

## РЕЦЕНЗИЯ

на дисертационен труд за придобиване на научна степен „доктор на науките“  
в професионално направление 4.1. Физически науки, по процедура за защита във  
Физически факултет (ФзФ) на Софийски университет „Св. Климент Охридски“ (СУ)  
Рецензията е изготвена от проф. дн Александър Александров Драйшу от Физически факултет  
на Софийския университет, в качеството му на член на научното жури съгласно Заповед  
РД 20-127/22.01.2021 г. на Ректора на Софийския университет.

**Тема на дисертационния труд: “Квантово-оптични аналогии”**

**Автор на дисертационния труд: доц. д-р Андон Ангелов Рангелов**

### **I. Общо описание на представените материали**

#### **1. Данни за представените документи**

Кандидатът доц. Андон Рангелов е представил дисертационен труд (на английски език) и автореферат, а също така и задължителните за Физически факултет таблици от [Правилника за условията и реда за придобиване на научни степени и заемане на академични длъжности в СУ „Св. Климент Охридски“](#) (ПУРПНСЗАДСУ). Представени са и 37 на брой други документи, подкрепящи постиженията на кандидата (2 броя дипломи, автобиография, копия на 32 публикации, с които участва в процедурата, списък на забелязаните независими цитирания и декларация за авторство и за оригиналност на резултатите). Прави впечатление, че авторефератът, оценен по брой страници на съдържателната част, е с обем по-висок от 70% от самата дисертация. Подробното запознаване с двата материала показва, че авторефератът на практика е превод на дисертацията на български език. Решението за обема и същността на автореферата, разбира се, е право на дисертанта, но, доколкото ми е известно, значително се отличава от обичайното. Представените по защитата документи от кандидата съответстват на изискванията на ЗРАСРБ, ППЗРАСРБ и ПУРПНСЗАДСУ.

#### **2. Данни за кандидата**

През периода януари 2004г. – юни 2008г. дисертантът е бил докторант във Физически факултет на СУ. След придобиване на образователната и научна степен „доктор“, в периода март 2009г. – септември 2012г. е бил асистент, а впоследствие, до м. септември 2015г. - главен асистент във ФзФ. От м. 09.2015г. заема академичната длъжност „доцент“ в същия факултет. Преподавателската му дейност е свързана с лекции и упражнения по курсовете Квантови преходи и Електродинамика и с упражнения по курс Квантова механика. Бил е съръководител на един защитил докторант и е ръководител трима успешно завършили бакалаври по физика. Успешното му международно сътрудничество е свързано с изследователски групи от Франция, САЩ и Германия. Общият брой на статиите на доц. Андон Рангелов 51, привлекли над 575 независими цитирания и формиращи индекс на Хирш  $h=12$ .

### 3. Обща характеристика на научните постижения на кандидата

Съдейки по съдържанието на дисертацията, интересите на доц. Рангелов са в областта на аналозиите между процеси в квантовата оптика и такива в класическата (вълнова, поляризация и нелинейна) оптика. Научните публикации, включени в дисертационния труд, отговарят на минималните национални изисквания (по чл. 2б, ал. 2 и 3 на ЗРАСРБ) и на допълнителните изисквания на СУ „Св. Климент Охридски“ за придобиване на научната степен „доктор на науките“ по професионално направление 4.1. „Физически науки“. От приложената по-долу таблица става ясно, че тези изисквания са значително надхвърлени.

Група показатели	Показатели	Съгласно ПУРПНСЗАДСУ-ФЗФ	За дисертанта, съгласно представения доказателствен материал
		изисквани за „доктор на науките“	
А	1	50т.	50т.
Б	2	100т.	Обект на процедурата
Г	5+6+...+10	Общо минимум 14 публикации от група I (минимум 100т. от показатели от 5 до 10)	Група I (Q1, Q2) 27 по 25т. (Q1) = 675т. 2 по 20т. (Q2) = 40т. Група II (Q3, Q4) - няма Група III (SJR, без IF) 2 по 10т. = 20т. <b>ОБЩО: 735 т.</b>
Д	11	Минимум 100 цитирания (т.е. минимум 200т.)	575 цитирания по 2т. = 1150т.
Допълнително изискване от ФЗФ		Минимум 9 публикации от Група I със съществен принос на кандидата	17 публикации
Допълнително изискване от ФЗФ		Индекс на Хирш $h > 6$	$h=12$
Е	12 +... 20	Ръководство на успешно защитил докторант	един : 50т./2 = 25т.

