

РЕЦЕНЗИЯ

Върху дисертационен труд за получаване на научната и образователна степен “Доктор”.

Автор на дисертационния труд: **Христина Стефанова Христова**.

Тема на дисертационния труд: **Квантово-оптични подходи в класическата оптика и неутринната физика**.

Рецензент: професор дфн. **Светослав Рашев Славов**, ИФТТ БАН.

Актуалност на проблема. Без никакво съмнение, темата на този дисертационен труд е актуална. Това се доказва от нарастващия брой изследвания а също и на организирането на специални международни конференции през последните години, посветени на прилагането в различни клонове на физиката на теоретични техники, първоначално развити и използвани в квантовата теория. Действително, теоретичните резултати и достижения, получени при изучаването на динамиката и спектрите на атомни системи с три и повече нива, взаимодействащи с различни по брой, интензитет, времетраене, поляризация и т.н. светлинни полета (импулси), се оказват много полезни за анализиране на задачи и проблеми от съвсем различни научни области, когато съответните уравнения могат да се сведат до вече познат и изучен тип уравнения, чиито решения са известни. По такъв начин се оказва възможно например, да се изследват усложнени модели на вълново-оптични устройства и да се установят а и предскажат нови и неочаквани техни свойства и практически приложения. Но обхватът на явленията и областите от физиката, където могат да намерят приложение указаните теоретични подходи и техники е наистина впечатляващ и включва освен вълновата оптика, още явления в твърди тела, фотонни кристали, елементарни частици и др.

В дисертацията са разгледани и анализирани няколко конкретни задачи които, макар да са обединени от общата тема, в действителност представляват самостоятелни оригинални изследвания, всяко от които притежава висока научна стойност и като идея и като реализация. Главите 2, 3 и 4 на настоящата дисертация, отнасящи се до вълновата оптика, съдържат теоретични изследвания и нови резултати, които имат тясна връзка с експеримента и непосредствена потенциална приложимост. Глава 5 има фундаментален характер и разглежда модел на неутринните осцилации.

Използван е богат арсенал от математични методи и техники, с които очевидно докторантът и неговият ръководител боравят свободно и умело. Във всички случаи са получени

сравнително прости крайни уравнения и съотношения, които изящно и успешно демонстрират получените резултати. По такъв начин се подчертава и изяснява физическият смисъл на резултатите и възможностите за тяхната експериментална проверка и приложимост.

Христина Христова познава състоянието на проблема. В първата глава на дисертацията а и в допълнението накрая, тя запознава читателя с теоретичните основи на използвания подход, с основните използвани модели и уравнения от квантовата физика и с техните решения. Изложението е разбираемо и насочено към физиката на процесите. Въведени са и кратко са дефинирани и обяснени използваните по-нататък в дисертацията понятия, модели, уравнения и математични техники.

Цитираната литература включва 71 заглавия, които достатъчно пълно отразяват актуалното състояние на разглежданите в дисертацията въпроси.

В началото на всяка глава, при разглеждане на конкретен научен проблем, се прави кратък преглед на актуалното състояние на изследванията по проблема с цитиране на най-новите публикации и се очертават възможностите за актуални изследвания и приложения. За съжаление, в края на главите не се дава кратък преглед и обобщение на основните получени резултати в съответната глава, което би било от полза за читателя.

Общ преглед на дисертационния труд

В дисертацията, освен уводната първа глава 1, са включени още четири глави 2-5, съдържащи оригиналните изследвания на автора и една последна, заключителна глава 6. Всяка от тези четири глави 2-5 е посветена на едно самостоятелно изследване: разгледан е метод за адиабатно прехвърляне и преразпределяне на светлинни импулси в масив от няколко паралелни огънати световоди (глава 2); предложен е метод за ефективно пренасочване (прехвърляне, разпределяне) на сигнал в система от три вълновода (глава 3); предложена е нова техника за честотно преобразуване (сумиране) в нелинеен кристал със скок в поляризуемостта (глава 4); намерени са аналитични изрази, описващи вероятностите за преход в система от две активни и едно стерилно неутринни състояния (глава 5). В почти всички случаи теоретичните изследвания са насочени към предлагането на реални процеси и устройства, които биха могли да се проверят експериментално и да се използват практически. Дисертацията е написана на 87 страници, а цитираната литература включва 72 заглавия. Изложеният материал в дисертацията е публикуван в 3 статии във *Physical Review A*. Върху съдържанието на глава 5 от дисертацията, се подготвя още една статия. Материалът от дисертацията е представен на 7 международни

конференции и симпозиуми. Има забелязани 3 независими цитирания на тези статии в литературата досега, но не е указано на кои точно статии са цитатите. Тази публикуемост на материала от дисертацията прави много силно впечатление и далеч надхвърля стандартните изисквания. Глави 2, 3 и 4 са написани на безупречен английски език, какъвто е и езикът на съответните три публикации, а останалите части – на не чак толкова добър английски. Основните резултати и научни приноси в края на дисертацията, са добре формулирани и правилно отразяват представения материал.

