

РЕЦЕНЗИЯ

на дисертационен труд

за придобиване на образователна и научна степен „Доктор”

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: доц. д-р Наум Иванов Карчев в качеството му на член на научното жури съгласно Заповед № РД 38-251 / 23.05.2022. г. на Ректора на Софийския университет.

Тема на дисертационния труд: „ Приложение на Схеми за Кохерентен Квантов Контрол в Класическата Физика”

Автор на дисертационния труд: Мухамад Ал-Махмуд

I. Общо описание на представените материали

1. Данни за представените документи

Кандидатът Мухамад Ал-Махмуд е представил дисертационен труд и Автореферат, а така също и задължителните таблици за Физически ф-т от Правилника за условията и реда за придобиване на научни степени и заемане на академични длъжности в СУ „Св. Климент Охридски“. Представени са и 7 на брой други документи (диплома, CV, 5 публикации свързани с дисертацията)

Бележки и коментар по документите.

Представените по защитата документи от кандидата съответстват на изискванията на ЗРАСРБ, ППЗРАСРБ и Правилника за условията и реда за придобиване на научни степени и заемане на академични длъжности в СУ „Св. Климент Охридски“, (ПУРПНСЗАДСУ).

2. Данни за кандидата

Кандидатът получава бакалавърска степен по физика от Ливанския Университет в Ливан през 2015г. Магистърска степен получава от Университета в град Metz Франция през 2018 г. В магистърската програма той изучава квантова физика, електромагнетизъм и програмиране (Python&Mathlab). През втората година изучава фотоника, оптика и материали.

От 2017 до 2020 той е преподавател на свободна практика. Преподава в Университета в Metz физика математика и програмиране.

Изследователската дейност на кандидата е посветена на изучаване на различни схеми за Кохерентен Квантов Контрол и възможността математическия формализъм, описващ тези системи, да се използва при решаване на задачи свързани с класически оптични системи. Освен това се занимава с проектиране на оптични системи.

3. Обща характеристика на научните постижения на кандидата

Изследователската дейност на кандидата е посветена на изучаване на различни схеми за Кохерентен Квантов Контрол и възможността математическия формализъм, описващи тези системи да се използва при решаване на задачи свързани с класически оптични системи. Освен това се занимава с проектиране на оптични системи.

Научните публикации, включени в дисертационния труд отговарят на минималните национални изисквания (по чл.2б, ал.2 и 2 за ЗРАСРБ) и съответно на допълнителните изисквания на СУ „Св. Климент Охридски“ за придобиване на образователната и научна степен „Доктор“ в професионално направление 4.1 Физически науки.

Включените в дисертационния труд научни публикации не повтарят такива от предишни процедури за придобиване на научно звание и академична длъжност.

Няма доказано по законоустановения ред плагиатство в представените дисертационен труд и Автореферат.

4. Характеристика и оценка на преподавателската дейност на кандидата (ако има изискване в ПУРПНСЗАДСУ за това)

Нямам информация за учебно-педагогическата дейност на кандидата и не мога да я оценя.

5. Съдържателен анализ на научните и научно-приложните постижения на кандидата съдържащи се в материалите за участие в конкурса

Главната цел в Дисертацията е теоретично изследване на оптични системи с нови или по-добри свойства от тези на известните системи. Теоретичните резултати са експериментално потвърдени от автора на дисертацията и неговите колеги. Основната идея е да се използва математическия формализъм при изучаване на квантови системи при изследване на класически оптични системи. Тази квантово-класическа аналогия е движещата сила при получаване на новите класически системи.

Глава 2 на дисертацията е посветена на техниките за кохерентен квантов контрол.

Кохерентното управление има за цел да насочи квантовата система от първоначално състояние към целево състояние чрез външно поле. За дадени начални и крайни (цели) състояния, кохерентният контрол се нарича контрол от състояние до състояние. Тези кохерентни техники за квантов контрол са обширно използвани в ядрено магнитния резонанс, квантовата оптика и атомната физика.

Най-използваните квантови системи са системи с две и три нива. Те позволяват с помощта на външно поле да получим състояния които са суперпозиция на базовите състояния.

В случай на система с две нива основните понятия са: параметъра **разстройка** Δ който е разликата между честотата на приложеното поле и честотата на Бор, **честотата на Раби** Ω която характеризира силата на взаимодействие на квантовата система с външното електрично поле.

Нова стъпка която води до по-голяма точност и устойчивост на параметрите на крайното състояние е използването на **композиционни импулси**. Идеята е чрез поредица от последователни импулси с постоянна амплитуда, с фиксирана честота и различни фази да имитираме ефекта на единичен импулс. Успехът зависи от избора на фазите на импулсите.

