује као члан у нелинеарној суперпозицији коначне таласне функције. Уколико је имагинарни део мањи од један одговарајућа градивна компонента је периодична дуж трансверзалне (просторне) осе. Први услов за добијање периодичних кластера од Ахмедијевих бридера првог реда јесте да су фреквенције свих компоненти у Дарбуовој шеми самерљиве. То значи да је учестаност i -те компоненте i пута већа од почетне фреквенције. Други захтев је да почетна фреквенција тежи

нули и да се на овај начин добија квази-дегенерисан скуп својствених вредности. Коначно, треба одредити други број m тако да су првих m помераја дуж еволуционе осе ненулти и међусобно једнаки, док се осталих $n - m$ може поставити на нулу. Др Николић је израчунавао и анализирао решења НЛШЈ добијена на претходно описан начин. Утврдио је да се Ахмедијев бридер реда $n - 2m$ појављује у центру (x, t) равни и да се као такав може сматрати циновским таласом. Овај уски централни максимум, са карактеристичном расподелом интензитета у својој непосредној близини, окружен је са m елипси које се састоје од Ахмедијевих бридера првог реда (АБ1). Број максимума првог реда на свакој елипси је одређен редом решења n и индексом елипсе. Утврђено је да се на највећој елипси налази $2n-1$ АБ1, док се на свакој следећој елипси, идући према центру, налазе 4 АБ1 мање. Ове структуре, сачињене од циновског таласа у центру концентричних елипси, понављају се дуж трансверзалне осе и због тога се решења називају мулти-елиптичним кластерима изненадних таласа велике амплитуде. Др Николић је као следећи правац у овој студији изабрао генерисање ових решења на таласастој позадини обзиром да се у природи велики таласи појављују на узбурканом мору. У ту сврху, коришћена је измењена Дарбуова трансформација да би се нумерички израчунала решења на Јакобијевој елиптичној позадини. Показано је да се мулти-елиптични кластери појављују и при дноидалној пертурбацији.

Питање које се природно поставило било је да ли се ова решења могу генерисати тако да буду периодична дуж друге, еволуционе (временске) осе? Испоставља се да је одговор потврдан и да се могу израчунати три нове класе кластера циновских таласа састављених од Кузњетсов-Ма солитона. Почетна функција у Дарбуовој шеми остаје иста - раван талас. Кандидат је утврдио да услов самерљивости фреквенција остаје непромењен, али да је имагинарне вредности потребно изменити како би компоненте првог реда у нелинеарној суперпозицији постале Кузњетсов-Ма солитони. У том циљу, мења се једначина којом се израчунавају имагинарни делови својствених вредности, уз обавезан услов да сви буду већи од јединице. Др Николић је утврдио да се добијају мулти-елиптични кластери са вертикалном тј. еволуционом периодичношћу. Циновски таласи у центру свих елипси су Кузњетсов-Ма солитони вишег реда, док су структуре на елипсама Кузњетсов-Ма солитони првог реда (КМС1). Анализом вертикалних мулти-елиптичних кластера утврђено је да они задржавају особине кластера састављених од Ахмедијевих бридера. На тај начин, ред централног максимума, број концентричних елипси и број солитона првог реда на елипсама остају непромењени. У овом раду је приказана и једноставнија класа решења у облику периодичног низа циновских таласа који се добијају уз услов самерљивости учестаности и нултих еволуционих помераја. Ово је најбољи показатељ колико и мала промена помераја у Дарбуовој шеми може променити слику решења, односно расподелу интензитета у просторно-временској равни.

Трећа класа решења на којој је др Николић радио са сарадницима означена је у раду као кластер циновских таласа са дугачким траговима. Показано је да се ова решења добијају када чисто имагинарне комплексне својствене вредности теже некој офсет вредности већој од један, док се еволуциони помераји не мењају (првих m је ненулто и једнако, осталих $n - m$ су једнаки нули). У овом случају добија се један централни максимум реда $n - 2m$ у координатном почетку. Из њега извире n дугачких трагова изнад и испод циновског таласа на којима леже Кузњетсов-Ма солитони првог реда. Расподела интензитета се усложњава када укупан ред Дарбуове трансформације постане паран. У том случају долази до формирања m и $m - 1$ петљи изнад и испод централног циновског таласа на којима се такође формирају КМС1. Коначно, ови кластери су израчунати и на Јакобијевој дноидалној позадини у измењеној Дарбуовој шеми.

Показано је да је основни облик кластера одржан, при чему интензитети централног максимума и КМС1 структура дуж трагова значајно превазилазе амплитуде дноидалних таласа.

Др Николић је израчунавао и анализирао све претходно описане класе решења код проширене породице једначина изведених из основне (кубичне) нелинеарне Шредингерове једначине. У наведеном научном чланку, кандидат се бавио пре свега квинтичном једначином код које се, упркос веома усложњеном облику и додатним нелинеарностима и дисперзијама, задржавају исте особине свих наведених типова кластера. Највећи интерес је стога лежао у проучавању како три слободна параметра квинтичне једначине (алфа уз Хиротин оператор, гама уз ЛПД члан и делта уз квинтични оператор) утичу на облик и стабилност ових решења. Укратко, мулти-елиптични кластери циновских таласа код квинтичне једначине су састављени од Ахмедијевих бридера и Кузњетсов-Ма солитона и одликују се трансверзалном/еволуционом периодичношћу са централним израженим и уским максимумима реда $n - 2m$ и m окружујућих елипси са АБ1/КМС1 који леже на њима. Кандидат је из бројних резултата увидео да Хиротин оператор помножен параметром алфа узрокује закошење целокупног кластера према позитивном/негативном смеру трансверзалне/еволуционе осе, у зависности од знака параметра. Утврђено је да је ово закошење веће уколико је апсолутна вредност алфе већа. Дејством квинтичног оператора се добија још јачи ефекат закошења уз додатно истезање кластера, односно повећање димензија елипси. Утицај ЛПД оператора који укључује нелинеарност четвртог реда и множи се гама параметром је другачији: не долази до закошења решења као код дисперзије непарних редова, већ се цео кластер шири или скупља дуж еволуционе осе.

