

РЕЦЕНЗИЯ

на дисертационен труд за присъждане на образователната и научна степен „Доктор”

Автор на дисертационния труд: Георги Христов Малешков
докторант към катедра „Квантова електроника”, физически факултет,
СУ "Кл. Охридски”

Тема на дисертационния труд: "Нелинейна еволюция на снопове с квази-двумерни и двумерни фазови сингулярности".

научна направление: 4.1 "физически науки", специалност физика на вълновите процеси (вкл. квантова електроника и нелинейна оптика)

Представеният дисертационен труд е посветен на изследване на динамиката на светлинни снопове със сложни разпределения на амплитудата и фазата при разпространението им във фоторефрактивни среди и в самофокусиращи среди с кубична нелинейност. Темата е актуална с обстоятелството, че динамиката на такива снопове в цитираните среди е слабо изследвана, а резултатите са значими с оглед потенциалните им приложения в областта на квантовата информация, спектроскопията, интерферометрията, манипулация на частици, генерацията на оптически суперконтинуум, и др. Това прави темата дисертабилна и придава значимост на получените научни резултати.

I. Структура и общо описание на дисертационния труд.

Дисертационният труд на Георги Малешков е в обем 138 печатни страници и е структуриран в следните основни части: увод, обща част състояща се от 3 глави, специална част състояща се от 5 глави, резюме на основните резултати и литература. Текстът е допълнен със списък на публикациите на автора, лични приноси на автора и декларация за оригиналност на резултатите. Представеният материал е илюстриран с 66 фигури и графики и 4 таблици. Литературата съдържа общо 121 заглавия. Основната цел на дисертацията е точно формулирана, а изложението е издържано в ясен и прецизен научен стил.

В *Увода* към дисертацията, изследваният проблем е съпоставен с останалите теми от линейната и нелинейната оптика и е подчертана неговата актуалност.

Общата част на дисертацията е представена в три глави. *Глава 1* е посветена на оптичните нелинейности от трети порядък и тяхното математическо описание. Разгледани са някои основни нелинейни процеси от трети порядък, имащи отношение към изследваните в дисертацията проблеми. Изяснен е физическият механизъм при тези процеси, като внимание е отделено на кубични нелинейности дължащи се на свързани електрони в атомите и молекулите, на молекулни трептения и въртене, на ефекти свързани с промяна на температурата и налягането на средата, както и на фоторефрактивния ефект водещ до ефективна кубична нелинейност. *Глава 2* представя теоретичната основа на еволюционните

уравненията за светлинни снопове и импулси. Проследени са някои от възловите етапите при извеждане на основното за дисертацията еволюционно уравнение, а именно, нелинейното уравнение на Шрьодингер (НУШ), стартирайки от уравненията на Максвел. Представени са основните приближения използвани за тази цел, както и времевите диапазони на тяхната валидност. Специално внимание е отделено на НУШ за снопове и импулси в неговия базисен вариант с водещите членове от най-нисък порядък за среди с Кер тип нелинейност с локален и нелокален отклик. Разгледани са някои основни аналитични и числени методи за решаване на НУШ. От аналитичните методи, внимание е отделено на вариационния метод и метода на колективните променливи, а от числените методи – метода на Фурие на разделената стъпка и метода на Рунге-Кута в представяне на взаимодействието. В *глава 3* са разгледани някои основни сингулярни снопове с фазови дислокации от типа оптични вихри, кръстосани едномерни тъмни снопове, както и двумерни фазови дислокации от смесен тип. Описани са основните им характеристики и е представен аналитичен израз за амплитудата и фазата на полето. Различните сингулярни снопове са илюстрирани графично. Подробно са разгледани методите за генериране на фазови сингулярности в снопове и свръхкъси импулси.

