

РЕЦЕНЗИЯ

**На дисертационен труд за получаване на образователна и научна степен “ДОКТОР”
по професионално направление 4.1. „Физически науки” (специалност „Физика на
вълновите процеси“)**

**Тема на дисертацията: „Сингулярна и фемтосекундна фотоника: Създаване на светли
структури във фокалната равнина, използвайки фазови сингулярности“
автор Мая Иванова Жекова**

**Рецензент: Проф. д-р Любомир Ковачев, Институт по електроника, Българска
академия на науките.**

1. Кратки биографични данни на докторанта

Мая Иванова Жекова е получила Магистърска степен през 2016 в Катедра Квантова електроника и лазерна техника на Физически факултет към Софийски университет „Св. Климент Охридски“. От 2017 година е редовен докторант в направление: 4.1. „Физически науки” Физика на вълновите процеси, вкл. Нелинейни трептения и вълни на Софийски университет „Св. Климент Охридски“, Физически факултет. Отчислена е с право на защита.

През 2019 година участва в Националната научна програма „Млади учени и постдокторанти“, като млад учен с проект на тема: „Формиране на светли структури от снопове чрез използване на квадратна матрица от оптични вихри“.

Член е на Факултетния съвет и на Комисията по качеството на Физически факултет.

Участва в Организационния комитет на International Conference of Quantum, Nonlinear and Nanophotonics и Symposium on Nanomaterials and Nanotechnologies’2019, 2-5 Септември 2019, като основната административна дейност на конференцията, по мое мнение като участник, бе извършена от докторантката.

Участва в експертна комисия към НАОА за програмна акредитация на докторска програма Медицинска физика към професионално направление 4.1 Физически науки от област на висше образование 4. Природни науки, математика и информатика в Шуменски Университет „Епископ Константин Преславски“ - Гр. Шумен.

Ръководител е на отбора за Първа Балканска Олимпиада по Физика за ученици, проведена в Солун, Гърция, 14-18 юли 2019

Представила е списък с участия в четири научно-изследователски проекта:

1. „Формиране и контрол на подредени структури от светли снопове в далечна зона чрез използване на квадратни матрици от оптични вихри,” 80-10-158/2019
Ръководител на проекта: Проф. Александър Драйшу, 2019.
2. Създаване на дългофокусни недифрагиращи Гаус-Беселови оптични снопове от нулев и първи порядък чрез нулиране на топологичните заряди на високозаредени оптични вихри,80-10188/19.04.2019 Ръководител на проекта: доц. Иван Ламбрев Стефанов, 2019.
3. Интерферометрична азимутонна автокорелация за измерване единични свръхкъси (фемтосекундни) лазерни импулси Фонд "Научни изследвания" - МОН, М18-4/2017, 2017 г. Ръководител: гл. ас. Николаи Димитров.
4. Изследване на възможностите на съвременните полупроводникови лазери, генериращи в синия спектър за технологична обработка на материали. Ръководител на проекта: гл.ас. д-р Наско Николов Горунски, 2017.

2. Общо описание на представените материали

Дисертацията е в обем от 109 страници и отразява работата в 6 публикации от които 4 статии в списания с импакт-фактор и една в списание с импакт-ранг и една в реферирано списание. Състои се от увод, литературен обзор, резултати, обобщение на проведените изследвания, експериментални резултати, списък на публикациите по които е изградена дисертацията и литература. Цитирани са 82 литературни източника. Резултатите са илюстрирани по подходящ начин със 75 фигури. Представени са също автореферат, автобиография, списък на публикациите и на изнесените доклади на конференции и участия в школи.