Утврђено је да су периодични низови циновских таласа и мулти-елиптични кластери састављени од Кузњетсов-Ма солитона веома осетљиви на дејство три оператора. Само у једној структури који је формирана тачно око координатног почетка и даље се примећује циновски талас, док у свим другим структурама коначног решења (испод и изнад) он нестаје. Др Николић је предложио механизам нарушења нелинеарне суперопозиције Дарбуових мода (компоненти) као узрок ове појаве. Што је већа еволуциона координата центра сваке елиптичне структуре, више расте разликање Дарбуових мода (које граде циновски талас) по трансверзалној оси (услед дејства Хиротиног, ЛПД и квинтичног оператора) и оштар максимум интензитета се губи.

Кластери циновских таласа са дугачким траговима, који се добијају искључиво за Кузњетсов-Ма солитоне, могу се такође израчунати код квинтичне једначине. Дејство три оператора је исто као и код мулти-елиптичних кластера: долази до карактеристичног закошења и/или издужења расподеле интензитета у (x,t) равни.

Један од феномена који је присутан код квинтичне једначине, али не и код кубичне нелинеарне Шредингерове једначине, јесте конверзија бридера у солитоне уколико се реални делови својствених вредности подесе према тачно одређеним математичким релацијама. Кандидат је показао да само при овој промени реалних делова, док сви остали нумерички параметри остају непромењени, долази до потпуне трансформације мулти-елиптичног кластера или кластера са дугачким траговима у сложену слику солитонских трака или пруга са донекле очуваним централним максимумом у $(0,0)$. Јасно је показано и да се фундаментална периодичност мулти-елиптичних таласа губи у овој конверзији.

Др Николић је показао неисцрпне могућности и велико богатство које пружа техника Дарбуових трансформација у израчунавању непребројиво много нових класа решења кубичне и

квинтичне нелинеарне Шредингерове једначине. Испоставља се да је избор слободних параметара у Дарбуовој шеми и три параметра у квинтичној једначини кључан за добијање веома разноврсних и интересантних решења поменутих једначина.

Након покретања претходног избора у звање, наведени резултати су публикован у следећим радовима:

- **Stanko N. Nikolić**, Sarah Alwashahi, Omar A. Ashour, Siu A. Chin, Najdan B. Aleksić, Milivoj R. Belić: *Multi-elliptic rogue wave clusters of the nonlinear Schrödinger equation on different backgrounds*, Nonlinear Dynamics **108**, 479 (2022) (ИФ=5.741 за 2021. годину)
- Sarah Alwashahi, Najdan B. Aleksić, Milivoj R. Belić, **Stanko N. Nikolić**: *Kuznetsov–Ma rogue wave clusters of the nonlinear Schrödinger equation*, Nonlinear Dynamics **111**, 12495 (2023) (ИФ=5.741 за 2021. годину)
- **Stanko N. Nikolić**, Najdan B. Aleksić, Milivoj R. Belić: *Akhmediev and Kuznetsov–Ma rogue wave clusters of the higher-order nonlinear Schrödinger equation*, Optical and Quantum Electronics **56**, 1182 (2024) (ИФ=3.0 за 2022. годину).

3. ЕЛЕМЕНТИ ЗА КВАЛИТАТИВНУ ОЦЕНУ НАУЧНОГ ДОПРИНОСА

3.1 Квалитет научних резултата

3.1.1 Научни ниво и значај резултата, утицајност научних радова

Др Станко Николић је у свом досадашњем раду објавио 29 радова М20 категорије у међународним часописима са ISI листе и 45 саопштења, од којих 13 у категорији М21а, 7 у категорији М21, 6 у категорији М22, 3 у категорији М23, 6 у категорији М32, 2 у категорији М33 и 37 у категорији М34.

У периоду након одлуке Научног већа Института за физику у Београду о предлогу за стицање претходног научног звања (донетој 11.02.2020. године), др Станко Николић је објавио 10 радова у међународним часописима са ISI листе и 23 саопштења на међународним конференцијама, од којих су 7 у категорији М21а, 1 у категорији М21, 1 у категорији М22, 1 у категорији М23, 4 у категорији М32 и 19 у категорији М34.

Као пет најзначајнијих радова кандидата могу се узети:

1. **Stanko N. Nikolić**, Sarah Alwashahi, Omar A. Ashour, Siu A. Chin, Najdan B. Aleksić, Milivoj R. Belić: *"Multi-elliptic rogue wave clusters of the nonlinear Schrödinger equation on different backgrounds"*. Nonlinear Dynamics **108**, 479 (2022). Категорија часописа М21а.
2. Milivoj R. Belić, **Stanko N. Nikolić**, Omar A. Ashour, Najdan B. Aleksić: *"On different aspects of the optical rogue waves nature"*. Nonlinear Dynamics **108**, 1655 (2022). Категорија часописа М21а.

3. Sarah Alwashahi, Najdan B. Aleksić, Milivoj R. Belić, **Stanko N. Nikolić**: "*Kuznetsov–Ma rogue wave clusters of the nonlinear Schrödinger equation*". Nonlinear Dynamics **111**, 12495 (2023). Категорија часописа M21a.

4. **Stanko N. Nikolić**, Sho Oasa, Aleksandar J. Krmpot, Lars Terenius, Milivoj R. Belić, Rudolf Rigler, Vladana Vukojević: "*Mapping the direction of nucleocytoplasmic transport of glucocorticoid receptor (GR) in live cells using two-foci cross-correlation in massively parallel Fluorescence Correlation Spectroscopy (mpFCS)*". Analytical Chemistry **95**, 15171 (2023). Категорија часописа M21a.

5. **Stanko N. Nikolić**, Najdan B. Aleksić, Milivoj R. Belić: "*Akhmediev and Kuznetsov–Ma rogue wave clusters of the higher-order nonlinear Schrödinger equation*". Optical and Quantum Electronics **56**, 1182 (2024). Категорија часописа M22.

