

РЕЦЕНЗИЯ

на дисертационен труд за придобиване на образователна и научна степен
ДОКТОР
в професионално направление 4.1. Физически науки (Физика на вълновите процеси
(вкл. нелинейна оптика и квантова електроника)

Автор на дисертационния труд: **Мая Иванова Жекова**

Магистър инженер-физик, редовен докторант към катедра Квантова електроника,
Физически факултет, Софийски университет "Св. Кл. Охридски"

Тема на дисертационния труд: *СИНГУЛЯРНА И ФЕМТОСЕКУНДНА ФОТОНИКА*
Създаване на светли структури във фокалната равнина,
използвайки фазови сингулярности

Научен ръководител: проф. дфзн Александър Александров Драйшу,
Физически факултет, Софийски университет „Св. Кл.Охридски“

Рецензент: **доц. д-р Георги Бориславов Хаджихристов (ИФТТ-БАН)**

1. Данни за докторанта и докторантурата

Г-жа Мая Иванова Жекова завършва през 2014 г. висшето си образование във Физическия факултет (ФзФ) на Софийския университет (СУ) „Св. Климент Охридски“ като БАКАЛАВЪР по физика. През периода 2014 – 2016 г. повишава квалификацията си в магистърска програма „Квантова електроника и лазерна техника“, която е в специалността Инженерна физика на ФзФ на СУ. Вече като дипломиран МАГИСТЪР, от 2017 г. е редовен ДОКТОРАНТ в катедра Квантова електроника във ФзФ на СУ, по Научно направление 4.1. „Физически науки“, Научна специалност „Физика на вълновите процеси, вкл. нелинейна оптика и квантова електроника“.

Дисертантката е изпълнила индивидуалния си план и е положила успешно всички докторантски изпити по учебния си план. Атестирана е положително за трите години на докторантурата и е отчислена с право на защита. Предварително обсъждане (предзащита) на дисертационния труд на докторант Мая Иванова Жекова е проведено на разширен катедрен съвет на катедра Квантова електроника (10.XII.2019 г.) в присъствието и на проф. дфзн Любомир Ковачев от Института по електроника (ИЕ-БАН) и на доц. д-р Георги Хаджихристов от Института по физика на твърдото тяло (ИФТТ-БАН). Процедурата за публична защита на дисертационния труд за придобиване на ОНС ДОКТОР е разкрита с решение на Факултетния съвет на ФзФ на СУ на 17.XII.2019 г. (протокол № 10). Няма допуснати нарушения на нормативните разпоредби. Всички процедурни срокове са спазени. Спазени са минималните изисквания според ЗРАС. Научното жури по защитата е утвърдено със заповед РД 38-1/02.01.2020 на ректора на СУ. Първото му заседание е проведено на 09.I.2020 г.

2. Данни за дисертацията

2.1. Тема

Най-общо дефинирано, дисертационният труд на инж.-физик Мая Жекова съвместява експериментално и теоретично научно изследване на методи за подходяща и ефективна промяна на кохерентни светлинни снопове (КОС) – лазерно лъчение, с целево модифициране (разбираме и подобряване) на параметрите им с оглед на практически приложения на така модифицираното лазерно лъчение. В предложената дисертация, ударението в научно-изследователската работа на г-жа М.Жекова е поставено върху изследването на оптични методи за активен контрол на пространствената форма и структура на КОС, чрез вмешателство в самата физическа природа на лазерното лъчение –

оптичната му фаза и нейното кохерентно пространствено разпределение, водещи до желани промени на характеристики на лазерно лъчение, обуславящи разпространението му в пространството на линейни оптични среди. Следователно, още тук трябва да се посочи, че изследванията, включени в дисертационния труд, са с ясна практическа насоченост. Несъмнено, това е много голям негов плюс.

Стратегията за активно въздействие върху КОС е оригинално избрана – то е осъществено с методите на сингулярната кохерентна оптика (СКО), използвайки специални изкуствено генерирани фазови сингулярности, включвани по определен начин в предвидените за обработка КОС.

Заглавието на дисертацията отразява напълно нейната същност и актуалността на обхванатата тематика. Налице е и точно съответствие между заглавието, тематиката и съдържанието на дисертацията. Определено, тя съдържа оригинални и сполучливи експериментални решения, пряко ориентирани към оптимизация на лазерни снопове и потенциални приложения. Работата съответства на проблемите, разработвани в модерната кохерентна оптика & фотоника. Считам, че актуалността на разработваната в дисертационния труд проблематика е безспорна, предвид възможността за практическо приложение на получените резултати в редица области от приложната физика, наука и технология, като, но не само: лазерни технологии, контрол и структуриране на лазерни снопове, оптични комуникации, оптично-индуцирани градиентни оптични вълноводи, оптични пинсети (optical tweezers) за микро- и нано-обекти, квантова информатика, оптичната криптография, и др.