Съдейки по таблиците в документите на кандидата, включените в дисертационния труд научни публикации не повтарят такива от предишни процедури за придобиване на научно звание и академична длъжност. Всички статии са публикувани в престижни международни списания след успешни процедури по независими рецензирания. Считаю това за показателно, че публикуваните резултати, както и тези в дисертацията и в автореферата, са оригинални научни приноси на доц. Рангелов. С това отхвърлям възможността за плагиатство под каквато и да е форма.

### 4. Характеристика и оценка на преподавателската дейност на кандидата

Преподавателската работа на доц. Рангелов е свързана с четенето на лекции и с воденето на упражнения по дисциплината Квантови преходи (за студенти от ОКС „Магистър“), с лекции и упражнения по Електродинамика (за студенти-бакалаври от специалност Инженерна физика) и с упражнения по Квантова механика (за студенти-бакалаври от специалност Инженерна физика). Ръководил е трима успешно защитили дипломни работи бакалаври от специалност Физика. Бил е съ-ръководител на един успешно защитил своята дисертация докторант и понастоящем е съ-ръководител на един друг докторант.

## 5. Анализ на научните и научно-приложните постижения на кандидата, съдържащи се в материалите за участие в конкурса

Основните анализирани проблеми в дисертацията на доц. Андон Рангелов са прогнозирането на възможностите за създаване и, в редица случаи, експериментално доказване на нови възможности за създаване на нови устройства за промяна на поляризацията на снопове с широки спектри, на ефективни широкоспектрални схеми за преобразуване на честоти, на широкоспектрални оптични изолатори и на нови схеми за манипулиране на светлината в планарни вълноводи. В основата на ползвания от него подход е търсенето на аналогии между описанието на процеси в квантовата механика и на процеси в класическата (вълнова, поляризация и нелинейна) оптика. Коректно са въведени адиабатното приближение и понятието за композитен импулс, който са ползвани често по-нататък. Понятията бърз адиабатен преход и стимулиран Раманов адиабатен преход са въведени чрез цитиране на литературни източници.

В Раздел 1.2. целта на анализа е конструиране на вълнови пластинки, които работят в широк спектрален диапазон, осигурявайки желаното фазово отместване. Идеята е една фазова пластинка, осигуряваща желаното фазово отместване на конкретна дължина на вълната при конкретна ориентация, да се замени с последователност от няколко пластинки, въвеждащи по-малки фазови отмествания при завъртане, всяка поотделно, на по-малки ъгли. В раздел 1.3., с цел ползване на по-малък брой пластинки, се анализира ползването на огледало в края на поредицата, т.е. двойно преминаване през поляризиращите оптични елементи. Прогнозирани са 4 конфигурации. Експерименталните изследвания са на дължини на вълните 1064 nm и 1550 nm (получени от оптичен параметричен осцилатор), 405 nm, 532 nm, 780 nm, 850 nm (получени с полупроводникови лазери) и 633 nm (He-Ne-лазер). Получените експериментални данни са в много добро съгласие с числените симулации на основата на получения аналитичен резултат. Раздел 2.1. е посветен на анализирането на възможността да бъде създаден ширококолентов ротатор на поляризация чрез последователност от две ширококолентови вълнови  $\lambda/2$ -пластинки с допълнително въртене между тях. Данните показват успешно действие на устройството в спектрален интервал с ширина 50-60nm. Става ясно, че под "бяла светлина" не се разбира суперконтинуум (както изглежда, имайки предвид цитираната оптична октава), а неполяризиран сноп от 10-ватова халогенна лампа, който се поляризира външно. Въпросът ми тук е дали 50-нанометровите интервали се дължат на ползване на интерференчен филтър с такава спектрална ширина на контура на пропускане или на друга причина? Данните в Раздел 2.4. за измерената дисперсия на коефициента на пропускане на широкоспектрални поляризиращи ротатори, съставени от 2,4,6,8 и 10 броя  $\lambda/2$ -пластинки при различните ъгли на въртене на ротатора, са в същия спектрален интервал. Независимо от въпроса ми, работоспособността им в този широк спектрален интервал е добър резултат.

В Раздел 3.2. под адиабатната еволюция за вектора на Стокс се разбира въртенето да става в последователност от дискретни стъпки, а не непрекъснато. Експериментално, това е

постигнато, ползвайки последователност от 10 кристала, всеки завъртян на подходящ ъгъл. За целта, всеки кристал не трябва, сам по себе си, да играе ролята на повече от  $\lambda/2$ -пластинка. Данните (Фиг. 13 в автореферата) показват, че с 10 бр. ахроматични  $\lambda/2$ -пластинки широкоспектрално действие е постигнато в интервал с ширина от над 550 nm.