У првом раду су анализирани кластери мулти-елиптичних таласа велике амплитуде код нелинеарне Шредингерове једначине састављени од Ахмедијевих бридера. Ове специфичне структуре се добијају на позадини са константним (равномерним, равним) интензитетом коришћењем Дарбуове трансформације која служи за израчунавање аналитичких решења НЛШЈ под различитим условима. Посебно је решаван проблем сопствених вредности Лексовог пара реда n у којем су првих m еволуционих помераја међусобно једнаки и ненулти, док имагинарни делови сопствених вредности теже јединици са доње стране. Показано је да се Ахмедијев бридер реда $n - 2m$ појављује у координатном почетку (x, t) равни и може се сматрати централним максимумом таквог кластера. Закључено је да је уски врх велике амплитуде, са карактеристичном расподелом интензитета у његовој близини, окружен са m елипси које се састоје од Ахмедијевих бридера првог реда. Број максимума на свакој елипси одређен је њеним индексом и укупним редом решења. Оваква структура се понавља дуж трансверзалне t -осе па је коначно решење t -периодично. Пошто изненадни таласи у природи обично настају на таласастој позадини, коришћена је модификована Дарбуова трансформација за изградњу таквих решења на Јакобијевој елиптичној дноидалној позадини. Анализирана је и вертикална полуоса свих елиписа у кластеру као функција апсолутног еволуционог помераја. Показано је да се радијална симетрија кластера у (x, t) равни нарушава када се вредност помераја повећа изнад одређеног прага. **Кандидат је у овом раду осмислио тему истраживања увидевши да се систематично генерисање описаних решења не може пронаћи у постојећој литератури. Написао је компјутерске програме на језику C++ за израчунавање комплексне функције произвољног реда у Дарбуовој шеми која задовољава НЛШЈ на равној и Јакобијевој елиптичној позадини. Улаз у програм су n комплексних својствених вредности и m реалних еволуционих помераја. Написао је и програме који у једној петљи аутоматски повећавају еволуциони померај у малим корацима и израчунавају мулти-елиптични кластер. Др Николић је потом развио алгоритам који анализира велике полуосе окружујућих елипси и одређује њихове димензије у функцији еволуционог помераја. Заједно са коауторима је извршавао прорачуне, вршио селекцију свих података и генерисао графичке приказе изабраних решења. Такође, учествовао је у свим фазама писања рада.**

У другом раду, кандидат је проучавао фундаментална питања о настанку и природи веома изражених и уских максимума интензитета у системима које се моделују нелинеарном Шредингеровом једначином. Већ је објашњено да су због својих јединствених карактеристика ови циновски таласа нелинеарни јер су узроковани модулационом нестабилношћу. У раду је

показано да су они детерминистички пошто у природи и нумеричким симулацијама долази до хомоклиничког хаоса који спада у детерминистичке феномене. Јасно је назначено да су физички пошто су примећени у природним и експерименталним системима. Закључено је и да недовољно прецизан одабир корака интеграције као и умножавање нумеричких грешака могу генерисати лажне циновске таласе који се зато могу погрешно сматрати линеарним, случајним и нумеричким појавама. Управо због ове потенцијалне двосмислености, Др Николић је пуштао бројне нумеричке симулације користећи сплит-степ методу за временску интеграцију код нелинеарног члана НЛШЈ и брзу Фуријеову трансформацију за решавање линеарног дела једначине. Варирао је број итерација у једном временском кораку као и сам временски корак како би осигурао да су нумерички резултати конзистентни и независни од нумеричких алгоритама и параметара. Такође, развио је посебне софтверске модуле за статистичку анализу нумеричких решења. У питању је било пребројавање максимума интензитета у комплетној динамичкој еволуцији и исцртавање хистограма са вероватноћом појављивања оштрих и јаких врхова у функцији интензитета. Кандидат је направио две групе почетних услова: у првој су били низови бројева егзактно одређени аналитичким решењима из Дарбуове трансформације, док су у другој били случајни бројеви (бели шум). Др Николић је у програмима уградио модул за "препознавање" циновских таласа из максимума интензитета по две дефиниције. У првој, циновски талас је онај врх који има већу амплитуду од Перегриновог солитона, односно интензитет већи од 9. Друга је статистичка дефиниција по којој се сваки максимум већи од одређеног прага сматра циновским таласом. Др Николић је праг интензитета одредио према усвојеном договору из научне литературе: сви максимуми интензитета се преброје и онда је праг једнак двострукој средњој вредности интензитета из последње трећине најјачих врхова. На свим графицима, др Николић је зато исцртао праве које раздвајају обичне врхове од циновских таласа према наведене две дефиниције. Кандидат је утврдио да се у симулацијама из белог шума добијају милиони врхова интензитета и међу њима на хиљаде циновских таласа. Показао је и да се реп у расподели вероватноће заравњује на највећим интензитетима, као и да се цео хистограм може добро фитовати опадајућом експоненцијалном функцијом. Заједно са коауторима, др Николић је учествовао у свим фазама писања рада.

У трећем раду су анализирани кластери мулти-елиптичних таласа велике амплитуде код нелинеарне Шредингерове једначине састављени од Кузњетсов-Ма солитона. Ове структуре се добијају на позадини са константним (равномерним, равним) интензитетом коришћењем Дарбуове трансформације. Посебно је решаван проблем сопствених вредности Лексовог пара реда n у којем су првих m еволуционих помераја међусобно једнаки, ненулти и зависни од сопствених вредности, док су имагинарни делови свих сопствених вредности већи од јединице. Показано је да се Кузњетсов-Ма солитон реда $n - 2m$ појављује у координатном почетку (x, t) равни и може се сматрати централним максимумом таквог кластера. Закључено је да је уски врх велике амплитуде, са карактеристичном расподелом интензитета у његовој близини, окружен са m елипси које се састоје од Куњетсов-Ма солитона првог реда. Утврђено је да је број максимума на спољној елипси једнак $2n - 1$, а да се на свакој следећој елипси према центру налазе 4 КМС1 мање. Оваква форма се понавља дуж еволуционе x -осе па је коначно решење x -периодично. За разлику од кластера описаних у првом значајном раду кандидата, у овом случају је било могуће израчунавати и другу врсту кластера са дугачким траговима који полазе од централног циновског таласа и сачињени су од КМС1. Ова решења се добијају када су имагинарни делови својствених вредности близу претходно дефинисане офсет вредности веће од један. Др Николић је у овом раду предложио правац истраживања увидевши да се

систематично генерисање различитих кластера циновских таласа сачињених од Кузњетсов-Ма солитона не може пронаћи у постојећој литератури. Написао је компјутерске програме на језику C++ за израчунавање комплексне функције произвољног реда у Дарбуовој шеми на равној позадини са имагинарним деловима својствених вредности већим од један. Као и у првом раду, улаз у програм су n комплексних својствених вредности и m реалних еволуционих помераја. Даље, написао је додатне програме који рачунају нови тип кластера са дугачким траговима на Јакобијевој елиптичној позадини. Показао је да се оба типа кластера не могу поуздано генерисати нумеричком интеграцијом из почетних услова пошто, за разлику од кластера од Ахмедијевих бридера, не постоји трансверзална већ еволуциона периодичност. Заједно са коауторима је извршавао прорачуне, вршио селекцију података и израђивао графичке приказе изабраних решења. Учествовао је у свим фазама писања рада.