Тематично, представеното научно изследване е в областта на експерименталната физика, лазерната физика и СКО – интересно съчетание на важни области в съвременната физика на вълновите процеси, с огромен потенциал за иновации. В този смисъл, изследванията в дисертацията са актуални и иновативни, което е характерно за такъв бързо развиващ се дял от модерната физика, какъвто е СКО & фотоника. От друга страна, методите за преобразуването на светлинни вълни и импулси чрез СКО в линейни оптични среди са привлекателни за изследване и за лазерно-базирани приложения, а все още не са напълно изучени, което също прави научните резултати в представената дисертация значими.

2.2. Структура и общо описание на дисертационния труд

Представеният в дисертацията материал е значителен, обхваща 109 страници и включва 75 безупречно оформени фигури. Дисертацията се състои от четири части, структурирани в общо 15 глави.

Част I е кратък (2 страници) увод в тематиката, запознаващ читателя с целта на дисертационния труд, основни физически понятия, обектите на изследване, а също и със структурата на дисертацията. Отделено е необходимото внимание и обем точно колкото е нужно за отбелязване на актуалността и значимостта на тематиката и на представените научни изследвания.

Част II има обзорен характер, и същевременно е и *Обща Част*. Съдържа 8 основни глави, представени на 33 страници. Включва и изяснява всички необходими за по-нататъшното изложение физически понятия, термини, теоретични обосновки, уравнения, идеи. В частност, в Глава II.1 достатъчно изчерпателно и ясно е представена актуалността на тематиката, тясно свързана с дисертационния труд, както и мотивировката за него. По отношение на материала в дисертацията, свързан с преобразуването на КОС посредством СКО, е акцентувано върху определени видове фазови дислокации и ефекта от 'поместването' им в КОС, предмет на представените научни изследвания. Така, в Глава II.2 подробно са разгледани т.нар. 'тъмни снопове' с фазови сингулярности, конкретно едномерни и квази-двумерни тъмни снопове, а в Глава II.3 – т.нар. 'оптични вихри' (двумерни точкови фазови дислокации, със спирален фазов профил). Тъй като това са основните 'агенти' за осъществяване на представеното в дисертацията преобразуване на лазерно лъчение с методите на СКО, техните физични характеристики и основни

параметри са описани, представени са съответните аналитични изрази за амплитудата и фазата на полето (Раздел II.3.1). Указани са физичните механизми на изследваните процеси и съответните физични обекти и ефекти (сингулярни светлинни снопове в комплект с фазовите дислокации) са подходящо илюстрирани графично. Посочен е и смисъла от тяхното приложение в съвременната наука и технология, както и ефекта от това.

В Глава II.3, Раздел II.3.1, са описани още и някои от основните съществуващи методи за генерация на оптични вълнови фронтове, съдържащи фазови дислокации – генериране на сингулярности с фазова пластинка, както и с дифракционни решетки с кодирана дислокация, компютърно-синтезирани холограми, т.е., СКО-инструментите за контролирано въздействие върху лазерно лъчение, ползвани в дисертационния труд. Не липсват съответните аналитични уравнения и графични представяния. Особено старателно са показани (вкл. със снимки) компютърно-синтезирани холограми и двоични дифракционни решетки с въведена фазова дислокация, с които са проведени експериментите, описани в дисертацията.

Тъй като са съществена част от физиката на представените в дисертационния труд научни изследвания и резултатите от тях, Глава II.4 на *Общата Част* съдържа в достатъчна степен необходимата информация за поведението на двойка оптични вихри върху светъл фонен сноп (вихри с еднакви или с противоположни ‘топологични заряди’), а Глава II.5 – за матрици от оптични вихри (стабилни решетки от множество оптични вихри с редуващи се по знак топологични заряди), в конкретния случай – квадратни или хексагонални решетки, състоящи се от стоици оптични вихри с редуващи се по знак топологични заряди, тъй като точно такива са ползвани като основни структурни средства при провеждане на експериментите, представени в дисертацията. Съответно, Глава II.6 съдържа физично описание на Беселови КОС (с аналитичен израз и интензитетно разпределение, както е според теорията). Логично, засегнат е и въпроса за отношението на Бесело-подобните КОС към дифракцията на лазерно лъчение.