3. Характеристика и оценка на дисертационния труд

3.1 Актуалност на разработвания в дисертационният труд проблем

Едно от основните направления в съвременната лазерна физика е свързано с възможността за създаване на оптични вихрови структури, които да намалят значително

дифракционното разширение на лазерния сноп. Съществуването на вихрови решения за монохроматична вълна в рамките на двумерното скаларното уравнение на Леонтович е представено за първи път от Nye и Berry. Решенията притежават амплитудни и фазови сингулярности. От друга страна е известно, че за тези вихрови решения интегралът на енергия е безкраен (интеграла има логаритмична разходимост). Един елегантен начин да се премахнат амплитудните сингулярности е чрез „обличането“ на сингулярното решение с помощта на Гаусов сноп. Основните резултати по създаването на така наречените „недифрактиращи снопове“ са постигнати с лазери работещи в непрекъснат режим (CW режим). По това направление в дисертацията са публикувани пет статии с изследвания по оптични вихрови структури и взаимодействие на матрици от оптични вихри. В настоящата дисертация, още в самото заглавие, е поставена и друга амбициозна задача: Възможно ли е създаването на оптични вихрови структури със свръх-къси фемтосекундни лазерни импулси („недифрактиращи лазерни импулси“)? На тази тема е и публикуваната статия в *Optics Communications*, Vol. 456, 2020, 124530, 2020). Значително постижение на докторанта в тази насока е в намирането на среда, оптимални разстояния на разпространение и методи за генериране на оптични вихрови импулси.

3.2 Познаване на съвременното състояние изследванията по проблема

Дисертационният труд започва с Увод в който е представена основната цел на дисертацията, основните изследователски задачи и направленията по които са постигнати резултати.

В литературният обзор (28 страници) са разгледани процесите на генерация на тъмни снопове, оптични вихри, матрици от оптични вихри, Беселови снопове и техните приложения. Направеният обзор показва добро ниво на познаване съвременното състояние на изследванията по темата на дисертацията. Подробно са изложени и много добре анализирани теоретичните и експериментални резултати на други автори.

3.3 Характеристика на получените резултати и оценка на научните приноси

Изследванията и получените резултати с приносен характер са представени в трета глава от дисертацията озаглавена „Експериментални резултати“ (52 страници структурирани в 7 раздела). В първият раздел е описана експерименталната установка и

използваните оптични елементи. Във вторият раздел първоначално са получени чрез числено генериране фазови профили за различни типове дислокации и оптични вихри с различни топологични заряди. Съществен интерес представлява генерирането на двойки оптични вихри с еднакъв и противоположен топологичен заряд. В трета глава са представени експериментално създадени матрици от оптични вихри, като основната структура е съставена от вихри с противоположни редуващи се единични заряди. Наблюдавано е изтриване на оптичните вихри във фокуса на лещата, използвана като изкуствена далечна зона. В глава 4 е изследвано анихилиране на високо-заредени оптични вихри за получаване на „Гаус-Беселови“ снопове. Експериментално получения профил на интензитета при изтриване на оптичен вихър с висок топологичен заряд ($m=21$) е апроксимиран много добре с функция на Бесел. В глава 5 е направен анализ на Беселоподобни снопове с добавяне и изваждане на единични оптични вихри с топологичен заряд $m=1$. Получените експериментални данни за профила на интензитета се апроксимират с много голяма точност с функция на Бесел от първи порядък. В Глава 6 и 7 е направено сравнение на поведението на Гаус-Беселови снопове.

Научните приноси на дисертацията са в резултат на успешно поставените и осъществени експерименти по изследване на генерация, разпространение, модулиране и взаимодействие на различни типове оптични вихри и Гаус-Беселови снопове.

Изследвани са взаимодействията на оптични вихри и матрици от вихри, създадени от двойка фазови модулатори. Показано е, че при използването на матрици от оптични вихри топологичният заряд на оптичните вихри можем да бъде удвоен, изтрит или променен.

Създадени са различни форми на елементарни клетки, при изграждане на решетка (матрица) от оптични вихри, както и комбиниране на квадратна и хексагонална решетки от оптични вихри за контролиране на позицията и формата на получените във фокуса на леща (изкуствена далечна зона) светли структури.