Кратка аналитична характеристика на работата.

Втората глава на дисертацията съдържа теоретични изследвания върху масиви, състоящи се от 3 до 5 леко огънати паралелни вълноводи, намиращи се върху плоска подложка, при което си взаимодействат само съседните вълноводи. Показано е, че Хамилтонианът и уравненията за разпространение на светлина по дължината z на вълноводите в такава система, могат да се сведат до уравненията, описващи времевата динамика на квантова система със същия брой пресичащи се нива колкото са вълноводите, под въздействието на подходящи светлинни полета, когато времето t се замени с z . За масив от 3 вълновода е показано, че при изпълнение на условията за адиабатност, може да се намерят такива подходящи стойности на параметрите, при които светлината да се прехвърля изцяло от единия краен вълновод в другия краен (или обратно), или пък светлината влизаща в някой от вълноводите, при излизане да се разпределя между два произволно избрани или между всичките три вълновода, в предварително зададено съотношение на интензивностите. Аналогични резултати могат да се постигнат и са демонстрирани (посредством числени симулации) и за масиви от 4 и 5 вълновода. По такъв начин е показано, че разглежданите масиви от вълноводи биха могли да намерят практическо приложение като устройства за много ефикасно прехвърляне на светлина от един вълновод в друг, за преразпределяне и разцепване на светлинен лъч в желано съотношение на интензивностите.

В третата глава на дисертацията е предложен и разгледан адиабатен троен вълноводен разпределител, работещ на основата на аналогия с техниката STIRAP (стимулиран Раманов адиабатен процес), първоначално развита за целите на атомната физика. Отново се разглежда масив от три паралелни вълновода, нанесени върху плоска подложка, при което двата крайни вълновода имат един и същ индекс на пречупване n_1 , средният има различен индекс n_2 , а подложката има индекс n_3 . Съществуват слаби взаимодействия на всеки от крайните вълноводи със централния, които имат Гаусова форма (по дължината z на вълноводите), но с максимуми при различно z . За да се определи еволюцията по z на всяка от трите амплитуди на

монохроматичните светлинни вълни, разпространяващи се по отделните вълноводи, е написана система от три диференциални уравнения, които се представят в адиабатен базис, за да се получат условията за адиабатна еволюция на системата. Тези условия се свеждат, най-общо, до изискването за слаба зависимост на взаимодействията и разликата в константите на разпространение между крайните и централния вълновод, от z . Решавайки системата диференциални уравнения, се извеждат експлицитни формули за матричните елементи на еволюционния оператор на цялата система, които дават възможност да се получат амплитудите на изхода на всеки от вълноводите, при зададени стойности на амплитудите на входа (квадратите на амплитудите дават съответните интензитети на светлинните вълни). С помощта на тези формули, са разгледани няколко интересни случая на манипулиране на входящите светлинни полета, за да се получат на изхода на всеки от отделните вълноводи различни комбинации от входящите полета, които всъщност представляват вълноводни устройства с различни (и отнапред зададени) начини на действие. Разгледан е първоначално случая на две входящи вълни в двата крайни вълновода, където при подходящо зададени параметри на системата, са възможни следните случаи: на изхода двете вълни да си сменят местата; да се получи пермутация на вълните, като вълна 1 се премести на място 3, а вълна 3 да отиде на място 2; вълната от 3 да се разпредели между местата 1 и 2, а пък вълната от 1 да отиде на място 3. Когато има входящи вълни и на трите вълновода, при подходящ избор на параметрите може да се постигне вълново смесване, при което на местата 1 и 2 да се получат суперпозиции на вълните от 2 и 3, а на място 3 да отиде вълната 1. За случая на една входяща вълна (напр. на 1), е възможно тя да отиде на място 3, при това при две различни комплекта от стойности на параметрите на вълноводната система (случай на Bright STIRAP и случай на STIRAP). Показано е, че тази техника е много устойчива на изменения както на честотата на светлинните вълни, така и на други параметри на устройството, като дължина, температура, и др.