Специалната част на дисертацията е структурирана в пет глави и описва проблемите решени в дисертационния труд. В *глава 4* е изследвано влиянието на пространствения нелокален отклик на средата върху солитонното разпространението на светлинни снопове, както и върху критичната мощност на самофокусировка. Проблемът е изследван аналитично в рамките на вариационен подход, като е сведен до система обикновени диференциални уравнения за параметрите (радиус на снопа и радиус на кривината на вълновия фронт) на разгледаната Гаусова пробна функция. В рамките на проведения анализ са изведени аналитични изрази за критичната стойност на параметъра на нелокалност за смяна на знака на ефективната нелинейност и за критичната мощност за самофокусировка за сноп в нелокална среда с Кер тип нелинейност. Изследвано е също така и влиянието на напompващ сноп върху пробен сноп в разглеждания вид среди. На базата на получените резултати е направен извода, че влиянието на нелокалността на средата с Кер нелинейност е подобно на това на дифракцията и води до нарастване на критичния интензитет за самофокусировка. В *глава 5*, експериментално и аналитично е изследвано воденето на пробни снопове в самофокусиращи фоторефрактивни среди от снопове, притежаващи фазови дислокации от смесен тип - оптични вихри с дробен топологичен заряд. Поради голямото време на отклик на фоторефрактивния кристал, един и същ лазерен сноп, играе ролята на напompващ и на пробен сноп. За численото симулиране на воденето на снопове е използван модел включващ еволюционно уравнение за оптичното поле, уравнение за електростатичния потенциал на полето на генерираните във фоторефрактивния кристал заряди и моделно разпределение на електричното поле на снопа, носещ фазовата дислокация. Получено е добро съответствие между експерименталните и числените резултати. Двата типа изследвания потвърждават възможността светлинни снопове да бъдат водени и отклонявани контролирано чрез оптични вихри с дробен топологичен заряд. Това открива възможността за създаване на реконфигурируеми вълноводи в обемни среди чрез оптически индуцирана промяна на показателя на пречупване. В *глава 6*, числено е изследвана еволюцията и взаимодействието на тъмни напompващи снопове носещи полубезкрайни фазови дислокации от тип "ръб-спирала" (вихрови диполи с дробен топологичен заряд) в самодефокусираща среда с кубична

нелинейност. Динамиката на сноповете е базирана на НУШ включващо дифракция и Кер нелинейност. Определено е поведението на плътността на мощността и на фазата за случаи на безкраен дипол и на двойка припокриващи се полубезкрайни вихрови диполи в зависимост от разстоянието в нелинейния кристал при различни спиралности на напompващите снопове. Специално внимание е отделено на взаимодействието между сноповете с оглед създаване на оптически превключватели за управляване на пробни светли снопове, които могат бързо и лесно да се преконфигурират. Разгледани са колинеарна и перпендикулярна конфигурация на напompващите и пробни снопове. Установена е възможността за отклоняване на пробните входни снопове в различни изходни канали и са определени ефективностите на разклоняване в изследваните случаи. Изследванията в това направление стимулират разработката на оптично-индуцирани вълноводи в обемни нелинейни среди и контролирано водене в тях на слаби сигнали под формата на снопове и импулси. В *глава 7* са представени резултатите от теоретични и експериментални изследвания върху генерацията на оптически суперконтинуум (СК) със сингулярни снопове в твърдотелни самофокусиращи среди с кубична нелинейност. Сингулярните снопове (оптични вихри и кръстосани едномерни тъмни снопове) се генерират върху фазовия фронт на фемтосекундни импулси чрез компютърно-синтезирана холограма. Изследвани са различни кондензирани среди: CaF_2 , стъкло BK7, кварц, дестилирана вода. Експериментално е установено, че сингулярните снопове се запазват при генерацията на СК, а тяхното фазово разпределение не се прехвърля във фазовото разпределение на генерирания СК. Проследен е генезиса на формиране на СК и е установено, че той се генерира от независими нишки породени от самофокусиране на светлината по пръстена на вихъра, които се зараждат от модулационни нестабилности. Малкият размер на тези нишки определя голямата разходимост на СК, което води до появата му като бял фон върху основния спектър. Представен е богат материал от числени симулации, които са в добро качествено съответствие с експеримента и подкрепят направените изводи. В *глава 8* са представени резултатите от теоретични и експериментални изследвания върху генерацията на оптически СК в газови среди. Показано е, че при процесите на четиривълново смесване фазовите разпределения на сингулярните снопове могат да се прехвърлят в генерирания СК. По-специално, топологичният заряд се трансформира в новогенерираните спектрални компоненти, като при напompващи оптични вихри с еднакви топологични заряди, сигналните снопове носят оптични вихри със същия топологичен заряд, а при напompващи оптични вихри с различни топологични заряди се наблюдава каскадно генериране на многозарядни оптични вихри в параметричния сигнал. Установено е, че правилото за трансформация на зарядите следва това за преобразуването на честотите.

II. Оценка на автореферата, справката за приносите и на публикациите в дисертационния труд.

Авторефератът правилно отразява целите, задачите, и съдържанието на дисертацията. Систематизираните от автора научни резултати съответстват на постигнатото в дисертационния труд. Основните резултатите от дисертацията са публикувани в пет отпечатани или приети за печат статии, предимно в реномирани международни научни списания с импакт-фактор, пет публикации в трудове на SPIE, и девет доклада на научни конференции. В допълнение, материал за нова статия е в

процес на оформяне. Публикациите са свързани пряко с темата на дисертацията и отговарят на количествените и качествени показатели за присъждане на образователната и научна степен „доктор”. Не са представени данни за цитирания.