Мотивацията за научно-изследователската дейност по дисертацията е старателно обоснована с представените в Глава II.7 актуални приложения на структурирани лазерни снопове (в частност, Бесело-подобни) във фокалната равнина и след нея (каквито са резултатите от проведените експерименти със СКО, описани в дисертацията). Също във връзка с представените експерименти, последната Глава II.8 на *Общата Част* съдържа кратка информация относно методи за измерването на топологични заряди на оптични вихри, което в случая е от първостепенно значение за вярна и точна интерпретация на получените резултати.

Част III на дисертацията е *Специалната Част* – частта с приносен характер. Тя е в обем 55 страници (от 41 до 95 стр.) и съдържа резултатите от проведените научни изследвания. *Част IV* на дисертацията (96 – 98 стр.) представлява обобщение на проведените научни изследвания, а *Част V* (99 – 100 стр.) – резюме на основните резултати и представя личните приноси на дисертантката г-жа Мая Жекова. *Част VI* (101 – 103 стр.) и *VII* (104 – 109 стр.) съдържат списъци на цитираната литература и на авторските публикации по дисертацията, съответно. Броят на цитираните литературни източници в *Част VI* е 82.

Така структуриран, материалът в представения дисертационен труд е подходящо илюстриран с графична информация и е подкрепен с адекватно цитирана литература. Графичният материал във фигурите е ясен и убедителен, описанията към фигурите са пълни и точни.

Основната цел на дисертацията е ясно формулирана, а именно: да се приложат методите на СКО като ефикасни механизми за контролирано модифициране на лазерни снопове в пространството. Избраната методика за изследване съответствува на поставените цели и задачи, и е съобразена със спецификата на изследваните процеси в линейни среди. Получените резултати са компетентно обработени и са представени подредено и нагледно, подробно са обяснени, като са направени съответните и необходими добре-мотивирани и

коректни изводи с оглед постигане на целите на научната разработка. Налице са необходимите теоретични обосновки, постановки и модели. Приложените теоретични модели добре описват получените експериментални резултати, а експерименталните данни потвърждават резултатите от числените симулации. Необходимите изводи също са налице.

Изложението е стегнато и ясно, и много добре конфигурирано. Трябва да се отбележи, че авторът г-жа М.Жекова владее научната терминология в областта. Дисертацията е написана много прилежно. Нямам никакви забележки по отношение на език и четивност. Цялостното впечатление от дисертацията е отлично – това се отнася както за избраната интересна тематика, така и за получените резултати и оформление.

Аналитично представяне на *Специалната Част*

И така, научните изследвания и получените нови резултати са представени в *Специалната Част* на дисертацията (*Част III*). Тя съдържа и някои допълнителни теоретични постановки (извън препратките към *Общата Част*), подробни описания на извършените експерименти и числени моделирания. Текстът е разпределен в 7 глави.

В началото ѝ (Глава III.1, стр. 41 – 42), подробно е описана експерименталната установка. Прави отлично впечатление, че експериментите са осъществени с най-модерна апаратура (напр., отражателни течено-кристални оптични фазови модулатори – пространствените модулатори Pluto на HOLOEYE Photonics за модулиране на фазовите профили и внасяне на сингулярности в опорния КОС, а също и CCD камера с висока разделителна способност), което, разбира се, е много важно за получаване на качествени резултати.

Следващите две глави (Глави III.2 и III.3, стр. 43 – 77, общо 35 страници) обхващат експериментални изследвания върху основни типове фазови дислокации и на базови взаимодействия (указани и разгледани в *Общата Част* на дисертацията), получените от тях нови резултати и теоретичната им интерпретация, т.е., типична проблематика в областта на СКО.

Ефектът от оптически-базирано управляемо модифициране на светлинни снопове е недвусмислено демонстриран и надлежно анализиран, прилагайки съответните теоретични постановки, схеми и математически апарат. В частност, това е направено за пространственото разпределение на оптичния интензитет на КОС, в случай, че към входния КОС са включени/поместени изкуствено създадени фазови сингулярности. Подобавашо внимание (Раздел III.2.1, стр. 43) е отделено на описание на численото генериране на оптични фазови профили за създаване и промяна на оптични вихри, т.е., за програмиране на включените в експерименталната схема оптични фазови модулатори и за реализиране на предвидената им функция в представените в дисертацията на г-жа М.Жекова експерименти.

Осъществени са няколко разновидности на такъв начин за стабилно пространствено пререструктуриране на КОС. Ефектът от внасяне на фазови сингулярности за преразпределянето на оптичното поле е анализиран в случая на фокусиране чрез оптична леща (явяващо се двумерно Фурие преобразование на входното амплитудно и фазово разпределение) на резултантния КОС.

