

РЕЦЕНЗИЯ

на дисертация за присъждане на образователната и научна степен „доктор”
по професионално направление: 4.1 Физически науки
Научна специалност: Физика на атомите и молекулите
на тема: „Квантово-оптични подходи в класическата оптика и неутринната физика”

Автор на дисертационния труд: Христина Стефанова Христова
Институт по физика на твърдото тяло, БАН, асистент

Рецензент: Доц. д-р Стефка Стефанова Карталева
Институт по електроника, БАН

1. Кратки биографични данни и характеристика на научните интереси.

Ас. Христина Христова завършва Физически Факултет на Софийски Университет "Св. Климент Охридски", Модул „Теоретична и математична физика“ през 2005г. на ниво магистър. От 2012г е редовен докторант към групата по “Квантова оптика и квантова информация “ във Физически Факултет на Софийски Университет “Св. Климент Охридски” по направление 4.1 Физически науки (Физика на атомите и молекулите). Отчислена е от докторантура с право на защита на 07.12.2016г. От 2016г. е на работа в Институт по физика на твърдото тяло, БАН на длъжност асистент.

2. Актуалност на разработвания в дисертационния труд проблем.

Дисертационният труд на асистент Христина Христова е посветен на ново научно направление свързано с квантово-оптични подходи в класическата оптика и неутринната физика. Въпреки, че квантовата и класическата физика се базират на много различни принципи, прилики между някои квантови и класически явления не са необичайни. Отначало този факт се е разглеждал от физиците с обикновено любопитство, докато съвсем наскоро става ясно, че такива аналогии между квантовата и класическата физика могат да бъдат използвани при теоретични и експериментални подходи в нововъзникващите научни области като квантови компютри и нано-устройства.

През последните години едно от основните приложения извън атомната и молекулната физика на Стимулирания раманов адиабатен процес (STIRAP) е извършено във

вълноводната оптика. То се основава на аналогията между времевата зависимост в уравнението на Шрьодингер и уравненията описващи разпространението на светлината в еванесцентно свързани вълноводи. Масив от N свързани вълноводи е формално аналогичен на квантова система с N енергетични нива. Променящото се пространствено разделение между вълноводите прави възможна промяната на оптичната връзка между тях. Тази промяна на оптичната връзка между вълноводите съответства на изменението на Раби честота във времето в квантова система в състояние на STIRAP. Следователно представената ми за рецензиране дисертация определено е по актуална тематика, като научните изследвания са изпълнени на съвременно ниво.

3. Преглед на дисертационния труд и анализ на резултатите

Дисертацията е оформена в 5 глави, като включва увод, заключение, библиография на цитираната литература, справка за основните приноси и списък с публикациите по дисертацията. Текстът е илюстриран с 26 фигури. Цитираната литература включва 71 заглавия. Докторантката е показала високо ниво на познаване на предходните изследвания. Литературният обзор и информационните източници са съвременни и в достатъчен обем, за да формират точно състоянието на проблема.

Дисертационният труд е изграден на базата на 3 публикации в престижното научно списание по физика Phys. Rev A., в което се публикуват базови резултати по най-модерните направления в областта на физиката. Публикациите вече имат 3 независими цитирания в международни научни списания. Подготвена за публикуване е четвърта статия. Представени са 7 доклада на международни научни форуми. Публикационната активност на дисертантката както по количество така и по качество надвишава изискванията на Физическия факултет, на СУ „Св. Климент Охридски“.

В Глава 1 се обсъждат разработвани в последните години аналогии между квантовата механика и вълновата оптика, при които известни подходи за кохерентен квантов контрол на атоми и молекули, като осцилации на Раби и стимулиран Раманов адиабатен преход, се прилагат при явления в областта на класическата оптична физика. Подбран квантов подход се имитира в реално работеща оптична система, което позволява допълнително да се задълбочи познанието ни за класическата система, а така също да се изследват сложни експерименти,

които трудно се реализират на практика. По този начин квантовият метод прави възможно по-нататъшното усъвършенстване на реалните експериментални системи.

Наличието на връзка между квантовия модел и физичното явление от вълновата оптика е демонстрирано от колежката Христова първо с извеждане на уравнението за разпространение на светлината във вълноводна двойка. Показани са основните стъпки при извеждането на уравнението на Максвел, описващо разпространението на светлината във вълноводи, които се използват в оптичните комуникации за разделяне, обединяване и превключване на оптични сигнали. Дисертантката демонстрира, че при определени условия основните резултати на квантовия модел на Раби (разработен за взаимодействие на светлинно поле с атоми и молекули) могат да бъдат приложени за анализ на вълноводни двойки с константни параметри. Определени са и условията за ефективно преобразуване на честотата на светлинни полета при разпространението им в нелинейни кристали.