Еволюцията с времето се задава с уравнение на Шрьодингер в което Хамилтонианът е матрица 2×2 $H(t)$ която зависи от времето. Решението на това уравнение се нарича **матрица на еволюцията** U с която се пресмята Вероятността P на прехода от началното състояние в крайното. За поредица от N импулса, всеки със своите параметри, матрицата на еволюция е произведение на всички еволюционни матрици.

Квантовата система с три нива има начално, междинно и крайно състояния. За да се прехвърли заселеността от началното състояние в крайното трябва да се приложат две лазерни полета. Напомпващо с честота на Раби Ω_r и Стоксово поле с честота на Раби Ω_s . Еволюцията на системата се описва с уравнение на Шрьодингер в което Хамилтонианът е матрица 3×3 зависеща от времето. Системата има два параметъра на разстройка. Когато те са равни задачата се опростява и в определен базис (светло-тъмен базис) и даже след серия от предположения се свежда до задача с Хамилтониан който е матрица 2×2 . Именно тази процедура ще се използва при квантово-класическата аналогия.

Идеите представени в глава 2 ще се използват в другите глави при описание на класически оптични системи.

В **глава 3** на дисертацията авторът обсъжда класически оптични системи използвайки аналогията на математическия формализъм с който те се описват и формализма използван за квантовите системи обсъждани в глава 2. Авторът разглежда три класически системи: система в която се манипулира поляризацията, в която има процес на оптично параметрично усиливане (ОПУ) на сигнала и система описваща среда със загуби в която се осъществява каскадно нелинейно честотно преобразуване.

Секция 3.1 е посветена на *поляризиращия ротатор*. Вълновата плоча е оптично устройство което променя поляризацията на светлинната вълна преминавайки през нея. В **3.1** на дисертацията е предложен нов дизайн на *поляризиращия ротатор*. За да се реализира тази задача се използва аналогията между уравненията описващи поляризация на светлината и уравнението на Шрьодингер за система с две нива. Поляризиращият ротатор, предложен в дисертацията, се състои от три вълнови плочи. Първата и третата плочи са на половин дължина на вълната и те изместват посоката на поляризация на линейно поляризирана светлина, а плочата между тях е пълновълнова плоча със същата дължина на вълната.

Динамиката на поляризацията на светлината във формализма на Jones се описва от двуконентен вектор на Jones който характеризира състоянието на светлинния поток. Той удовлетворява уравнение аналогично на уравнението на Шрьодингер в квантовата теория на системи с две нива. Формализмът на Jones се базира и на матрица на Jones описваща свойствата на оптичната система. В разглеждания случай матрицата е 2×2 и зависи от ъгъла на въртене Θ в равнината на поляризация и ъгъла ϕ който е характеристика на ефекта на двойно пречупване. Матрицата на Jones, у-ние 3.8 в дисертацията, е идентична на матрицата на еволюция в квантовата механика на система с две нива (у-ние 2.18). Тази аналогия на математическите формули позволява да напишем матрицата на Jones за последователност от оптични пластини като произведение от матриците на Jones за всяка една от пластините. Аналогията е очевидна, достатъчно е да сравним у-ние 3.12 за оптични системи и у-ние 2.19 за матрицата на еволюция на квантова система с няколко последователни импулса. Накрая авторът е дефинирал параметър на прецизност у-ние 3.10 по същия начин както е дефинирал параметъра за квантови системи у-ние 2.20. Така квантово-класическата аналогия позволява теоретически да се разработи устойчив ширококолентов поляризиращия ротатор от три вълнови пластини. Това е нов резултат, тъй като досега известните ротатори се състоят от 6 и повече пластини. Той е публикуван в "Physical Review Applied 13, №1 (2020) 014048.

В глава 4 се описва проста схема за поларизиращия ротатор състоящ се от само три вълнови плочи. Схемата е потвърдена експериментално. Теорията и експеримента са публикувани в "Physical Review Applied 13, №1 (2020) 014048.

Секция 3.2 е посветена на *нелинейната оптика*. Когато поляризацията на материал на който е приложено поле зависи линейно от полето казваме че имаме линейна оптика. Когато поляризацията зависи от полето на втора или по-висока степен казваме че имаме нелинейна оптика.

Нелинейна оптика може да се генерира прилагайки две полета с различна честота. При това може да се получи честотата на полученото поле да е сума или разлика на честотите на входните полета. Тези два случая се бележат SFG и DFG съответно. Важно приложение на този процес е генериране на излъчвания с контролируема честота в ултравиолетовата област чрез комбиниране на честотно фиксиран лазер с честотно регулируем такъв. Двата процеса са илюстрирани на фигура 3.4. Диаграмите показват аналогия с квантова система с три нива

фигура 2.1, като това е особено добре проявено при DFG процеса (фигура b). Тази аналогия е използвана за да се разработи теоретично устойчиво генериране на нови честоти в нелинейни кристали. Това е нов теоретичен резултат.