Изследвани са единични оптични вихри с високи заряди ($m>10$), създадени от първия фазов модулатор, които впоследствие са изтрити или редуцирани до оптичен вихър с топологичен заряд $m=1$. Получени са Гаус-Беселови снопове, апроксимирани с функция на Бесел съответно от нулев и първи порядък. Тези снопове са изследвани при различни

условия: използване на различни топологични заряди на генерираните оптични вихри ($m=1$ до $m=50$), както и на различни разстояния след фокуса на леща ($z=0$ до $z=200\text{cm}$).

Създаден е базов модел описващ причините за възстановяване на Гаус-Беселов сноп, вместо възстановения при ниски заряди Гаусов сноп.

Показан е метод за генериране на Гаус-Беселови снопове от нулев и от първи порядък чрез анихилиране/редуциране на високо заредени оптични вихри и последващата им Фурие-трансформация с тънка леща. Генерираните Гаус-Беселови снопове са с минимална разходимост от порядъка на и по-малко от 50 микрорадиана и се разпространяват стабилно на разстояния, надхвърлящи 2.5 метра след фокуса на леща.

4. Публикации по дисертационният труд и оценка на личния принос на кандидата

Дисертацията се базира на 6 научни статии от които 4 в списания с импакт фактор (JOSA B, Sci. Report и две в Opt. Comm.) една в списание с импакт ранг (Proc. of SPIE) и една статия в реферирано списание. Резултатите са докладвани на 6 международни конференции. До момента са забелязани 16 цитирания на статиите от дисертационният труд. Тук е мястото да отбележим, че освен статиите по дисертацията, докторантката е съавтор в още 12 статии в областта на атомната физика и физика на плазмата с висока цитируемост. Общия брой на цитиранията по статии, в които докторантката е съавтор е 106. В две от публикациите Жекова е първи автор, което показва че тя е водещ автор в тези изследвания.

5. Оценка на автореферата

Авторефератът е изготвен съгласно изискванията и отразява коректно основните резултати и научни приноси на дисертацията

6. Критични забележки и въпроси

Дисертацията е написана като цялостен и логически последователен труд. Извършена е значителна по обем и трудоемка експериментална работа.

Основните експериментални резултати са постигнати на експериментална установка с лазер в CW режим. В последната публикация, (Optics Communications, Vol.

456, 2020, 124530, 2020) е показано, че оптични вихрови структури се наблюдават при определени условия и с фемтосекундни импулси. Това донякъде оправдава и заглавието на дисертацията - Сингулярна фемтосекундна фотоника. Експериментът е проведен за разпространение във въздух на спектрално-ограничени 25 фемтосекундни импулси в линеен режим. При разпространение на спектрално-ограничени 25 фс импулси все още е в сила параксиалното пространствено-времево уравнение. За разстояние от един-два метра, дисперсията е пренебрежимо малка във въздух. На тези разстояния пространствено-времето уравнение се свежда до обикновеното 2D+1 параболично уравнение на Леонтович (надлъжният профил на импулса остава практически непроменен). Поради тази причина решенията на това уравнение, представени в статията (които са решения и за дифракцията на оптичен сноп), коректно описват експерименталните данни за вихрови структури на фемтосекундни импулси. Като критична бележка отбелязвам само липсата на уравненията, за които предложените Беселови функции и вихрови структури са аналитични решения.

V. Заключение

Високото качество и актуалността на получените резултати, както и наукометричните данни напълно удовлетворяват и надхвърлят изискванията на Закона за развитието на академичния състав в Република България, правилника за приложение на този закон, Правилника за условията и реда за придобиване на научни степени и заемане на академични длъжности в СУ, както и препоръчителните изисквания към кандидатите за придобиване на научните степени и заемане на академичните длъжности във Физическия факултет на СУ „Св. Климент Охридски“.

Мая Иванова Жекова притежава задълбочени теоретични знания и експериментални умения за провеждането на самостоятелни научни изследвания.

Въз основа на всичко написано до тук, убедено и без резерви препоръчвам на уважаемото научно жури да присъди на Мая Иванова Жекова образователната и научна степен „доктор“

Дата: 25. 03. 2020

Рецензент: Проф. дфн Любомир Ковачев

/подпис/