

РЕЦЕНЗИЯ

**на дисертационен труд
за придобиване на образователната и научна степен „доктор“
в професионално направление 4.1 Физически науки,
по процедура за защита във Физическия факултет (ФзФ)
на Софийския университет „Св. Климент Охридски“ (СУ)**

Рецензията е изготвена от: проф. дфзн Асен Енев Пашов, СУ „Св. Климент Охридски“, Физически факултет, в качеството му на член на научното жури съгласно РДЗ8-251/23.05.2022 г. на Ректора на Софийския университет.

Тема на дисертационния труд: “Application of Coherent Quantum Control Schemes in Classical Physics ”

Автор на дисертационния труд: Mouhamad Al-Mahmoud

Данни за кандидата

Mouhamad Al-Mahmoud получава бакалавърската си степен в Ливанския университет през 2015 г., а степента магистър - в Université de Lorraine, Мец, Франция през 2019 г. От тогава той работи в няколко научни лаборатории в Université de Lorraine, Paris-Saclay University, Technische Universität Darmstadt и в Софийския университет. Проектите са основно в областта на оптиката, и по-специално вълноводи и нелинейна оптика. Сътрудничеството му с проф. Н. Витанов и доц. Андон Рангелов се оказва много успешно и води до пет статии, които са в основата на неговата дисертация. От 2022 г. г-н Ал-Махмуд официално е докторант на самостоятелна подготовка в Софийския университет, след като представи значителна част от дисертацията си, списъка с публикации и получи много висока оценка от катедра Теоретична физика на Физическия факултет. За ръководител беше определен доц. Андон Рангелов.

Обща характеристика на научните постижения на кандидата

В дисертацията на г-н Ал-Махмуд са представени неговите изследвания в областта на квантовия контрол, приложени в класическата физика. Подобна контраинтуитивна комбинация е възможна поради съществуващите аналогии между законите, описващи явленията на квантовата и класическата физика. Основната идея на аналозиите е, че ако две явления се описват с едни и същи уравнения, трябва да е възможно да се наблюдава подобно (аналогично) поведение на описваните величини. Също така, решенията на уравненията, описващи едно от явленията, могат директно да бъдат прехвърлени към другото явление.

В дисертацията си г-н Ал-Махмуд демонстрира приложения на експериментални техники, разработени и първоначално приложени в атомната и молекулната физика за

приготвяне на малки квантови системи в произволно квантово състояние с почти 100% ефективност. Такива схеми (напр. STIRAP) се оказаха наистина много ефективни в някои случаи, но като цяло за тяхното успешно приложение е необходимо определени параметри (интензитет и честота на лазера, време на взаимодействие на системата с лазерното лъчение и др.) да са правилно подбрани. Като правило е много трудно да се реализират тези идеализирани условия и затова в групата по квантова оптика и квантовата информация са разработени няколко техники – обобщени като квантов контрол. Тези техники се основават на поредица от взаимодействия между квантовата система и кохерентно оптично поле, подходящо избрани, за да се сведе до минимум намаляването на ефективността на процеса поради отклонения на гореспоменатите параметри от техните оптимални стойности. Глава 2 на дисертацията е посветена на кратко въведение в квантовия контрол и са представени основните понятия. След това в глава 3 се обсъждат възможни приложения на квантовия контрол за класически обекти, имащи отношение към дипломната работа, а именно манипулиране на поляризацията и смесване на вълни в нелинейни оптични среди.

В следващите пет глави са изложени някои конкретни реализации.

В глава 4 е представен ширококолов поляризационен ротатор с регулируем ъгъл на въртене, съставен от три вълнови пластини. Аналогията между манипулирането на състоянието на атома чрез светлина и състоянието на поляризацията от двупречупваща среда е посочена още през 2010 г. от А. Рангелов и съавтори (Opt. Commun. 283, 3891-3894 (2010)). Оттогава са предложени няколко устройства за манипулиране на поляризацията на електромагнитната вълна. Дизайнът, представен в дисертацията и статия 1 от авторския списък, е опростен в сравнение с по-ранните ширококолов композитни ротатори (включително този от статия 5 на г-н Ал-Махмуд). Ъгълът на въртене може да бъде настроен чрез завъртане само на една от вълновите пластини, той е нечувствителен към първоначалната поляризация и това е предимство в сравнение с предишните устройства, съставени от много по-голям брой вълнови пластини.