III. Достойнства и научни приноси на дисертационния труд.

Основните достойнства на дисертационния труд могат да бъдат обобщени както следва:

1. Поставените цели в дисертацията са ясно формулирани и са постигнати.
2. Изследваните проблеми са актуални, като при решаването им са получени оригинални научни резултати очертаващи перспективи за приложение.
3. Дисертационният труд съчетава теоретичен анализ на проблема и експериментална проверка като е демонстрирано добро качествено съответствие между теорията и експеримента.
4. Сред най-важните оригинални резултати може да се отбележи следното:
 - За първи път е показано, че оптични вихрови диполи с дробен топологичен заряд могат контролирано да водят светлинни снопове във фоторефрактивни среди.
 - За първи път е показано, че паралелни полубезкрайни оптически диполи могат да еволюират до ефективни оптически разклонители, които са в състояние да пренасочват фронтално и перпендикулярно пробни оптични снопове.
 - Представените тук резултати са първите, при които вече формиран сингулярен сноп се ползва за последващо генериране на оптичен суперконтинуум.
5. Резултатите на които се базира дисертационният труд са публикувани в 5 приети и отпечатани статии, основно в реномирани научни списания с импакт фактор, 5 доклада от международни научни конференции публикувани в пълен текст в издания на SPIE и 9 доклада на научни конференции, което съществено превишава препоръчителните изисквания за образователната и научна степен "доктор" приети във физическия факултет на СУ "Св. Климент Охридски".
6. Личният принос на автора в това колективно изследване несъмнено е съществен и, съгласно декларацията за оригиналност на резултатите, е изразен основно в разработване на числените модели за отделните проблеми и тяхното числено решаване, както и в обработка на експериментални данни и тяхното графично представяне. Трябва да се отбележи също така, че резултатите от численото моделиране са послужили като отправна точка за някои от поставените експерименти.

IV. Критични бележки и препоръки.

Към дисертационния труд могат да се отправят и някои бележки и препоръки.

1. По мое мнение, за оценка на чистия ефект от фазовите сингулярности върху генерацията на суперконтинуум би било полезно да се направи сравнение на генерираните спектри от сингулярни снопове с тези от сноп с еднаква пикова амплитуда и напречен профил, но без фазови сингулярности. Въпреки, че при една от числените симулации има подобно сравнение, фиг.8.6, експериментални данни в това отношение не са представени.
2. В Глава 8 се създава впечатление, че ролята на четиривълновото смесване при генерирането на суперконтинуум в газове е преекспонирана за сметка на фазовата самомодуляция. Всъщност, авторите целенасочено (което е и свършено правилно за целите на техните изследвания) търсят условия, при които

четири-въълновото смесване е доминиращо, тъй като то води до пренасяне на фазовата структура върху генерирания суперконтинуум, като, същевременно, избягват условията за генериране на модулационни нестабилности и/или цялостна самофокусировка на снопа, което води до локално увеличаване на интензитета, засилена фазова самомодуляция, но и загуба на топологичната структура на вихъра при генерирания суперконтинуум.

3. Към казаното на стр. 110 може да се направи следния прецизиращ коментар: насищането на нелинейността, респективно – на нелинейния принос към показателя на пречупване, започва с надкубичните нелинейности с обратен знак на тази на кубичната нелинейност, още при неутрални атоми и молекули, а приносът на свободните електрони вследствие на йонизацията, върху което е акцентирано в текста, формират крайната фаза на този процес при достатъчно висок интензитет.

4. Могат да се отбележат и обичайните в такива случаи технически неточности и несъответствия, като, например, обозначените данни на някои фигури. По-специално, има разминаване в разстояния на разпространение в свободното пространство и в нелинейната среда обозначени на самите Фиг. 8.3, 8.4, изразени в дифракционни дължини, и тези представени в текста към фигурите. Несъответствие може да се открие и в единиците в които се измерва разстоянието на разпространение на снопа в нелинейната среда: на Фиг. 8.3 - 8.6, разстоянието е представено в дифракционни дължини, докато в текста се говори за нелинейни дължини. Липсват и пояснения към част от представената на фигурите информация. Това, обаче, не касае по съществено научната страна на изложението.

V. Лични впечатления от докторанта

Не познавам лично докторанта, но от представеният дисертационен труд може да се направи извод за неговата компетентност, задълбочено познаване на темата и прецизно отношение към проблемите и тяхното научно представяне и решаване.

Заклучение: Дисертацията е по актуален, ясно формулиран и сложен проблем на нелинейната оптика. Поставените цели и задачи са изпълнени. Дисертационният труд съответства на изискванията за присъждане на исканата научна степен. Направените критични бележки по никакъв начин не омаловажават представените научни резултати и личните усилия на докторанта за тяхното постигане. Всичко това ми дава основание да препоръчам най-убедено на членовете на Научното жури да присъдят на докторант Георги Христов Малешков образователната и научна степен “доктор”.

Рецензент:

/ доц. д-р И. Г. Копринков/

21.08.2012 г.
София