В Глава 2 авторката представя систематично разработени от нея теоретични модели на квантово-класически аналогии, които са посветени на адиабатна еволюция на светлината в успоредно изкривени вълноводи. Първо е показано съществуващо теоретично решение за пренос на светлина в масив от два еднакви вълновода с кубично изкривена ос, което в тази глава е обобщено за случай на N вълновода. В подобни конфигурации вече съществуват експериментални оптични реализации на квантовия ефект Landau-Zener тунелиране, базирани на оптично свързани вълноводи. Във вълноводна оптична структура, времевата еволюция на вълновата функция на квантов преход в система от две нива е визуализирана експериментално посредством проследяване на сигнала на флуоресценция от вълноводите.

На базата на увеличения брой вълноводи, при последователно теоретично моделиране и анализ, е предложен оптичен експеримент за пренос на светлина между двата външни вълновода на масив от вълноводи, като са използвани идеи свързани с адиабатен пренос на населеност в квантова система с пресичащи се енергетични нива. Такъв подход обещава да бъде едновременно ефективен и надежден по отношение на вариации на параметри, като кривината на вълноводите и свойствата на съединенията между тях. По този начин се предполага, че системата ще бъде ахроматична и ще може да служи като ахроматичен оптичен делител.

В Глава 3 теоретично е анализирана аналогията между квантовия Стимулиран раманов адиабатен процес (STIRAP) в атомна (молекулна) система от три нива и широко прилагания

в класическата вълнова оптика пренос на светлина между оптични вълноводи. Авторката показва, че квантово-оптична аналогия може да съществува между разпространението на светлината в извити съчетани вълноводи и кохерентния пренос на населеност, индуцирана от лазерно поле, в атомни или молекулни системи. Физичната база за това подобие е, че един вълновод, при различни видове радиация се държи като изолиран атом. Въвеждане на периодична кривина на оста на вълновода имитира действието на лазерно поле, което може да предизвика оптични преходи между енергетичните състояния на атома. В оптичната система времето развитие на електронното състояние в атома се преобразува в пространствено разпространение на светлинните вълни във вълноводите. По този начин състоянието на атома може да се визуализира експериментално с реални светлинни изображения.

Считам, че представените от колежката Христова теоретични резултати са от особена значимост, защото в оптичната сфера може да се наблюдават все още неизследвани ефекти на атомната физика. Методи за кохерентен пренос на населеност в атоми или молекули, осъществявани с помощта на лазерни импулси, могат да бъдат използвани за прехвърляне на светлина между еванесцентно свързани оптични вълноводи по неинтуитивен за класическата физика начин. Например, определен класически аналог на STIRAP дава възможност за прехвърляне на светлина между два външни вълновода на един вълноводен масив посредством пренебрежимо малко светлина, която преминава през междинните вълноводи.

Дисертантката разглежда подробно и аналогията между уравненията, описващи разпространение на светлината в масив от три вълновода и описанието на квантова система с три нива. Показва възможност за адиабатно прехвърляне на сигнали между вълноводите, като в преноса на сигнал участват всичките три адиабатни състояния. По този начин задачата е решена в общия случай и са получени нови резултати с потенциал за приложение при разработка на нови интегрални схеми.

В Глава 4 е предложен нов метод за нелинейно преобразуване на честота, който се базира на аналогия с адиабатен пренос на населеност между две квантови състояния. Ефективен пренос на населеност се осъществява посредством прескок на фазата във взаимодействието на атомите с импулсно светлинно поле. Предложена е схема за експериментална реализация на метода, която включва два лазерни снопа с различни честоти, които са фокусирани в нелинеен кристал. Двете половини на кристала са поляризиращи в противоположни посоки.

Като резултат от нелинейното взаимодействие на двата лъча с гаусови профили, разпространяващи се в кристала, се генерира светлинно поле с нова честота. Предимството на този подход е, че той се предвижда да е със съществено намалена критичност по отношение на фазовата разлика между падащите върху кристала светлинни снопове.

4. Представяне на резултатите

Дисертацията е написана в прецизен научен стил, като са цитирани съвременни научни публикации на много автори, публикувани в авторитетни научни списания. В логична последователност са представени значителен брой теоретични модели като ударението на описанието пада основно върху физичната интерпретация на резултатите, която е направена последователно, акуратно, ясно и убедително. Значителният брой числени резултати са богато илюстрирани графично, така че дисертацията се чете с интерес и е написана с доброжелателност към читателя.

Авторефератът вярно отразява съдържанието на дисертацията.

Критични забележки към дисертацията нямам.

5. Заключение

Отчитайки обема на представените в дисертацията научни резултати, тяхното високо качество и актуалност, препоръчвам на уважаемото Научно жури да присъди на асистент Христина Стефанова Христова за дисертационния и труд на тема: „Квантово-оптични подходи в класическата оптика и неутринната физика” образователната и научна степен „Доктор” по Научна специалност: Физика на атомите и молекулите.

29.03.2017г.

Рецензент:

/Доц. д-р Стефка Карталева/