У четвртном раду су представљена вишегодишња истраживања које др Станко Николић спроводи са Проф. Владаном Вукојевић са Каролинска института у Шведској у пољу масивно паралелне флуоресцентне корелационе спектроскопије. Одређивање важних динамичких особина биолошких узорака се своди на њихово озрачивање матрицом од 32×32 или 64×32 ласерских снопова и мерење сигнала из сваког запреминског фокалног елемента. Фотонски одброји потичу од флуоресцентних молекула унутар узорка и мере се специјалном камером са аваланш фотодиодама у матричној конфигурацији и осетљивошћу детекције од једног фотона. Др Николић је у овом научном раду остварио свој допринос радом на развоју компјутерских програма за управљање камером, брзом израчунавању аутокорелационих и кроскорелационих функција и свеобухватном анализом великог скупа података који се генерише у само једном мерењу. Да би све рачунарске операције биле завршене у разумном времену, кандидат је користио NVIDIA графичке процесоре у оквиру CUDA софтверске технологије. У циљу бољег разумевања експерименталних резултата, др Николић је теоријски симулирао разне облике кретања флуоресцентних честица променљивих димензија и генерисао сирове фотонске одброје. Даље, рачунао је аутокорелационе функције (једна у свакој конфокалној запремини) и кроскорелационе криве између фотонских одброја добијених у нумеричкој симулацији из две произвољне фокалне запремине a и b које се налазе на познатој удаљености у фокалној равни. Кандидат је показао да се кроскорелациона крива одликује јасним максимумом уколико правац и смер кретања флуорофоре или флуоресцентног молекула лежи на дужи која спаја a и b . Даље, показао је да положај пика одговара времену прелета флуоресцентне честице из a у b , док његова ширина може да се користи као показатељ трајања временског транспорта појединачно кроз прву и другу фокалну запремину. Др Николић је ове важне закључке применио на конкретну експерименталну поставку увидеши да се из скупа кроскорелационих кривих могу одредити пројекције вектора брзине флуоресцентних честица на раван у којој лежи екситациона матрица (фокална раван), а која се налази у узорку. У сарадњи са коауторима студије, кандидат је учествовао у мерењима флуоресценције из обележеног глукокортикоидног рецептора у живим ћелијама. Софтверском анализом ауто и кроскорелационих функција рачунао је векторе брзине поменутог рецептора при кретању из цитоплазме у једру и из једра у цитоплазму. Додатни допринос Др Николића су и други софтверски алати који служе за одређивање концентрације флуоресцентних молекула и њиховог времена дифузије и фитовање аутокорелационих функција на четири основна модела дифузије слободних честица. Кандидат је радио на одабиру репрезентативних података и израђивао графике и слике. Учествовао је у свим фазама писања рада.

Пети рад је настао као покушај уопштавања и обједињавања резултата из првог и трећег научног чланка на проширену породицу једначина изведених из нелинеарне Шредингерове једначине. Конкретно, разматрани су мулти-елиптични кластери сачињени од Ахмедијевих бридера и Кузњетсов-Ма солитона и кластери циновских таласа са дугачким траговима код квинтичне нелинеарне Шредингерове једначине. Овај усложњени математички израз садржи додатне нелинеарне чланове и дисперзије трећег, четвртог и петог реда дуж трансверзалне осе, уз три реална параметра (алфа, гама и делта) који множе одговарајуће операторе. Као и код НЛШЈ, мулти-елиптични кластери изграђени од АБ/КМС задржали су своје особине: периодичност дуж трансверзалне/еволюционе осе, циновске таласе у центру кластера реда $n - 2m$, m концентричних елипси које садрже $2n - 1$ АБ1/КМС1 на спољној и четири решења првог реда мање на сваком следећем прстену према центру. Такође, утврђено је да се могу формирати и кластери са израженим и оштрим врховима интензитета у координатном почетку од којих се дуж оба смера еволюционе осе пружају дугачки трагови са КМС1. Др Николић је у овом раду написао компјутерске програме на језику C++ за израчунавање аналитичких решења квинтичне једначине у проширеној Дарбуовој шеми. Испитивао је утицај параметра алфа, гама и делта на расподелу интензитета код оба типа кластера. Закључио је да Хиротин оператор врши закошење карактеристичног облика решења према трансверзалној оси тако да смер и угао нагиба зависе од знака и интензитета параметра алфа. Утврдио је да је дејство квинтичног оператора слично, само што је закошење још израженије, и да долази и до истезања кластера дуж правца нагиба. Ови ефекти су израженији што је апсолутна вредност параметра делта већа. Такође, увидео је да ЛПД оператор помножен параметром делта не прави нагиб целе структуре већ сабија или истеже расподелу интензитета дуж еволюционе осе. Кандидат је допунио претходно написане програме за НЛШЈ тако да рачунају поменуте кластере на Јакобијевој елиптичној позадини за квинтичну једначину. Заједно са коауторима је вршио селекцију података и израђивао графичке приказе изабраних решења. Учествовао је у свим фазама писања рада.

3.1.2 Позитивна цитираност научних радова кандидата

Према бази података *Web of Science*, на дан 20.02.2025. године, радови кандидата су цитирани укупно 258 пута, односно 193 пута не рачунајући самоцитате. Према истој бази, Хиршов индекс кандидата је 11.

Према *Google scholar* бази, на дан 20.02.2025. године, укупан број цитата кандидатских радова је 371, Хиршов индекс је 12, док је i10 индекс 13.

Према *SCOPUS* бази, на дан 20.02.2025. године, укупан број цитата кандидатских радова је 270, док је број цитата без аутоцитата 207. Према истој бази кандидат Хиршов индекс је 11.

