

## **РЕЦЕНЗИЯ**

на дисертационния труд за получаване на образователна и научна степен “**Доктор**” (научна специалност 01.03.22. „Физика на вълновите процеси”, направление физика 4.1.)

Автор на дисертационния труд: Наско Николов Горунски

Тема на дисертационния труд: “**Изследване на оптични системи за формиране на качествени лазерни снопове**”

### **1. Актуалност на проблемите:**

Представената за рецензия дисертация е посветена на теоретично изследване на различни оптични системи за формиране или за модифициране и управление на лазерни снопове. Тази задача винаги е актуална понеже от нейното успешно решение до голяма степен зависи и успешното приложение на лазерното лъчение. Например при технологичните лазери качественият сноп ще доведе до оптимално фокусиране. При лазерите със свръхкъси импулси пък възможностите за управление на формата на лазерния импулс, времева или пространствена, отваря неимоверно много възможности за приложение. Построяването на супер мощните петаватни фемтосекундни лазерни системи също е свързано с решаването на такива задачи. Всичко това говори за актуалността и значимостта на дисертацията на Наско Горунски.

### **2. Структура на дисертацията.**

Дисертацията се състои от увод, обща част от 5 глави (литературен обзор), специална част от 3 глави, където се намират и основните анализи и резултати на дисертацията, заключение и списък с цитирана литература от 102 заглавия.. Накрая са представени списък с публикациите на автора. Обемът на дисертацията е от 100 страници, като тя съдържа 48 фигури.

### **3. Публикации, на които е базирана дисертацията.**

Списъкът с публикации, които авторът прилага в края на дисертационния труд, съдържа 5 заглавия. От тях има една публикация в списанието *Optics Communications* (импакт фактор 1,438) и една в списанието *Bulgarian Journal of Physics*. Третата публикация е статия изпратена за печат в списание *Optics Communications* в началото на 2013 година и наскоро е получено потвърждение за

приемането и за печат. Една публикация има в Proceeding of SPIE от участие в международна научна конференция, тя е цитирана веднъж в международно списание (IEEE). Петата публикация е от участие в традиционния за Физическия факултет Meeting in Physics където Наско Горунски е изнесъл доклад.

#### **4. Анализ на резултатите и оценка на приносите в дисертацията.**

Основните цели на дисертацията са свързани с изследване на някои оптични системи за формиране на качествени лазерни снопове. Дисертантът се е спрял на изследване на 3 вида такива системи, а именно резонатори с няколко активни елемента, анализ на стабилността на  $4f$  и  $2f-2f$  бездисперсионни системи и анализ на еволюцията и взаимодействието на тъмни пространствени солитони и полубезкрайни оптични вихрови диполи с дробен топологичен заряд.

След увода, дисертацията формално е разделена на две части, първата, наречена теоретична, е посветена на общо разглеждане на въпроси по които авторът докладва основни резултати във втората част. Накратко са разгледани проблемите при генериране на качествено, мощно лазерно лъчение от твърдотелни генератори, представени са елементи от физиката на лазерните резонатори, зоните на тяхната стабилност, разгледани са случаи с един и с повече активни елементи в резонатора, различни методи за компенсация на двулъчепречупването и термичната леща от активната среда. Отбелязани са различни причини, водещи до влошаване качеството на лазерния сноп.

Друга част от първия раздел на дисертацията е посветен на свръхкъсите лазерни импулси, разгледани са основните методи за генерация, акцент е поставен на проблема за определяне на фазата им и нейното стабилизиране (СЕР). При разширяване и компресиране на свръхкъсите импулси те преминават през различни оптични системи и тогава съществен въпрос е наклонът на формата на импулса (PFT). При управление на късите импулси стремежът е в използване на оптични системи с минимална дисперсия. Затова и дисертантът тук се е спрял накратко на така наречените  $4f$  и  $2f-2f$  системи.

Като метод за анализ на резонаторите с активни елементи и оптичните  $4f$  и  $2f-2f$  системи е разгледан матричният подход. Този метод е описан за анализ на лазерните резонатори с матрици  $2 \times 2$ , а също така за анализ на свръхкъси импулси през оптични системи с матрици от вида  $4 \times 4$ . Представени са матриците на различни елементи на резонатора, както и на различни оптични елементи с

приложение във фемтосекундната техника, огледала, призми, дифракционни решетки.

Друг метод за управление на снопове е оптичният. На него е посветена последната част от първия раздел с акцент на сингулярната нелинейна оптика. Представени са основни видове оптични солитони – светли и тъмни, двумерни пространствени – вихрови солитони. Интерес за дисертанта са различните фазови дислокации – стъпално-спирална, ръб-спирална и възможните техни приложения за управление на фазовия профил на оптичните импулси. За анализиране на такива въпроси се налага и решаване на нелинейното уравнение на Шрьодингер, на неговото решаване е посветена също малка част от дисертацията.