В четвъртата глава на дисертацията е предложен и развит оригинален метод за честотно преобразуване в нелинеен кристал, базиращ се върху аналогията с добре познатия адиабатен пренос на заселеност между две квантови състояния, при наличието на скок в знака на взаимодействието. Два лъча с Гаусов профил – напмпващ с честота ω_1 и основен с честота ω_2 (с постоянна фазова разлика Δk) – са фокусирани в нелинеен кристал, който има промяна на знака на ефективната възприемчивост от втори ред $\chi^{(2)}$ в центъра. На изхода на кристала се генерира лъч с честота $\omega_3 = \omega_1 + \omega_2$, в сравнително широк диапазон на фазовата разлика Δk . Необходимият скок в знака на $\chi^{(2)}$ се получава, ако двете половини на нелинейния кристал са поляризиращи в противоположни посоки, а необходимият профил на взаимодействието се

формира чрез модулиране на интензитета на напompващия лъч, в комбинация с подходяща фокусировка. Работата на модела е демонстрирана с числени симулации на конкретен процес на генерация на сумарна честота (SFG): $750\text{nm} (o) + 1500\text{nm} (o) \rightarrow 500\text{nm} (e)$, в кристал $\text{MgO}:\text{LiNbO}_3$ (5 mol. % MgO). Показано е, че сумарната температурна ширина на висока ефективност на преобразуването за кристал със скок на взаимодействието, е съпоставима с тази на около 10 пъти по-къс единичен кристал. Това заключение има важно значение, предвид технологичните трудности които понякога възникват при изработване на много тънки кристали.

В **петата глава** на дисертацията се разглежда проблема на неутринните осцилации с участието на три неутрина – едно електронно, едно μ - или τ -неутрино и едно стерилно неутрино. Стерилното неутрино е невъзможно да бъде наблюдавано директно чрез своите взаимодействия с материята и може би единствената възможност да бъде установено неговото съществуване е посредством наблюдаване на осцилациите на вероятностите за преход между стерилното и някое от другите аромати неутрино. Задачата е разгледана с помощта на познатия от атомната физика и точно решим модел LZSM (Ландау-Ценер-Щюкелберг-Майорана), който е обобщен за система с повече нива. Приемайки някои разумни приближения в използвания модел и при допускане за слабо променяща се електронна плътност, са получени аналитични изрази за вероятностите на преход между състоянията на системата. Показано е, че тези вероятности съдържат интерференчни членове, които водят до бързи осцилации около стойностите 1 или 0, за всички плътностни интервали. Получените резултати биха могли да представляват интерес за неутринната физика.

Напълно съм убеден, че **материалът върху който се градят приносите на дисертацията, е достоверен**. Това следва както от доказаното високо качество на теоретичната работа, внимателните анализи и проверки на резултатите с използване на многобройни и разнообразни теоретични техники, така и от ранга на научните списания, в които са публикувани резултатите а и от престижните международни форуми, на които са докладвани резултатите.

Моето мнение е, че **основните научни приноси** в дисертацията се заключават в получаване на голямо количество нови научни факти а също и на потвърдителни факти, допринасящи за обогатяване на познанията в една актуална и бързо развиваща се научна област, с голямо теоретично и приложно значение.

Авторефератът е написан кратко и ясно и напълно отговаря на изискванията и правилно отразява извършената работа и приносите в дисертацията.

Личен принос на Христина Христова. От проведения разговор с Христина Христова се убедих, че нейният принос е значителен и напълно достатъчен, както при получаване на научните резултати, така и в написването на статиите по дисертацията, представяне лично от нея на устните и постерните доклади, а също и написването на самата дисертация (на английски език) и на автореферата.

Критични бележки. Според мен има формално несъответствие между интервала на изменение на променливата z в Хамилтониана (2.4) (от $-L_z/2$ до $L_z/2$), чиито решения са представени на фигури 2.3-8, и обозначенията на оста z в тези фигури, която се мени в интервала от 0 до L_z . Това несъответствие съществува също така и в Автореферата, а и в съответната статия във Phys. Rev. A. Освен това, не можах да разбера защо вълноводите в глава 2 трябва да са огънати а не прави. Не забелязах огъването някъде да се използва при разглежданията.

Общо заключение. Напълно съм убеден, че работата представлява един ценен дисертационен труд и научен принос, който не само удовлетворява но и далеч надхвърля традиционните изисквания. Поради това, без колебание ще гласувам за присъждане на научната и образователна степен Доктор на Христина Стефанова Христова.

София, 7 Март, 2017 г.

Рецензент:



/ Светослав Рашев /