В глава 5 е предложен регулируем не реципрочен забавител на вълни. Целта е да се реализира устройство, което да променя фазата на вълната в зависимост от посоката на нейното разпространение. Типичен пример за такива устройства е оптичният изолатор, който се използва в лазерните лаборатории за предотвратяване на осветяването на лазера с обратно отразена или разсеяна светлина. Системата, предложена от г-н Ал-Махмуд, се основава на комбинация от реципрочен поляризационен ротатор, не реципрочен магнито-оптичен ротатор и две четвъртвълнови пластини. В сравнение с традиционния дизайн (два поляризатора и магнито-оптичен ротатор) новото устройство изглежда доста сложно. Въпреки това, целта на авторите е (i) да предложат ширококолов устройство и също (ii) да направят устройството нечувствително към поляризацията на лазерната светлина. Такова устройство е представено в следващата глава 6. Тук е разработена и демонстрирана експериментално концепцията за регулируем не реципрочен забавител на вълни. Накрая авторът разглежда други приложения на забавителя, различни от оптичният изолатор.

Независещ от поляризацията оптичен изолатор е описан в глава 6. Дизайнът се основава на два ротатора на Фарадей, две полу вълнови пластини, поляризационен светоделител и линеен поляризатор. Това е интелигентно решение, демонстрирано и в експеримент,

което осигурява изолация над 43 dB за всички входни поляризации. Обичайните оптични изолатори работят при линейна поляризация на входа и много често на изхода поляризацията на лазерната светлина се променя. Устройството от тази глава работи при произволна входна поляризация и на изхода се запазва поляризацията на лазерната светлина. За да може да бъде постигнато това, са необходими два нереципрочни поляризационни ключа, които завъртат поляризацията на светлината на 90 градуса. Устройството изглежда доста сложно, въпреки че е това е оправдано предвид вложената в него нова функционалност. Освен това в края на глава 6 е представена версия само с един ротатор на Фарадей. Устройството от тази глава не е широколентово. Той обаче може поне да се настройва по същия начин като комерсиалните изолатори - а именно чрез промяна на дължината на Фарадеевия кристал в магнитното поле. Любопитен съм как може да бъде създаден изолатор, работещ в относително широк спектрален диапазон. Предлаганите идеи в Appl. Optics 52, 8528 (2013) приложими ли са?

Глави 7 и 8 представят идеи от различна област на физиката, тази на нелинейната оптика.

В глава 7 г-н Ал-Махмуд се възползва от аналогията между уравненията, описващи динамиката на квантова система с три нива и смесването на три електромагнитни вълни в нелинейна среда и предлага техника за композитно оптично параметрично усилване (ОРА). Като цяло, ОРА позволява смесване на две вълни, за да се получи вълна със сумата от техните честоти ($\omega_1 + \omega_2$) или с разликата ($\omega_1 - \omega_2$). Процесът привлича много внимание в съвременната оптика и това е принципът на работа на много комерсиални устройства. Проблемът на тривълновото смесване е фазовото съгласуване (синхронизиране) (виж уравнение 3.50 от дисертацията). За относително дълги лазерни импулси (няколко ps и теснолентово излъчване), ОРА може да се използва като регулируем източник на светлина. Тогава фазовата синхронизация се осъществява чрез въртене на нелинейния кристал като функция на генерираната дължина на вълната, което е трудно, но все пак възможна операция. При използване на ОРА при много къси импулси (широколентово излъчване) фазовата синхронизация не може да се реализира едновременно за цялата спектрална област и това е сериозно ограничение. Г-н Ал-Махмуд прави преглед на съществуващите решения и след това предлага нов подход. Той е заимстван от техниката на композитните импулси в ядрено-магнитния резонанс, по-късно широко използван в квантовата физика за кохерентен контрол и вече приложен за генериране на втора хармонична. Идеята е да се използва серия от нелинейни кристали, подредени един след друг, с променлив знак на нелинейната възприемчивост. Параметрите за оптимизация са дължините на кристалите и авторът демонстрира впечатляваща симулация, при която се постига много висока ефективност в рамките на около 200 nm спектрална област. За съжаление, тази техника не е демонстрирана експериментално, но е ясно, че за разлика от експериментите с поляризацията (глави 3-6), експерименталните условия тук са много по-предизвикателни и направата на композитен кристал с желаните свойства е задача, която изисква специализирано оборудване, недостъпно в стандартните оптични лаборатории. Надяваме се, че идеята ще вдъхнови компании, които могат да произведат такива кристали.