Глава 4 е посветена на анализа на нови подходи за ефективно преобразуване на честоти в широк спектрален интервал чрез фазов синхронизъм, постигнат чрез двойно лъчепрекупване и чрез квази-фазов синхронизъм. Моделът в Раздел 4.1. е развит за непрекъснати полета. Въпросът ми е може ли методът да се модифицира за наносекундни импулси? Може ли да се направи за пикосекундни импулси, с отчитане на разсъгласуването на груповите скорости на импулсите във времето, но все още пренебрегвайки дисперсията на груповата скорост. Мотивът за въпроса ми е, че по абцисата на Фиг. 16 (виж автореферата) има единици  $\text{GW}/\text{cm}^2$ , а такива интензитети не се постигат с непрекъснато лазерно лъчение. В Раздел 4.3. са описани експериментални данни за ефективен и широкоспектрален процес на генерация на втора хармоника за свръхкъси импулси чрез композитни нелинейни кристали (кристали с периодична промяна на знака на нелинейната възприемчивост от втори порядък). Данните са показателни за успешен експеримент. Резултатите са добре оформени и, сами по себе си, са показателни за успешен експеримент. Ползвани са импулси от фемтосекунден осцилатор с продължителност от 100 fs и с енергия от единици nJ при ефективността на преобразуването във втора хармонична от около 50%. Показано е, че техниката е ефективна в спектрален интервал с ширина около 35 nm. Това би трябвало да означава, че е техниката е приложима за суб-20-fs импулси. Интересно ми е мнението на дисертанта по този въпрос. Ползван е нелинеен кристал  $\text{LiNbO}_3$ , легиран с Mg. Известно е, че ползваният кристал (както и споменатият литиев танталат) имат и добре изразени фоторефрактивни свойства на дължини на вълните около и под 500 nm. Т. к. е постигната ефективност на преобразуването от около 50%, в експеримента, наблюдавана ли е промяна на формата на снопа, напр. на втората хармонична, при около минута-две облъчване. Въпросът ми е продиктуван от това, че фоторефрактивният ефект е както нелокален, така и анизотропен спрямо с-оста на кристала. В Раздел 4.4. е предложена техника на преобразуване на честоти, която използва аналогия с техниката адиабатен пренос на населеност между две квантови състояния посредством фазов скок във „взаимодействието“. В тази техника адиабатността изисква зависимо от дължината на разпространение ефективно фазовото разсъгласуване  $\Delta k$ , което може да бъде постигнато с квази-фазов синхронизъм. Ако част от нелинейния кристал се поляризира в едно направление, останалата – в противоположното, се осигурява смяна на знака на нелинейната възприемчивост от втори порядък, т.е. на „взаимодействието“. Тази техника, в пространството, лично аз възприемам като по-добре интуитивно мотивирана от времевия ѝ аналог, който предполага в импулса да има фазов скок, а фазовият скок предполага рязко понижаване (и евентуално нулиране) на амплитудата/интензитета, т.е. ползване на тъмен импулс. Анализът е направен в приближение на относително слабо нелинейно преобразуване. Числената симулация е на основата на

процес на генериране на сумарна честота ( $750\text{nm} + 1500\text{nm} \rightarrow 500\text{nm}$ ) при взаимодействие от вида *oo-e* и в кристал  $\text{MgO}:\text{LiNbO}_3$ . За мен тук отново възниква въпросът за проявата на фоторефракция. В Раздел 4.5. се анализират каскадни процеси от втори порядък (процеси на сумиране на честоти), които са, в определен контекст, аналогични на кохерентното прехвърляне на заселеност в квантова система с три нива. Резултатите на Фиг. 27 (виж автореферата) са интересни, но, за мен, има известна неяснота. Дясната графика не представя математична функция (съответствие между единствен аргумент и единствена стойност на функцията). Изо-лини на ефективността ли са представени в нелинейния случай? Интересен ефект с аналог в квантовата оптика е този, че при „контраинтуитивната” локална посока на модулацията почти не се прехвърля енергия към вълната на междинната честота. В тази връзка у мен възникват два свързани въпроса: Възможно ли е подходът да бъде приложен за съпътстващ каскадният процес директен процес на генериране на трета хармонична? Може ли нелинейността от трети порядък да се ползва за интензитетнозависимо коригиране на фазовото съгласуване/разсъгласуване?