За целта са подбрани няколко типа фазови дислокации, условно наречени ‘базови’ (термин, възприет в научната литература), описани в *Общата Част* на дисертацията (в Глава II.2), като: едномерна дислокация с единичен фазов скок от π ; квази-двумерна дислокация, получена при „кръстосване“ на две или повече едномерни дислокации с единични π -фазови скокове; дислокация от тип “ръб-спирала”; и „стъпално-спирална“ дислокация. Експериментално, такива сингулярности са генерирани и са привнесени (поотделно) върху един светъл КОС, получените резултати са представени в Раздел III.2.2 (стр. 44 – 47). Също така са генерирани и привнесени върху светъл КОС подбрани оптични вихри, като: единични вихри с различни по стойност топологични заряди (Раздел III.2.3, стр. 47 – 49) и двойки оптични вихри върху един светъл КОС, като те са с еднакви (Раздел III.2.4, стр. 49 –

50) или противоположни топологични заряди (Раздел III.2.4, стр. 50 – 51). Такъв набор от сингулярности е напълно достатъчен за онагледяване на изследваните ефекти.

Резултатите, получени от експериментите, а именно наблюдаваните 'базови' фазови дислокации, потвърждават, че методите за генерация на фазови профили чрез програмиране на фазовите модулатори, ползвани в работата на дисертантката, наистина функционират и са успешно и надеждно приложими, което всъщност е била и идеята на тази група от експерименти, представени в дисертационния труд.

Трябва да се отбележи, че разглеждането на контролираната по този начин промяна на формата на КОС по протежение на оптичната ос, а също и промяната на пространственото разпределение на интензитета му (в напречно сечение) в областта на и след фокалната равнина на тънка оптична леща, с която КОС се фокусира (т.нар. изкуствена далечна зона на разпространението на резултантното лазерно лъчение), не е случайно избрано – точно това е случаят с пряк приложен аспект, при който освен типичните за СКО приложения, СКО може да бъде платформа от практически интерес и в областта на нелинейната оптика и фотоника, а също и за оптични логически елементи, базирани на СКО (включително и устройства, които имат пространствено-разпределителна управляема функция).

Смисълът на тази група научни изследвания в дисертационния труд е, че с резултатите, получени от тях, се показва, че така КОС могат да бъдат активно (управляемо) и ефективно модулирани посредством фазови дислокации, кодирани в тях чрез компютърно-генерирани разпределения на оптичната фаза (фазови профили), които играят роля на фазови решетки, получавани сравнително нетрудно. Констатираният факт е още една съществена практическа полза от представения в дисертацията на г-жа М.Жекова СКО-базиран метод за конструктивен реформат на лазерни лъчения.

Втора група от научни изследвания, представени в *Специалната Част* на дисертацията, касае взаимодействието между фонов (базов) КОС и суперпозиции на множество оптични вихри (Глава III.3, стр. 52 – 77), изкуствено генерирани в квадратна (Раздел III.3.1, стр.52) или в хексагонална (Раздел III.3.2, стр. 53 – 54) решетка. Като синтез на експериментална и теоретична разработка, е осъществено и анализирано преобразуването на входен Гаусов КОС след отражение от оптичен фазов модулатор, който внася определена фазова дислокация в КОС. Всъщност, приложена е схема с два програмируеми отражателни фазови модулатора (много сполучлив избор на HiTech течно-кристални фазови модулатори от висок клас), с които могат да се комбинират фазови дислокации с цел преобразуването на входен Гаусов КОС. По този начин, с удачно избрана методология, в дисертационния труд систематично и сполучливо са изследвани взаимодействията на оптични вихри и матрици от вихри, даващи възможност за удвояване, 'изтриване' или променяне на топологичния заряд на оптичните вихри.

В тази част на дисертацията са включени резултати от експерименти по преобразуване на пространствената структура на входен Гаусов КОС посредством фазови решетки (матрици) от оптични вихри, с квадратна (Раздел III.3.3, стр. 54 – 59) и хексагонална (Раздел III.3.4 стр. 60 – 67) решетки от оптични вихри, както и с комбиниране на квадратна и хексагонална решетки (Раздел III.3.5 стр. 68 – 77). За различни варианти и за оптични вихри с различни топологични заряди е показано, че входен Гаусов КОС може ефективно да бъде трансформиран в конфигурации от пикове на лазерно лъчение. Демонстрирано е, че такива конфигурации от пикове дават възможност за активен оптичен контрол на резултантното пространствено разпределение на лазерното лъчение, което определя и значимостта на посочените изследвания. Показано е и, че наблюдаваните пикове могат да бъдат допълнително модулирани с поместването в тях на оптичен вихър, на квази-двумерна и на едномерна фазова дислокация. В частност, особено впечатляващ е установеният и много добре илюстриран ефект от смесването на матрици, кодирани с оптични вихри, притежаващи алтернативни по знак топологични заряди (съответно с квадратна и с хексагонална елементарна клетка), водещ до интересни и практически полезни лазерни пространствено-лъчеви структури. Анализирано е как този вид преобразуване на входен Гаусов КОС води на практика до разнообразни стабилни