Секция 3.2.5 е посветена на **Оптично Параметрично Усилване (ОРА)**. Оптично параметрично усилване е оптически процес който води до усилване на сигнал за сметка на приложено поле-помпа. Това е специален случай на DFG, като двете входни полета са това на сигнала и помпата. В основата на Оптично параметричното усилване е нелинейното взаимодействие на три вълни. Две вълни с по-големи дължини на вълните и напмпваща вълна, която е най-къса. С цел да се постигне високо усилване на широколентовата честотна лента авторът разглежда модел със сегментиран кристал. На границите на домените ефективната възприемчивост от втори ред (коефициентът пред квадрата на приложеното поле в израза за поляризацията) сменя знака си. Това се прави за да има аналогия с композитните импулси, обсъждани в глава 2 на дисертацията, при моделиране на Ядрено Магнитен Резонанс. Така трите уравнения за смесване на вълни приличат на уравнение на Шрьодингер, като в квантовата механика вълновата функция зависи от времето, а в разглеждания случай амплитудата зависи от една от координатите. Решенията се получават числено което позволява да се достигне широколентовата честотна лента където става усилването. Това се прави за литиев ниобат (LiNbO₃). Тези изследвания са теоретично и числено обсъждани в **глава 7** на дисертацията където са обсъдени възможностите за увеличение на устойчивостта на оптичните процеси в схемата. Резултатът е публикуван в Applied Science 10 , , №4 (2020):1220. Той е нов научен резултат.

Секция 3.2.6 разкрива аналогията между **Каскадно Нелинейно Честотно Преобразуване в Среда със Загуби** и неермитова квантова система с три състояния. Използвайки тази аналогия, целта е да се създаде нелинеен кристал поддържащ стабилен пространствено зависимия интензитет. Аналогията е илюстрирана на фигура 5.1 в Автореферата където една Lambda квантова система с три нива подсказва как да се извърши каскадно нелинейно честотно преобразуване. Разглежда се нелинеен кристал от втори ред. Честотата на входната вълна ω_1 се преобразува чрез процеса на генериране на сумарна честота с помощта на интензивна помпа с честота ω_{p1} в междинна вълна с честота ω_2 която се абсорбира и взаимодейства с втората интензивна помпа за да генерира целевата вълна с честота ω_3 . Основната идея е да се използват силни загуби за междинната вълна докато останалите вълни остават без загуби. В крайна сметка използвайки аналогията между квантова система с три състояния и каскадно раждане на нелинейна честота в среда със загуби авторът създава модел за устойчиво генериране на нови честоти в нелинейни кристали. Това е нов теоретичен резултат.

Две задачи са описани от автора, като решението им не изисква да се използва аналогията с квантови системи. Първата е **проектиране на нересципрочна вълнова пластина**.

Конвенционалната вълнова пластина е оптичен елемент без загуба и като такъв позволява на светлината да се разпространява напред и назад през плочата с едно и също фазово изместване. В **глава 6** се предлага идея за създаване на вълнова пластина с регулируема не-реципрочност. Проектираната от автора и колеги не-реципрочна поляризационна вълнова пластина, е базирана на комбинация от реципрочен и не-реципрочен ротатор поставени между две четвърт вълнови пластини. Това е нова идея и резултатът е публикуван в *OSA Continuum* 4, 2695-2702 (2021).

Втората задача е проектиране и експериментална проверка на **Поляризационно Независим Оптичен Изолатор в определена конфигурация**. Схемата е въз основа на нов тип пръстен-новиден оптичен изолатор. Предимството е, че няма разлика между оптичните пътища на двете ортогонални поляризации. Проектираният оптичен изолатор е устойчив при промени в дължината.

6. Критични бележки и препоръки

Най-важната критична бележка е трудната връзка между дисертацията и автореферата. Някои фигури в автореферата не са включени в дисертацията, като например фиг. 5.1 която е много полезна. Номерацията на главите и секциите в дисертацията не са използвани в автореферата. Променен е даже и реда на представяне.

Искам да отбележа и няколко технически грешки: стр. 27 на дисертацията у-ние 3.2 и три реда над него.

7. Лични впечатления за кандидата

Не познавам лично дисертанта и нямам лични впечатления.

8. Заключение

След като се запознах с представените дисертационен труд, Автореферат и другите материали, и 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 образователната и научна степен „доктор“**. В частност кандидатът удовлетворява минималните национални изисквания в професионалното направление и 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 **образователната и научна степен „доктор“** в професионално направление 4.1. Физически науки на Мухамад Ал-Махмуд.

17.06. 2022 г.

Изготвил рецензията: доцент д-р Наум Иванов Карчев
(академична длъжност, научна степен, име, фамилия)