Изследванията в Глава 5 са посветени на анализа на нови широкоспектрални оптични изолатори. Описан е изолатор, който изисква два кръстосани поляризатора, ахроматична реципрочна и неречипрочна четвъртвълнови пластинки. Необходимото неречиточно двойно лъчепречупване се получава в оптично влакно, към което се прилага външно магнитно поле. Нужното двойно лъчепречупване във влакното може да се предизвика с натиск или от външно електрично поле. Числените симулации показват работоспособност на идеята в спектрален интервал с ширина почти  $500\text{ nm}$ . Експериментът, описан в Раздел 5.3., е реализиран с три Фарадееви ротатори на поляризацията и с шест ахроматични четвъртвълнови пластинки. (Тук, в автореферата, е практически единственото място, където понятието е употребено правилно на български език.) Всеки обикновен Фарадеев ротатор е настроен между две ахроматични четвъртвълнови пластинки. Средният Фарадеев ротатор върти поляризацията на  $90^\circ$ , а първият и третият - на  $45^\circ$ . Както при обикновен оптичен изолатор, настройват се и входен и изходен поляризатори, завъртяни на  $45^\circ$  един спрямо друг. Оптичната система е показала спектрална пропускливост в обхвата от  $600\text{ nm}$  до  $1000\text{ nm}$ . Както отбелязва дисертантът, експерименталните данни донякъде се отклоняват от числените, но, като цяло, резултатите от анализа са потвърдени. Идеята в Раздел 5.4. е съществено различна. Основава се на процес на генериране на сумарна честота ( $\omega_3 = \omega_1 + \omega_2$ ) в среда с нелинейност от втори порядък. Предполага се, че генерираната вълна на сумарната честота  $\omega_3$  изпитва силно поглъщане в процеса на генерирането си и по дължината на средата (нелинеен кристал). В тази посока се отчита наличието на фазов синхронизъм. При обратно разпространение на сигнала фазовият синхронизъм не се изпълнява и кристалът напълно пропуска полето с честота  $\omega_2$ . Числено пресметнатите спектри за кристал КТР се простират в интервал с ширина  $60\text{ nm}$  около централна дължина на вълната  $925\text{ nm}$  и показват навсякъде изолация от поне  $35\text{dB}$ .

В Глава 6 на дисертацията са анализирани схеми за контрол на прехвърлянето на сигнали с широки спектри между планарни вълноводи. В Раздел 6.1. теоретично е анализиран ахроматичен оптичен разклонител с един вход и с  $N$  изходи (вълноводи), които са свързани чрез междинен вълновод-“посредник”. Устройството е анализирано по аналогия със стимулирания Раманов адиабатен преход. За разбирането на резултатите е полезна представата за процеса на дискретна дифракция на сноп, постъпващ в един вълновод от структура от паралелни планарни вълноводи. В Раздел 6.2. е реализирано многоканално разделяне на сноп в структура от 1 входен, 1 контролен и  $N$  изходни паралелни вълноводи. Ефективността на схемата е тествана на дължини на вълните 633 nm и 850 nm. Експерименталната схема е находчива и добре представена. Пространственият модулатор е чисто фазов и върти поляризацията. Заедно с поляризационния светоделителен куб се получава амплитуден модулатор. Това става ясно от текста в дисертацията. Ползван е фоторефрактивен кристал SBN:61. При нечетен брой вълноводи ( $N=5$ ) и контраинтуитивна последователност на взаимодействието, светлината се разделя към три почти равни изходни порта. По-конкретно, в нечетните вълноводи се разпространява значителен сигнал, в четните – незначителен. Установено е, че резултатът не зависи от дължината на вълната на възбуждане, т.е. схемата е ахроматична. Според мен експериментално полученият по-висок коефициент на взаимодействието за 850 nm отколкото за 633 nm може да се обясни с по-силната дифракция на по-голямата дължина на вълната. Раздел 6.4. е предложена схема за пренасяне на светлина във вълноводи по аналогия на адиабатно елиминиране от квантовата физика. Разгледана е система от три вълновода, като външните вълноводи имат еднакъв профил на показателя на пречупване, но различен от този на централния. Анализът показва, че ако в средния вълновод първоначално няма светлина, е възможно през цялото време няма да има светлина. Този ефект е еквивалентът на адиабатното елиминиране. Възможно е вътрешните вълноводи да са и по-голям брой  $N$  и всички те да бъдат елиминирани. Анализирана е ситуацията за  $N=4$ . Фиг. 48 и 51 (виж автореферата) са показателни за положителния резултат от анализа. В Раздел 6.5. е анализиран и аналог на електромагнитно-индуцираната прозрачност – разклонител на базата на три близо разположени планарни оптични вълноводи, свързани със затихващи вълни на обвивката (описателно въвеждане на непреведения в дисертацията и в автореферата термин „еванесово”). Системата с три вълновода е формално аналогична на  $\Lambda$ -система с три състояния. Разстоянието между вълноводите е избрано така, че дължината им да съответства на една дължина на връзката. Подобни съображения се ползват при резонансните съединители (разклонители) в оптичните комуникации. Действието на устройството се контролира чрез промяна на позицията на третия вълновод спрямо втория. Резултатите в Раздел 6.6. са наистина интересни.