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 категоријама M21a, M21, M22, M23, M32, M33 и M34 кандидат је објавио радове (или предавања или саопштења) у следећим часописима (или на међународним конференцијама), при чему се подвучени бројеви односе на радове објављене након одлуке Научног већа о предлогу за стицање претходног научног звања:

- $\underline{2}+1$ рад у *Analytical Chemistry* (ИФ=8.008 за два рада, ИФ=6.350 за један рад),

- 4+3 рада у *Nonlinear Dynamics* (ИФ=5.741 за четири рада, ИФ=4.604 за два рада, ИФ=4.339 за један рад),
- 1 рад у *International Journal of Biological Macromolecules* (ИФ=8.025),
- 1 рад у *Scientific Reports* (ИФ=4.997),
- 1 рад у *Optical and Quantum Electronics* (ИФ=3.0),
- 1 рад у *Romanian Journal of Physics* (ИФ=1.662),
- 1 рад у *Journal of Selected Topics in Quantum Electronics* (ИФ=4.078),
- 1 рад у *Physical Review E* (ИФ=2.366),
- 1 рад у *Physics Letters A* (ИФ=1.772),
- 1 рад у *Mechanisms of Development* (ИФ=2.426),
- 1 рад у *Advanced Microscopy Techniques IV; and Neuropotonics II* (без ИФ),
- 3 рада у *Journal of Physics B: Atomic, Molecular and Optical Physics* (ИФ=1.975 за један рад, ИФ=2.031 за два рада),
- 3 рада у *Physica Scripta* (ИФ=1.296 за два рада, ИФ=1.204 за један рад),
- 1 рад у *Review of Scientific Instruments* (ИФ=1.602 за један рад),
- 2 рада у *Physical Review A* (ИФ=2.878 за један рад, ИФ=2.908 за један рад),
- 1 рад у *Acta Physica Polonica A* (ИФ=0.433 за један рад),
- 1 рад у *Optics Express* (ИФ=3.88 за један рад),
- 1 саопштење на *Twenty Third International Conference and School on Quantum Electronics: "Laser Physics and Applications" - ICSQE 2024* (без ИФ),
- 1 предавање на *17th Photonics Workshop 2024* (без ИФ),
- 1 саопштење на *2nd International Conference on Mathematical Modelling in Mechanics and Engineering 2024* (без ИФ),
- 1 саопштење на *XI-th International Conference "SOLITONS, COLLAPSES AND TURBULENCE: Achievements, Developments and Perspectives" 2024* (без ИФ),
- 2 саопштења на *PHOTONICA 2023 - IX International School and Conference on Photonics 2023* (без ИФ),
- 1 саопштење на *PIERS2023 - Photonics & Electromagnetics Research Symposium* (без ИФ),
- 1 саопштење на *European Molecular Imaging Meeting: 18th Annual Meeting of the European Society for Molecular Imaging: EMIM 2023* (без ИФ),
- 1 саопштење на *16th Photonics Workshop 2023* (без ИФ),
- 1 предавање на *The Third International Nonlinear Dynamics Conference 2023* (без ИФ),
- 1 предавање на *3rd Conference On Nonlinearity 2023* (без ИФ),
- 3 саопштења на *The 11th Conference of the Balkan Physical Union (BPU11) 2022* (без ИФ),
- 3 саопштења на *15th Photonics Workshop 2022* (без ИФ),
- 1 саопштење на *16th International Conference on Fundamental and Applied Aspects of Physical Chemistry 2022* (без ИФ),
- 1 саопштење на *17th Conference on Methods and Applications in Fluorescence 2022* (без ИФ),
- 1 предавање на *2nd Conference On Nonlinearity 2021* (без ИФ),
- 3 саопштења на *PHOTONICA 2021 - VIII International School and Conference on Photonics 2021* (без ИФ),
- 1 саопштење у *64th Annual Meeting of the Biophysical-Society 2020* (без ИФ),
- 1 предавање на *First International Nonlinear Dynamics Conference 2019* (без ИФ),
- 1 предавање + 1 саопштење на *Photonica2015 Conference* (без ИФ),

- 1 рад са *16th International School on Quantum Electronics: Laser Physics and Applications (Proc. of SPIE)* (без ИФ),
- 1 саопштење на *Photonica2019 Conference* (без ИФ),
- 2 саопштења на *PIERS2019 in Rome* (без ИФ),
- 2 саопштења на *Photonica2017 Conference* (без ИФ),
- 1 саопштење на *Photonica2013 Conference* (без ИФ),
- 1 саопштење на *International Conference on the Physics of Optical Materials and Devices Conference 2012* (без ИФ),
- 1 саопштење на *Photonica2011 Conference* (без ИФ),
- 2 саопштења на *EGAS2011 Conference* (без ИФ),
- 2 саопштења са *16th International School on Quantum Electronics: Laser Physics and Applications* (без ИФ),
- 2 саопштења на *ECAMP10 Conference* (без ИФ),
- 1 саопштење на *Photonica2009 Conference* (без ИФ),
- 1 саопштење са *15th International School on Quantum Electronics: Laser Physics and Applications* (без ИФ).

Укупан фактор утицаја радова кандидата је 108.75, а у периоду након одлуке Научног већа о предлогу за стицање претходног научног звања тај фактор је 56.66. Часописи у којима је кандидат објављивао су по свом угледу веома цењени у областима којима припадају. Међу њима се посебно истичу: *Analytical Chemistry, Nonlinear Dynamics, International Journal of Biological Macromolecules, Scientific Reports, Optical and Quantum Electronics, Romanian Journal of Physics, Optics Express, Physical Review A, Physical Review E, Journal of Physics B: Atomic, Molecular and Optical Physics* и *Review of Scientific Instruments*.

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 научно-истраживачких 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	56.66	86	13.332
Усредњено по чланку	5.666	8.6	1.333
Усредњено по аутору	10.145	16.116	2.556

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

Кандидат је водећи аутор 33 рада, други аутор 10 радова, трећи аутор 15 радова, четврти аутор 9 радова, пети аутор 1 рада, шести аутор 3 рада, седми аутор 1 рада и девети аутор 2 рада, од укупно 74 рада. На радовима који су објављени у периоду након одлуке Научног већа о предлогу за стицање претходног звања, кандидат је водећи аутор 14 радова, други аутор 2 рада, трећи аутор 5 радова, четврти аутор 5 радова, пети аутор 1 рада, шести аутор 3 рада, седми аутор 1 рада и девети аутор 2 рада, од укупно 33 рада. У експериментално-теоријским радовима где кандидат није први аутор, кандидат је имао врло важну улогу у свим сегментима рада

(експерименталним мерењима, реализацији прорачуна и теоријским деловима рада, као и поређењу са експериментом). Таквих радова је 33 од почетка научне каријере, односно 12 након одлуке Научног већа о предлогу за стицање претходног звања.