конфигурации от пикове (като пространствени модове) на трансформираното лазерно лъчение. Ценното в случая е и, че оптичните вълни във всичките тези пикове остават синфазни.

Допълнително е показано и, че приложената трансформация на формата/структура на Гаусов КОС може ефективно да се управлява и реконструира чрез периода на начално заложената матрица (т.е., с препрограмирането на фазовите модулатори). Установеният факт е като 'бонус' към постигнатите научни резултати. Той също е от голямо значение, тъй като разкрива допълнителните възможности и потенциала за практическо приложение на предложената методика, базирана на СКО.

По-нататък, в Глави III.4 – III.7 (стр. 78 – 95) логически се стига до следващото значително научно постижение и съответно – важен научен принос на дисертационния труд на г-жа Жекова, а именно – приложение на СКО за получаване на Беселово-подобни КОС. Трябва да се подчертае, че генерацията на такива КОС е сериозно предизвикателство за съвременната лазерна физика & технология и кохерентната оптика. Един от начините за получаване на Беселово-подобни КОС е чрез модификация на Гаусов КОС. Това, в дисертационния труд на г-жа Жекова е реализирано чрез методите на СКО – идеята тук е да се преформира входящ Гаусов КОС чрез фазова дислокация – в случая с помощта на двумерни фазови дислокации – оптични вихри, разгледани в *Общата Част* – Раздел II.2.4 и Глава II.3. По-конкретно, за такава трансформация от Гаусов в Гаус-Беселов КОС се налага да се ползва специален тип комбинация от две фазови модуляции.

Трябва да се признае, че екипът, в който работи г-жа Жекова, се е справил отлично (експериментално и теоретично) и с тази задача, която фактически е била една от нейните персонални задачи. За целта е работено по удачно избраната експериментална схема с два програмируеми оптични фазови модулятора за числено генерирани фазови профили. Приложени са два прийома. При единия, в Гаусов КОС първоначално се влага единичен оптичен вихър с висок топологичен заряд ($m > 10$) при отражение с единия модулатор и след това се 'изтрива' оптичният вихър (чрез влагане в така модифицирания Гаусов КОС на оптичен вихър с противоположен топологичен заряд, генериран при отражение от втория фазов модулатор) (Глава III.4, стр. 78 – 85). Вторият използван начин е също чрез оптична фазова модулация с единични оптични вихри с високи заряди ($m > 10$), създадени от първия фазов модулатор, които впоследствие са редуцирани с втория фазов модулатор до оптичен вихър с топологичен заряд $m = 1$ (Глава III.5, стр. 86 – 91).

И двата варианта за получаване на Беселово-подобни снопове при анихилиране на високозаредени оптични вихри са подробно описани, анализирани и обосновани в дисертационния труд за няколко случая на оптични вихри с различни топологични заряди ($m = 1$ до $m = 50$), което дава необходимата яснота и пълнота за физическата същност на наблюдавания ефект, а също и възможност да се добие необходимата представа и преценка за него. Освен това, провеждането на експерименти с оптични вихри с различни топологични заряди служат за намеране на най-оптималните условия за максимално доближаване до Беселово-подобни КОС. Като резултат, е получена максимална ефективност на преобразуване, което може да се счита за много добро постижение в научната област.

Поведението на Гаус-Беселови КОС, експериментално получени по двата предложени начина и същата експериментална установка, са сравнени в Глава III.6, стр. 92). За характеризиране на разпределението на амплитудата на оптичното поле, е представен аналитичен модел за описание на Гаус-Беселови снопове от нулев и първи порядък (имайки предвид топологични заряди на модифициращите оптични вихри, $m = 0$ и $m = 1$, съответно) (Глава III.7, стр. 93 – 95). Така, числено е моделиран цялостният процес на преобразуване на входното лазерно лъчение посредством фазови дислокации, обрисован в Глави III.4 и III.5. Чрез съответните функции на Гаус-Бесел от нулев и първи порядък е показано, че експериментално получените резултатни Гаус-Беселови снопове се описват с достатъчна точност с функция на Бесел от съответния порядък, което е и физичното доказателство за тяхната физична природа.