В глава 8 на дисертацията се разказва за приложението на техниката на композитните импулси за нелинейно честотно преобразуване. Нелинейната среда отново, както в глава 7, е конструирана като серия от подредени кристали с редуващи се знаци за нелинейността. Концепцията за каскадно нелинейно честотно преобразуване не е нова и

авторът дава достатъчно препратки към литературата, показващи напредъка в областта, постиженията, а също и проблемите до момента. Новата идея тук е да се използват загубите (поглъщането) в нелинейната среда като ефект и да се стабилизира броят на фотоните във взаимодействащите вълни. Целите са постигнати чрез оптимизиране на дебелината на сегментите на кристала. Оценявам ограниченията, поставени по време на процедурата по оптимизация, а именно да се избегнат дебелини под 5 μm . Очевидно, както и в останалата част от дипломната работа, авторът винаги се опитва да доведе теоретичните си разработки до работещо устройство, макар и поне демонстриращо принципът на работа. За съжаление и тук, подобно на композитното оптично параметрично усилване, тази идея изисква много сложно технологично оборудване.

Критични забележки и препоръки

Докторската дисертация е написана на много добър английски език, изложението е ясно. Структурата на дипломната работа също улеснява разбирането. Преди всяка глава има кратко въведение, а в края – повторение на основните резултати и заключение.

Нямам общи забележки, само коментар към стила на изложението. Части от дипломната работа предоставят много подробности по избрани теми (например теоретичните глави 2 и 3), по някои въпроси обаче са дадени по-малко подробни (за числените изчисления и оптимизации, софтуера, използван за изчисления и т.н.). За мен такива детайли са подходящи за докторска дисертация, където трябва да се демонстрира, наред с другото, широкия спектър от познания и опит на автора.

Имам няколко въпроса, които бих искал да бъдат отговорени по време на защитата:

1. Какво е ТЕ и ТМ? Тези термини се използват, но не са дефинирани.
2. В глава 6 се казва, че устройството се базира на два ротатора на Фарадей в комбинация с две полувълнови пластини.... Всъщност виждам още два поляризатора. Защо тези не са споменати?
3. Защо степента на изолация на фиг. 6.7 зависи от поляризацията? Каква е причината за този ефект? Теорията не го предвижда.
4. Глава 8. Моля да се покаже пример за оптимизирана каскадна нелинейна среда (брой и дължини на кристалите, нелинейни параметри).

Дисертацията се базира на пет публикации в добри списания, г-н Ал-Махмуд е първи автор в четири от тях, което изразява признанието на съавторите, че неговият принос е значителен. Последната статия е в съавторство с г-жа Елена Стоянова, тя се намира и в списъка с публикации за нейната докторска дисертация. Г-н Ал-Махмуд обаче не твърди, че има значителен принос в това изследване, резултатите не са докладвани в неговата дисертация, така че не виждам противоречие.

Заклучение

Резултатите, представени в дисертацията, са впечатляващи. Убеден съм, че приносът на автора към описаните в дисертацията изследвания е значителен, а самите изследвания са на много добро ниво. Дисертацията, рефератът и научните публикации на г-н Ал-

Махмуд покриват минималните национални научни изисквания на ЗРАС и Правилника към него, както и допълнителните изисквания на Физическия факултет на СУ „Св. Климент Охридски“. Подкрепям присъждането на образователна и научна степен „доктор“.

17.06.2022 г.

София