При изради свих публикација, др Станко Николић је учествовао у конкретној формулацији, дискусији и решавању проблема. Код експерименталних радова, учествовао је у поставци експеримента и процесу мерења. Код теоријских радова, радио је на аналитичком решавању једначина, развоју алгоритама за нумеричку симулацију и писао је програме за њихово решавање. У свим радовима, учествовао је у осмишљавању праваца истраживања, анализи добијених резултата, креирању графика и слика и писању текста.

Током израде докторске дисертације у Центру за фотонику, кандидат је дао кључан допринос у разумевању кохерентних ефеката у резонантној интеракцији ласерског зрачења са атомском паром рубидијума. Учествовао је у реализацији различитих квантно-оптичких ефеката у лабораторији, као што су електромагнетно индукована транспаренција (у стационарном и нестационарном режиму), спора светлост и меморисање светлосних импулса у атомској средини.

Др Николић је био учесник пројекта NEMMAGINERO у оквиру позива PROMIS Фонда за науку Републике Србије. Пројекат је почео 01.09.2020. и трајао је 2 године. Пројектни послови кандидата су били везани за развој алгоритама и софтвера за контролу експеримента и анализу података из нелинеарне ласерске скенирајуће микроскопије и флуоресцентне корелационе спектроскопије у Институту за физику у Београду.

Кандидат је био учесник два завршена SCOPES пројекта. У првој је сарађивао са професором Антоаном Вајсом са Универзитета у Фрибуру из Швајцарске и радио је на писању и постављању студентских вежби из ласерске и атомске физике. У другом пројекту, сарађивао је са професором Гаетаном Милетијем са Универзитета у Нојшателу у Швајцарској на проблемима Ремзијеве спектроскопије у рубидијумским ћелијама и њихове примене у реализацији атомских сатова.

У сарадњи са професорком Владаном Вукојевић са Каролинска института у Шведској, кандидат се већ годинама бави проблемима флуоресцентне корелационе спектроскопије и мерења времена живота флуоресцентних обележивача. Учествовао је у планирању експеримента, развоју софтвера за његову контролу и обраду података, као и у анализи свих експерименталних резултата. Дугогодишњи је учесник ЕРАСМУС+ пројекта који омогућава путовања у Шведску и вишенедељне научне боравке.

Прилог (стр. 1): писмо професорке Владане Вукојевић.

Током постдокторског усавршавања на Texas A&M Универзитету у Катару, у групи професора Миливоја Белића, др Николић је проширио поље свог рада у домен теоријске нелинеарне оптике. Радио је на горућим питањима математичке физике, као што су проналажење егзактних и нумеричких решења нелинеарне Шредингерове једначине и фамилије једначина које се добијају њеним уопштавањем. Ради и на проблемима модулационе нестабилности поменутих решења и начинима да се она пригуши. Анализирао је порекло и најважније особине изненадних таласа велике амплитуде на равним и елиптичним позадинама. Пронашао је и нове класе решења кубичне и проширене нелинеарне Шредингерове једначине у

форми кластера циновских таласа који су мулти-елиптични или су окарактерисани дугачким траговима са врховима првог реда.

Прилог (стр. 2): писмо професора Миливоја Белића.

Др Николић је био руководилац билатералног пројекта са Белорусијом за пројектни период 2020-2021. Пројекат је са белоруске стране водила професорка Олга Федотова из Научно-практичног центра националне академије наука за биоресурсе. Тема пројекта је била нелинеарна пропагација ласерског зрачења у наносуспензијама.

Важно је напоменути да горе наведене и описане међународне сарадње и пројекти са колегама из Шведске и Катара и даље трају и да је неколико радова у фази припреме.

3.1.5 Награде

Др Николић је добио награду Задужбине Ђоке Влајковића и Универзитета у Београду за најбољи научни рад младих научних радника Универзитета у Београду за 2021. годину. Рад који је био награђен је *Talbot carpets by rogue waves of extended nonlinear Schrödinger equation*.
Прилог (стр. 3): фотокопија награде.

Кандидат је добио награду фонда Рајко и Мај Ђермановић 2014. године коју додељује Шведска краљевска академија наука.

Прилог (стр. 4): Званично обавештење електронском поштом.

Др Николић је добио студентску награду Института за физику у Београду за најбољу докторску дисертацију за 2015. годину.

Прилог (стр. 5-9): Извештај жирија за доделу Годишње награде за научни рад и Студентске награде Института за физику за 2015. годину.

3.2 Ангажованост у формирању научних кадрова

Др Станко Николић је био ментор студенткињи Сари Алвашахи на њеним докторским студијама на Физичком факултету Универзитета у Београду. Сара је радила теоријска истраживања из области нелинеарне оптике и динамике. Наслов њене докторске дисертације је *"Различити кластери изненадних таласа велике амплитуде код нелинеарне Шредингерове једначине"*. Сара Алвашахи је одбранила своју докторску дисертацију 21.02.2025. године и стекла звање доктора физичких наука. Са Саром Алвашахи др Станко Николић има два рада у међународним научним часописима и три саопштења са међународних научних конференција.
Прилог (стр. 10-14): насловна страна докторске дисертације Саре Алвашахи на енглеском и српском језику, страница из доктората где су написана имена ментора и чланова комисије за одбрану, страница из захвалнице доктората у којој Сара потврђује менторство др Николића и потврда Физичког факултета о успешно одбрањеној докторској дисертацији кандидаткиње.

За време постдокторског боравка на Texas A&M Универзитету у Катару, кандидат је активно учествовао у настави на курсу Електромагнетизам и оптика, где је радио као сарадник у настави (*teaching assistant*) професора Хјаншула Наа. Задужења др Николића су била: одржавање рачунских вежби као прилог професоровим предавањима; одржавање, надзор и оцењивање експерименталних вежби студената у оквиру истог курса; прегледање и оцењивање домаћих задатака, колоквијума и завршног испита.

Прилог (стр. 15): писмо проф. Хјаншула Наа.