Като цяло, експериментите са убедителни и потвърждават теоретичните прогнози.

Резултатите на дисертанта са публикувани в престижни международни списания: *Reviews of Modern Physics* (APS, 1бр., IF=45), *Photonics Research* (OSA, 1бр., IF=6.1), *Optics*

Letters (OSA, 4бр., IF=3.7), Physical Review A (APS, 10бр., IF=2.8), Journal of Optics (IOP, 3бр., IF=2.4), Optics Communications (Elsevier, 4бр., IF=2.1), J. Opt. Soc. Am. A (OSA, 2бр., IF=1.791), Applied Optics (OSA, 3бр., IF=1.96) и Adv. Chem. Phys. (1бр., IF=1.771). Цитирани над 575 пъти в трудовете на други автори. Импакт-факторът на публикациите му е над 120. Една от най-цитираните му публикации (над 280 пъти), включена в дисертацията, е тази в Reviews of Modern Physics. Тя е посветена на приложенията на стимулирания Раманов адиабатен преход във физиката, химията и в други области. Съгласно формулираните в ПУРПН-СЗАДСУ на ФзФ критерии за съществен принос на дисертанта в публикациите по конкурса, данните на доц. Рангелов по този показател са почти два пъти по-високи от минималните изисквани.

Научните и научно-приложните приноси на доцент Рангелов са убедителни. Бих ги квалифицирал като формулиране на нови хипотези за аналогии между квантовата и вълновата оптика, теоретично разработване и, в редица случаи – експериментално доказване на нови или на усъвършенствани съществуващи експериментални методи. Те дават принос към обогатяване на съществуващите знания и са с определени перспективи за приложения.

#### **6. Критични бележки и препоръки**

Авторефератът практически пълно възпроизвежда дисертацията. В дисертацията и в автореферата липсват кратко формулирани изводи, което също не е обичайно. В автореферата част от фигурите значително предшестват текста, с който се въвеждат. Пълнотата на информацията в автореферата и, общо, литературната осведоменост на дисертанта, за мен са извън съмнение. Критиката ми е по отношение на част от термините от класическата оптика (не от квантовата оптика), ползвани неточно, отчасти – без повторемост, в единичен случай – без превод от английски език. За разлика от тази ми констатация, термините в дисертацията, написана на английски език, доколкото мога да преценя, са коректните. (Друго би било силно изненадващо, тъй като дисертацията е изградена по публикации в реномирани списания, излизащи на английски език.) Авторефератът има самостоятелна стойност, но и стойност на материал, който може да бъде предоставян на дипломанти и на докторанти. В този смисъл, ползването на коректна терминология на български език е задължително. В следващата редакция на автореферата препоръчвам на дисертанта да отстрани всички несъответствия в терминологията. Въздържам се да посоча конкретни примери за такива проблеми, но съм готов, при негова инициатива, да му окажа пълно съдействие. Ползването на коректната терминология на български език е задължително за преподавател, а придобиването на исканата научна степен, логично, разглеждам като стъпка към предстояща професура.

#### **7. Лични впечатления за кандидата**

Личните ми впечатления са за един високомотивиран и способен млад професионалист, израснал в групата на професор Николай Витанов, поел по собствен път в науката и ползващ се с уважението на колегията.

## **8. Заключение**

След като се запознах с представените дисертационен труд, автореферат и с другите материали, въз основа на направения анализ на тяхната значимост и съдържащи се в тях научни и научно-приложни приноси, **потвърждавам, че научните постижения отговарят на изискванията** на ЗРАСРБ и Правилника за приложението му и съответния Правилник на СУ „Св. Климент Охридски“ за **придобиване на научната степен „доктор на физическите науки“**. В частност кандидатът значително надхвърля минималните национални изисквания в професионално направление 4.1. Физически науки. Не е установено плагиатство в представените по конкурса дисертационен труд, автореферат и научни трудове.

Давам своята **положителна** оценка на дисертационния труд.

## **II. ОБЩО ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

**Въз основа на гореизложеното, препоръчвам на научното жури да присъди на доц. д-р Андон Ангелов Рангелов научната степен „доктор на науките“ в професионално направление .4.1. Физически науки.**

19.04.2021 г.

Изготвил рецензията: .....

(проф. дн Александър Драйшу)