Като резултат от тази група научни изследвания, които следват една от главните цели на научно-изследователската работа на дисертантката, е демонстрирано получаването на Гаус-Беселови КОС, притежаващи параметри, до голяма степен доближаващи се до тези на идеален Беселов КОС след фокусиране. Както правилно е изтъкнато в дисертацията, предложеният метод, базиран на СКО, на порядък превъзхожда известните до момента методи за генериране на Гаус-Беселови снопове. Налице е съществен краен резултат с голяма практическа стойност и значение – постигната е много малка дифракционна разходимост на получените Гаус-Беселови КОС, поддържана на доста голямо разстояние при разпространението на такова лазерно лъчение. В работата на г-жа Жекова, за така получени Гаус-Беселови КОС е измерена разходимост, която е под 50 микрорадиана по протежение най-малко на 2.5 метра по посока на разпространението на вълната на лазерното лъчение.

Така е осъществено един вид ‘канализиране’ на лазерно лъчение в нещо като ‘шнур’ в пространството след фокуса на лещата и практически може да се счита, че лазерното лъчение се разпространява без дифракция. По същество, този ефект е линейно-оптична алтернатива на известния нелинейно-оптичен ефект на самофокусировка на интензивно лазерно лъчение, разпространяващо се в среда с оптична нелинейност (и без ползване на оптична леща). Тъй като е основан на оптически-индуцирана промяна на показателя на пречупване на средата, самофокусировката е пасивен и неуправляем ефект (той е управляем само доколкото зависи от интензитета на лазерното лъчение). За разлика от самофокусировката, предложената в дисертационния труд методика за активно оптическо модифициране на лазерно лъчение чрез базирано на СКО модулиране на оптичната фаза, представлява добър и фин, гъвкав физичен механизъм, прецизно контролиран. Именно в това виждам главното достойнство на представената в дисертационния труд оригинална методика. Тя има и друго предимство (неотбелязано в дисертацията, може би за да не се претоварва текста), а именно: избягва се силово въздействие върху показателя на пречупване на средата, а оттам и съпътстващите неизбежни оптични загуби от други странични физични процеси.

Експерименталните данни за Бесело-подобни снопове, получени чрез анихилиране на оптични вихри, притежаващи голям топологичен заряд, са подробно анализирани в зависимост от топологичните заряди на оптичните вихри, и правилно интерпретирани. Обяснена е физичната природа на наблюдаваните процеси. Пространствените параметри на получените стабилни Гаус-Беселови КОС са адекватно определени посредством измервания по съответните методи. Установено е, че в сравнение с базовия (входящ) Гаусов КОС, дифракционната разходимост на такива Гаус-Беселови КОС може да се редуцира до степен с около един порядък по-малка при съпоставими условия, което е съществен научен резултат.

Моя справка показва, че сред публикуваните в научната литература постижения за стабилни и надеждни Гаус-Беселови КОС, до този момент това е най-доброто постижение, ползващо указаната принципно нова лазерна технология, базирана на СКО. Безспорно, методът има огромен потенциал за генериране и оптимизиране на Гаус-Беселови КОС и е голяма стъпка напред в преодоляването на дифракцията на лазерно лъчение. Това прави представените в дисертационния труд научни резултати особено важни и актуални с оглед на различни теоретични, лабораторни и практически приложения, напр. в областта на лазерната физика на ултра-къси импулси & свръх-големи оптични интензитети, нелинейната оптика & фотоника, фемтосекундна фотоника, лазерна обработка на материали, нанофотониката, атомна оптика и медицинската образна диагностика. Трябва да отбележа, че силното редуциране на дифракционната разходимост е от изключителен интерес за кохерентната оптична томография и сканиращата 3D лазерна флуоресцентна и мулти-фотонна микроскопия, тъй като това свойство позволява лазерно-базирана визуализация на био-нанообекти при разделителна способност от порядъка на нанометри, особено актуална в момента за съвременните високо-технологични флуорометрични апаратури за вирусология, биохимия и имунология, и др. био-аналитични системи.