Др Николић је радио као професор физике у Математичкој гимназији у Београду у школским годинама 2012/2013, 2014/2015, 2015/2016 и 2019/2020 са нормом од 30 % радног времена. Кандидат је преносио своје знање и искуство у физици надареним ученицима ове престижне школе. Био је и ментор за неколико матурских радова у којима су ученици у кратком писали о научним темама којима се кандидат бави.

Прилог (стр. 16-17): делови матурског рада Милана Крстајића (тада ученика четвртог разреда).

3.3 Нормирање броја коауторских радова, патената и техничких решења

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 101.5 на 92.325, односно и после нормирања кандидат има већи број бодова од укупно захтеваног 70. У категорији оцењивања која обухвата радове из групе M10 + M20 + M31 + M32 + M33 + M41 + M42 + M90 број бодова се мења са 92 на 83.726, односно и после нормирања кандидат има већи број бодова од укупно захтеваног 50. У категорији оцењивања која обухвата радове из групе M11 + M12 + M21 + M22 + M23 број бодова се мења са 86 на 77.726, односно и после нормирања кандидат има већи број бодова од укупно захтеваног 35. Свакако треба узети у обзир да је у појединим експерименталним радовима због комплексности, обима и цене истраживања укључено три или више група из различитих институција што захтева колаборацију са већим бројем аутора. Ово је нарочито изражено у радовима које је кандидат публиковао са сарадницима из Шведске. У питању је била сарадња физичара, биолога, физико-хемикара и софтверских инжењера из неколико различитих институција.

3.4 Руковођење пројектима, потпројектима и пројектним задацима

Др Станко Николић је руководио двогодишњим **билатералним пројектом** са Белорусијом под називом „*Нелинеарна пропагација ласерског зрачења у наносуспензијама*“, током 2020-2021. године. Пројекат је био званично одобрен од стране Министарства просвете, науке и технолошког развоја. Резултат овог пројекта су два саопштења са међународних конференција.

Прилог (стр. 18-19): званична ранг листа одобрених билатералних пројеката са Белорусијом у периоду 2020-2021, објављена на сајту министарства. Интернет адреса: http://www.mpn.gov.rs/wp-content/uploads/2019/12/Spisak-projekata_-2-12-2019.pdf и писмо Министра просвете, науке и технолошког развоја у којем се др Николић обавештава да је његов билатерални пројекат званично одобрен.

Др Николић је од 2016. до 2019. године руководио **пројектним задатком** *"Развој модела и експерименталне поставке за успоравање и заустављање пробног ласерског импулса у термалној пари рубидијума"*. Задатак је имао неколико фаза током трогодишњег трајања и реализован је према плану. Теоријски и експериментални резултати су публиковани у међународним часописима. Овај пројектни задатак је био део пројекта **III45016** Министарства просвете, науке и технолошког развоја: *"Генерисање и карактеризација нанофотонских функционалних структура и примена у биомедицини и информатици"*.

Прилог (стр. 20): писмо руководиоца пројекта III45016 академика Бранислава Јеленковића.

Др Станко Николић је био учесник пројекта HEMMAGINERO у оквиру позива PROMIS Фонда за Науку Републике Србије, у периоду од 01.09.2020. до 31.08.2022. године. На

званичној интернет страници пројекта HEMMAGINERO, <https://biophyslab.rs/hemmagero.html>, излистани су најважнији подаци о пројекту и представљен је пројектни тим у којем се налази и Др Николић. **Пројектни задатак** кандидата је био развој експеримента и софтвера за методу флуоресцентне корелационе спектроскопије у Лабораторији за биофизику у Институту за физику у Београду.

Прилог (стр. 21-22): Прве две странице штампане верзије званичне интернет странице пројекта HEMMAGINERO.

Кандидат је био члан пројектног тима у области биомедицинских и природних наука у циљу доприноса развоју науке у Србији, у оквиру програма "Покрени се за науку".

Прилог (стр. 23): потврда (диплома) да је пројекат одобрен за финансирање.

Кандидат је био учесник на пројектима министарства ОИ171038: „Холографске методе генерисања специфичних таласних фронтова за ефикасну контролу квантних кохерентних ефеката у интеракцији атома и ласера“ и III45016: "Генерисање и карактеризација нанофотонских функционалних структура и примена у биомедицини и информатици".

3.5 Активност у научним и научно-стручним друштвима

Др Станко Николић је члан научног одбора међународне конференције *18th Photonics Workshop: Kopaonik, Serbia, March 16 – 20, 2025*. На овој конференцији се презентују радови из свих области фотонице.

Прилог (стр. 24-27): Штампана верзија интернет странице конференције на којој је приказан научни одбор са кандидатом на листи:

<http://www.photonicsworkshop.ipb.ac.rs/18/index.php/committee>.

Др Станко Николић је био члан научног одбора међународне конференције *11th International Conference of the Balkan Physical Union, 28 August – 1 September 2022* у оквиру секције 7. *Оптика и фотоника*.

Прилог (стр. 28-34): Странице из књиге апстраката у којој је кандидат наведен као члан међународног научног одбора.

Др Станко Николић је члан организационог одбора међународне конференције *Photonica2025 - X International School and Conference on Photonics* која ће се одржати од 25. до 29. августа 2025. године у Београду. Кандидат ће бити ангажован као уређивач веб-сајта конференције и администратор базе података. Др Николић је био члан организационог одбора и на претходне две конференције из исте серије: *Photonica2021 - VIII International School and Conference on Photonics, 23 - 27 August 2021, Belgrade, Serbia* и *Photonica2017 - VI International School and Conference on Photonics, 28 August - 1 September 2017, Belgrade, Serbia*. Активно је учествовао у вишемесечном припремању ових догађаја као уређивач интернет презентације обе конференције. Кандидат је дизајнирао, програмирао и одржавао веб-сајт и базу података. Био је у сталном контакту са другим члановима организационог одбора (са којима је учествовао у сређивању књиге апстраката и другим активностима), као и са учесницима конференције.

Прилог (стр. 35-44): Штампана верзија званичне интернет странице научног и организационог одбора конференције *Photonica2025*, <http://www.photonica.ac.rs/committees.php>, у којој се наводи име кандидата као члана организационог одбора; странице из књига апстраката две конференције *Photonica2017* и *Photonica2021* на којима се види име кандидата као члана организационог одбора.