Втората част на дисертацията е посветена на основните резултати. Първата част от нея е с основен акцент - анализ на многоеlementни резонатори (с повече от един активни елементи). Използван е матричен подход. Изведени са матриците на резонатори с четен и нечетен брой активни елементи.. Определени са зоните на стабилност и са представени графично на  $g_1g_2$  диаграма. Направен е анализ на чувствителността към разстройка на многоеlementните резонатори. Разгледани са случаите на несиметрия в разстоянията между активните среди и крайните огледала, несиметрия в радиусите на кривините на огледалата на резонатора, разлика във фокусните разстояния на формираните термични лещи в отделните активни среди. Изведени са изрази за размерите на мода върху активните елементи при наличие на несиметрия в резонаторните параметри. Основните получени резултати са, че резонатори, съдържащи повече от два активни елемента, нямат стабилност срещу разстройване и не могат да се използват за генерация на основен мод с голям обем. Симетричните резонатори са чувствителни към разлики в дължините на крайните рамена на резонатора и към разлики в оптичната сила на формираните в активните среди термични лещи. Това налага подбиране на активни среди с еднакво качество и еднакви условия за напompване. Изводите в тази част не са много оптимистични, което може би се потвърждава и от преобладаващите реални лазерни системи, наместо с няколко активни елемента в резонатора по-често се реализират системи генератор-усилвател, многопроходни, еднопроходни, МОРА и т.н, генериращи качествено изходно лъчение.

Втората част от резултатите е посветена на анализ на стабилността на  $4f$  и  $2f-2f$  системи. Използван е също матричен подход, като са изведени  $4 \times 4$  матриците на двата вида системи. И двете системи се състоят от две дифракционни решетки и две

лещи. За тях са въведени и малки разстройки и е направен анализ. Основните резултати са: разстроена  $2f-2f$  система въвежда ъглов чирп, докато  $4f$  не; дисперсията на груповата скорост при  $4f$  зависи само от разстройката на дифракционната решетка, докато при  $2f-2f$  зависи и от разстройката на лещата; при  $4f$  наклонът на фронта на импулса е линейна функция на двете отмествания (дифракционна решетка и леща), докато при  $2f-2f$  зависи само от това на решетката.

Третата част от представените резултати в дисертацията е посветена на елементи на сингулярната оптика, а именно взаимодействие между едномерни тъмни пространствени солитони и вихрови диполи с дробен топологичен заряд. След числено моделиране на разпространението на тъмен сноп в Керова нелинейна среда с решение на уравнението на Шрьодингер (Фурие метод на разделената стъпка) са получени много интересни резултати. Те дават идеи за приложение на изследваните оптични схеми за успешно оптично управление и контрол в оптичните комуникации. За първи път е показано теоретично как безкраен едномерен тъмен сноп може да се раздели на два нови вихрови дипола с дробен топологичен заряд в Керова нелинейна среда при въздействие на трети, сравнително близо разположен вихров дипол. Предложена е на тази база схема за оптично индуциран разклонител на оптични снопове/ импулси. Потвърдено е стабилността на пространствени тъмни солитони при наличие на силни симетрични пертурбации от вихрови диполи с дробен топологичен заряд. Предложена е схема и на оптични съединители, например при взаимодействие на единичен тъмен солитон с един или два успоредни оптични дипола. Тези случаи са сравнени с линейната дифракционна еволюция (реализирана и експериментално, но не е описана подробно в дисертацията). Например последният случай показва в нелинейния случай добра ефективност – 62%, докато в линейния тя е само около 36%. Резултатите, представени в тази част са много интересни и обещаващи, остава да се надяваме и на скорошното им тяхно експериментално реализиране. В тази връзка, дисертантът не е представил нагледна схема на експеримента, където по-ясно да се видят посоките на разпространение на тъмните солитони, фоновия лазерен сноп, оптичните вихрови диполи.

Като цяло дисертацията е актуална и резултатите интересни. Забележката ми е към заглавието, където е написано понятието „качествени лазерни снопове”. Когато се говори за качество на лазерния сноп, обикновено се разбира количествен критерий и като такъв се използва определянето на фактора  $M^2$ , който трябва да е близък до

единица (Гаусов сноп) или определяне на BPP (beam parameter product). В дисертацията обаче това не се коментира. По повод теоретичните резултати получени при анализа на  $4f$  и  $2f-2f$  системите възниква въпросът за тяхното експериментално потвърждение. Същото се отнася и за взаимодействието на тъмните солитони и вихровите диполи. Може би в тази посока ще бъдат насочени работи на Наско Горунски в бъдеще.

**5. Авторефератът** правилно отразява целите, задачите, и съдържанието на дисертацията. Систематизираните от автора научни резултати съответстват на постигнатото в дисертационния труд. Имам забележка по повод използваната номерация на главите в автореферата, тя не е нужно да съответства на тази в дисертацията.

**6. Заключение.** На базата на всичко казано до тук убедено мога да твърдя, че представената дисертация на Наско Горунски е на **високо съвременно научно ниво**. Засяга въпроси **актуални** в наше време – формиране на качествени лазерни снопове в резонатори с няколко активни елемента, както и в  $4f$  и  $2f-2f$  системи. Съществени резултати има в анализа на взаимодействието на тъмни пространствени солитони и вихрови диполи с дробен топологичен заряд, те могат да намерят приложение при оптично индуцирани разклонители на снопове. Потенциално приложение имат и със свързани лазерни импулси за генерация и разпространение на устойчиви солитони – област от съществено значение за оптичните комуникации. **Считам, че магистър-физик Наско Горунски отговаря на изискванията за присъждане на образователната и научна степен „доктор” по исканата специалност и препоръчвам с убеденост присъждането му на тази научна степен.**

14.09.2013 г.

гр. София

Рецензент:

доц. д-р Николай Минковски