Също така, доколкото ми е известно, посоченият метод е разработен с определена дългосрочна стратегия – с перспектива да бъдат продължени и разширени научните изследвания в това направление, вече в рамките на НАУЧНОИЗСЛЕДОВАТЕЛСКА ИНФРАСТРУКТУРА "ЕКСТРЕМНА СВЕТЛИНА", 2020–2023 (Extreme Light Infrastructure, ELI) – панЕвропейски Проект за нова научно-изследователска инфраструктура от общоевропейски интерес и част от Европейската пътна карта (ESFRI). В този научно-изследователски проект, от българска страна участва консорциум от научни организации и университети, които са водещи в изследванията по лазерна физика в България, част от който е екипът от катедра Квантова електроника на ФзФ на СУ, в който участник е и инж.-физик Мая Жекова. В духа на този Проект, доказаните модифицирани, структурирани, подредени, оптимизирани, организирани, синфазни и надеждно и гъвкаво контролирани посредством СКО Гаус-Беселови КОС и конфигурации от тях, са идеална платформа за осъществяване на нелинейни оптични процеси, индуцирани с високоинтензивни лазерни лъчения от този тип, включително и контролирано формиране на филаменти, а също и за кохерентното комбиниране на такива КОС (и на филаменти).

2.3. Научен апарат

Качеството на научния апарат в дисертацията е на необходимото ниво. Цитирането на публикации на други автори е напълно целесъобразно, изчерпателно и достатъчно, съобразено е с изискванията. Всички цитирани публикации са използвани реално и съвестно – по предназначение.

3. Автореферат

Авторефератът напълно отразява материала, включен в дисертацията и представя есенцията ѝ. Целите, задачите и съдържанието на дисертацията, както и изведените накрая в нея резултати и научни приноси, са отразени правилно от дисертантката.

4. Оценка за научната стойност на публикациите, на които се базира дисертацията

Показателно за високото ниво на научните приноси на дисертантката г-жа Мая Жекова е, че резултатите, включени в представената дисертация, са публикувани в 4 научни статии в авторитетни научни списания с импакт-фактор (IF): една в Journal of Optical Society of America B: Optical Physics (JOSA B) (JCR IF = 2.284); една в Scientific Reports (JCR IF = 4.011) и две в Optics Communications (JCR IF = 1.961). Те са едни от водещите списания в съответната област и са с висок научен рейтинг – в кватил-категория Q1, Opt. Commun. е Q2. В една от тези статии дисертантката е на първо място в списъка на авторите, което съответно предполага водеща роля.

Други две научни статии са публикувани в достатъчно авторитетни специализирани и реферирани издания: една от публикациите е в международно списание Proceedings of SPIE с импакт ранг SJR, а другата е в Годишника на Софийския университет "Св. Кл.Охридски". Освен тях, имам информация, че колективът, в който участва дисертантката, е подготвил още две интересни статии, които доразвиват научната тематика в представената дисертация – те са изпратени за публикуване също във високо-импактни научни списания. Смятам, че във всички от посочените колективни публикации инж.-физик М.Жекова има съществен принос в научните изследвания, за получаването, обработката и интерпретацията на резултатите, както и в подготовката на публикациите, което мога да потвърдя, понеже съм бил свидетел на част от нейната научно-изследователска работа в Лабораторията по фемтосекундна фотоника на ФзФ на СУ.

Публикациите са пряко свързани с темата на дисертацията и напълно съответстват на препоръчителните изисквания, на количествените и качествени показатели за присъждане на образователна и научна степен ДОКТОР по физика. За отбелязване е, че препоръчителните изисквания към кандидатите за придобиване на ОНС Доктор във

Физическия факултет на СУ „Св. Климент Охридски“, приети от Факултетния съвет са за „три публикации, от които най-малко две статии в реномирани издания“.

Резултатите от научно-изследователската работа, отразена в дисертацията, са докладвани на престижни научни форуми (международни специализирани конференции). Това включва 4 устни доклада, два от които са изнесени от г-жа М. Жекова, и шест постерни доклада, от които 3 лично представени от нея. Това говори за адекватно популяризиране на работата на докторанта. Прави впечатление, че в една от най-важните статии от представените материали дисертантката е на първо място сред съавторите, което е показател за личните ѝ усилия за постигане на представените научни резултати и съществения ѝ принос в работата на изследователския колектив, в който участва.

Справка в SCOPUS показва, че научни публикации, включени в дисертацията, вече 4 пъти са цитирани от други автори, което е показателно за актуалността на представените научни резултати и идеи. Индексът на Хирш за г-жа М. Жекова е $h = 4$ (с изключване на самоцитиранията на всички съавтори, както е редно), което е много добро ниво за млад учен, стартиращ научната си кариера.

5. Оценка на научните и научно-приложните приноси

Изследванията, отразени в дисертацията, са актуални и иновативни. Прави приятно впечатление доброто съчетание на експериментална физика с теоретични (числени и аналитични) подходи за анализ на изследваните физични процеси. Умело проведени са редица експерименти, чийто резултати потвърждават теоретичните модели. Получените научни резултати са акуратното оформени и качествено графично представени.