Кандидат је члан Оптичког Друштва Србије (ОДС).

Др Николић је више пута током своје каријере био рецензент за међународне научне часописе. Након избора у претходно звање кандидат је рецензирао 10 научних радова у часописима: *Review of Scientific Instruments*, *Optical and Quantum Electronics*, *Communication Physics*, *Fractal Fract*, *Nonlinear Dynamics* и *SoftwareX*.

Прилог (стр. 45-55): писма уредништва часописа кандидату.

3.6 Утицајност научних резултата

Погледати делове **2. Преглед научне активности**, **5.1.1 Научни ниво и значај резултата**, **утицајност научних радова** и **5.1.2 Позитивна цитираност научних радова кандидата**. Комплетан списак радова је дат у одељку 7.

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 у Београду о предлогу за стицање претходног научног звања урађени су у сарадњи са колегама из земље и иностранства. Др Николић је имао кључан допринос у публикацијама на којима је први аутор (14 радова), други аутор (2 рада) и трећи аутор (5 радова). Током израде свих радова, кандидат је битно утицао на сам ток истраживања, радио на припреми експеримента и мерењима, на развоју и извођењу нумеричких симулација, анализи релевантних података и дискусији, 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. За додатне информације о конкретном доприносу кандидата погледати делове **2. Преглед научне активности**, **5.1.1 Научни ниво и значај резултата**, **утицајност научних радова** и **5.1.4 Степен самосталности и степен учешћа у реализацији радова у научним центрима у земљи и иностранству**.

3.8 Уводна предавања на конференцијама, друга предавања и активности

1) У периоду након одлуке Научног већа о предлогу за стицање претходног звања, кандидат је одржао следеће предавање по позиву на међународном скупу *17th Photonics Workshop* које је штампано у изводу (катеорија M32):

- **Stanko N. Nikolić**, Sho Oasa, Aleksandar J. Krmpot, Lars Terenius, Milivoj R. Belić, Vladana Vukojević: *Biomedical Applications of two-Foci Cross-Correlation technique in Massively Parallel Fluorescence Correlation Spectroscopy*, 17th Photonics Workshop, Kopaonik, Serbia, March 10-14, 2024

Прилог (стр. 56-60): позивно писмо организатора, апстракт предавања и потврда о одржаном предавању.

2) У периоду након одлуке Научног већа о предлогу за стицање претходног звања, кандидат је одржао следеће предавање по позиву на међународном скупу *3rd Conference on Nonlinearity* које је штампано у изводу (катеорија M32):

- **Stanko N. Nikolić:** *Kuznetsov–Ma rogue wave clusters of the nonlinear Schrödinger equation*, 3rd Conference on Nonlinearity, Belgrade, Serbia, September 4-8, 2023

Прилог (стр. 61-63): позивно писмо организатора, апстракт предавања и потврда о одржаном предавању.

3) У периоду након одлуке Научног већа о предлогу за стицање претходног звања, кандидат је одржао следеће предавање на међународном скупу *The Third International Nonlinear Dynamics Conference (NODYCON 2023)*, које је штампано у изводу (катеорија M32):

- **Stanko N. Nikolić, Najdan B. Aleksić, Omar A. Ashour, Milivoj R. Belić:** *The nature and formation of rogue waves for nonlinear Schrödinger equation*, *The Third International Nonlinear Dynamics Conference (NODYCON 2023)*, Rome, Italy, June 18-22, 2023

Прилог (стр. 64-66): позивно писмо организатора, апстракт предавања и потврда о одржаном предавању.

4) У периоду након одлуке Научног већа о предлогу за стицање претходног звања, кандидат је одржао следеће позивно предавање на међународном скупу *2nd Conference on Nonlinearity*, које је штампано у изводу (катеорија M32):

- **Stanko N. Nikolić:** *The nature of optical rogue waves*, 2nd Conference on Nonlinearity, Belgrade, Serbia, October 18-22, 2021

Прилог (стр. 67-69): позивно писмо организатора, апстракт предавања и потврда о одржаном предавању.

4. ЕЛЕМЕНТИ ЗА КВАНТИТАТИВНУ ОЦЕНУ НАУЧНОГ ДОПРИНОСА

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

Категорија	М бодова по раду	Број радова	Укупно М бодова	Нормирани број М бодова
M21a	10	7	70	61.726
M21	8	1	8	8.000
M22	5	1	5	5.000
M23	3	1	3	3.000
M32	1.5	4	6	6.000
M34	0.5	19	9.5	8.599

Поређење са минималним квантитативним условима за избор у звање научни саветник:

Минимални број М бодова		Остварено, М бодова без нормирања	Остварено, нормирани број М бодова
Укупно	70	101.5	92.325
M10+M20+M31+M32+M33+M41+M42+M90	50	92	83.726
M11+M12+M21+M22+M23	35	86	77.726

Према бази података *Web of Science*, на дан 20. фебруара 2025. године, радови кандидата су цитирани укупно 258 пута, односно 193 пута не рачунајући самоцитате. Према истој бази, Хиршов индекс кандидата је 11.

5. Закључак и предлог

Имајући у виду квалитет научно-истраживачког рада др Станка Николића, његово значајно искуство у међународној научној сарадњи и постдокторско усавршавање на престижном америчком универзитету, мишљења смо да је кандидат достигао високу истраживачку зрелост и научну компетентност. На основу података из извештаја, види се да кандидат испуњава све квантитативне и квалитативне услове за избор у звање научни саветник, прописане Правилником о поступку, начину вредновања и квантитативном исказивању научно-истраживачких резултата истраживача Министарства науке, технолошког развоја и иновација.

Из наведених разлога, задовољство нам је да Научном већу Института за физику у Београду предложимо да донесе одлуку о прихватању предлога за избор др Станка Николића у звање научни саветник.

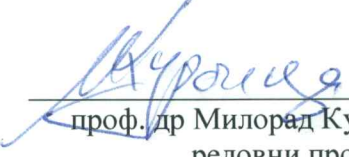
У Београду,

5. III 2025. године.

Чланови комисије


др Александар Крмпот
научни саветник
Институт за физику у Београду


др Александра Стринић
научни саветник
Институт за физику у Београду


проф. др Милорад Кураица
редовни професор
Физички факултет Универзитета у Београду