В дисертацията, редица физични модели са демонстрирани експериментално и така числените симулации са потвърдени с експериментални резултати. Полезните резултати от научно-изследователската дейност на дисертантката са от значение за практическото прилагане на предложените методи и кохерентни оптични ефекти. Убедително демонстрираната възможност за активен оптичен контрол на лазерни пространствено-лъчеви структури със сложна конфигурация и желани характеристики, е обещаваща за широк кръг от приложения.

Експериментите завършват с много добри и значими резултати, получени за първи път. За приложените нови методи се очертават блестящи перспективи за доразвиване и приложение. Тяхното значение се изразява в това, че показват, че вместо с традиционни начини и схеми за въздействие с цел промяна на пространствената структура на лазерно лъчение, това може да се реализира, и то доста ефикасно и сравнително просто, с методите на СКО, дори и със стандартни експериментални схеми и елементи. Голямото предимство и значимост на показания метод е, че предлага и контрол. Сигурен съм, че по-нататъшните изследвания в това направление ще стимулират и научно-приложни разработки, базирани на оптично-фазово-индуцирани ефекти в линейни и нелинейни среди под СКО контрол.

Представената дисертация съдържа редица оригинални идеи, реализирани за първи път от научно-изследователски колективи с активното участие на дисертантката инж.-физик Мая Иванова Жекова. Научните резултати от работата ѝ са систематизирани в 5 основни точки, които са и личните приноси на дисертантката, представени в края на дисертацията. Определено, г-жа Жекова има съществен принос в провеждането на експериментите, за получаването на експерименталните данни, обработката им, интерпретацията на резултатите и приложението на числени модели за това, както и в оформянето на крайния научен продукт за публикация. Предпоставка за това е отличното познаване на експерименталната техника, научната проблематика и съответните теоретични модели.

Напълно приемам така формулираните приноси, като считам, че Резултатите 1 – 5, подредени на стр. 99 и 100 (*Част V* в дисертацията), имат фундаментален научен характер и научно-приложен нюанс, и могат да бъдат отнесени към следните случаи:

- *получаване и доказване на нови факти;*
- *обогабяване на съществуващите знания и теории;*
- *предсказване на явления и интерпретация на резултати от експеримента.*

6. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Представеният дисертационен труд на магистър инж.-физик Мая Жекова е по актуални и комплексни проблеми на лазерната физика, кохерентната оптика и сингуларната оптика. Поставените цели и задачи са ясно формулирани и успешно постигнати. Дисертационният труд е завършен и полезен, работата е изпълнена професионално и на високо съвременно научно ниво, и е съобразена със съвременните достижения на оптиката и лазерната физика и технология. Предложени са и приложения на получените резултати. Със сигурност, представените научни резултати ще намерят непосредствено приложение в бъдещата експериментална работа в Лабораторията по фемтосекундна фотоника на Физическия факултет на СУ, а също са потенциално важни с оглед на продължението на работата по нелинейна и кохерентна оптика и свръхкъси импулси на екипа от учени в катедра Квантова електроника, в която докторантката участва като млад учен.

Проведените от инженер-физик М.Жекова научни изследвания и получените резултати, представени в нейния дисертационен труд, напълно отговарят по обем и съдържание на изискванията за присъждане на образователната и научна степен ДОКТОР. Те са придобили нужната публичност в достатъчен брой научни публикации. Необходимите наукометричните показатели също са изпълнени, дори надвишават съответните наукометричните критерии според ЗРАСРБ, Правилника за прилагането на ЗРАСРБ, Правилника за условията и реда за придобиване на научни степени и заемане на академични длъжности в СУ „Св. Климент Охридски”, и най-вече Препоръчителните изисквания към кандидатите за придобиване на научните степени във Физическия факултет на СУ. В научно отношение, резултатите, на които се базира дисертацията, са качествени и значими, получени са чрез авангардни експериментални методи и са публикувани в реномирани рецензирани списания. Затова и оценката ми за представения дисертационен труд е изцяло ПОЛОЖИТЕЛНА.

Написаното дотук ми дава основание напълно убедено да препоръчам на членовете на уважаемото Научно жури то **ДА ПРИСЪДИ образователната и научна степен ДОКТОР на автора на дисертационния труд инж.-физик г-жа Мая Иванова Жекова.**

Дата: 27.ІІІ.2020 г.
гр. София

Рецензент:

/ доц. д-р Г. Хаджихристов /