

РЕЦЕНЗИЯ

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

Автор на дисертационния труд: **Явор Янков Бораджиев**.

Тема на дисертационния труд: **Кохерентен контрол на адиабатна и неадиабатна еволюция на прости квантови системи**.

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

Актуалност на проблема. Без никакво съмнение, темата на този дисертационен труд е актуална. След създаването на първите лазери – източници на кохерентно лъчение – в началото на шейсетте години на миналия век и последвалото тяхно бурно развитие, продължаващо с пълна сила и сега, особено значение придобиха процесите на кохерентно взаимодействие на светлината с квантови (атомни и молекулни системи). Изучаването на тези явления представлява както чисто научен проблем така и важна практическа задача, с оглед многобройните приложения в спектроскопията, молекулната динамика, селективната химия, квантовата информация и др. В тази научна област, за разлика от много други клонове на физиката, теоретичните и експерименталните изследвания обикновено са много тясно преплетени и взаимно се допълват. Настоящата дисертация съдържа теоретични изследвания, които имат тясна връзка с експеримента и непосредствена потенциална приложимост. Разгледани са прости квантови системи с две и три нива (в редки случаи повече нива), в които обаче са разкрити нови възможности, благодарение на интересно подбраните и моделирани кохерентни лазерни полета (импулси).

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 изясно и успешно демонстрират получените резултати. За всеки отделен случай е изяснена границата на приложимост на направените при теоретичното разглеждане приближения, задаваща областта на приложимост на получените резултати. По такъв начин винаги се подчертава и изяснява физическият смисъл на резултатите и възможностите за тяхната експериментална проверка и приложимост.

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.

Явор Бораджиев познава състоянието на проблема. В първата глава на дисертацията той запознава читателя с теоретичните основи на използвания подход, с неговите специфични особености, ограничения и предимства. Изложението е разбираемо и насочено към физиката на процесите. Въведени са и кратко, но ясно са дефинирани и обяснени използваните по-нататък в дисертацията понятия, модели, уравнения и математични техники. Описани са свойствата на квантовите системи с две или три нива, свойствата на кохерентните лазерни полета и формализма за описване на взаимодействието на лазерните полета с квантовите системи, както и на еволюцията на квантовата система под влияние на лазерните импулси.

В началото, при разглеждане на всеки отделен научен проблем, се прави кратък преглед на актуалното състояние на изследванията по проблема с цитиране на най-новите публикации и се очертават перспективите за бъдещи изследвания и приложения.

Общ преглед на дисертационния труд

В дисертацията, освен тази първа глава, са включени още три глави, съдържащи оригиналните изследвания на автора. Всяка от тези три глави е посветена на едно или две самостоятелни изследвания: върху поведението на спектралната линия на възбуждане в система с две нива при различни по форма, интензитет и честота лазерни импулси (втора глава), ефективността на стимулирания Раманов адиабатен преход на заселеност при отместване от двуфотонен резонанс в система с три нива в Λ -конфигурация, както и зависимостта на времето на прехода от параметрите на двата импулса (трета глава) и случая на специфично стъпаловидно възбуждане и адиабатен преход на заселеността в система с две нива (четвърта глава), съответно. В края на всяка от тези глави кратко и ясно са формулирани основните изводи от получените в съответната глава резултати, което значително облекчава четенето и разбирането на текста. Дисертацията е написана на 118 страници, а цитираната литература включва 72 заглавия. Изложеният материал в дисертацията е публикуван в 3 статии във високо престижни международни научни списания (две във *Physical Review A* и една в *Optics Communications*). Върху материала от дисертацията са написани още две статии, които се подготвят за публикуване във *Physical Review A*. Има забелязани 2 независими цитирания на тези статии в литературата, въпреки че публикациите са от последните две години. Тази публикуемост на материала от дисертацията прави много силно впечатление и далеч надхвърля стандартните изисквания. Дисертацията е написана на безупречен английски език, който съвсем леко се влошава в края на изложението. Основните резултати и научни приноси в края на дисертацията, макар и описани по малко нетрадиционен начин, са добре формулирани и правилно отразяват представения материал.

Кратка аналитична характеристика на работата.

Втората глава на дисертацията съдържа изследвания на влиянието на времевата форма на лазерния импулс върху степента на динамично уширяване или стесняване на спектралната линия. Според общоприетото схващане, при увеличаване на интензитета на лазерното лъчение нараства и динамичното уширяване на спектралната линия. Такъв е случаят при непрекъснато лазерно облъчване. Обаче при облъчване с лазерни импулси със строго зададен времеви профил, това може да не е така, т.е. спектралния профил да не нараства с интензитета и в някои случаи дори да се стеснява. Анализирани са системи с две нива, използвайки понятията за адиабатна еволюция и кохерентно възвръщане на заселеността на системата, която в началния момент се намира в своето долно състояние. Изследвани са импулси с различно асимптотично времево поведение при $t \rightarrow \pm\infty$, а също и такива с крайна продължителност но симетрична форма. Особено подробно са изследвани двата случая на импулси с експоненциално и с полиномиално затихващи крила. Показано е, че при импулси с полиномиално затихващи крила, интервалът на адиабатичност на разстройката от резонанс (в който се извършва ефективен пренос на заселеност към горното ниво) се стеснява с нарастване на пиковата Раби честота Ω , т.е. имаме динамично стесняване на профила на линията. Именно този е централният резултат на това изследване, който съдържа значителна доза ново знание и е от особена важност за експерименталните приложения, напр. когато е необходимо мощно но същевременно селективно възбуждане на реални атомни и молекулни системи. При импулсите с експоненциални асимптотики на крилата, в зависимост от показателя на експонентата n е показано, че или липсва динамично уширение с Ω , или то е слабо логаритмично – нещо, което вече е било демонстрирано експериментално.

В същата глава е предложено и разгледано лазерното манипулиране на кубит (атом с две нива) с помощта на крайни импулси със синусоидална времева форма, вместо обичайно използваните за целта правоъгълни импулси. Показано е, че при използването на синусоидални импулси се получава значително по-малко динамично уширение на спектралната линия отколкото при правоъгълните импулси, за една и съща Раби честота Ω . Поради това синусоидалните импулси са много подходящи за ефективно (селективно и експресно) манипулиране на кубита (прехвърляне на заселеност в горното квантово състояние), когато това състояние е разположено близо до друго (трето) състояние чието заселване трябва да бъде избегнато. Показано е, че подобни предимства съществуват и при възбуждане и манипулиране на системи с повече нива.

В **третата глава** на дисертацията са разгледани някои нови аспекти на процеса СТИРАП – стимулиран Раманов адиабатен преход, който представлява една добре установена техника за

пълен и устойчив пренос на заселеност от първото към третото състояние на система с три нива в Λ -конфигурация. В досегашната практика на приложение на тази техника обикновено се приема, че за осъществяването на ефикасен пренос на заселеност от първото към третото ниво, възбуждането на системата трябва да удовлетворява условието за двуфотонен резонанс $\delta=0$. Други важни условия за осъществяване на пълен пренос на заселеност, са поддържането на условия за адиабатно протичане на процеса, както и на обърнатата времева последователност на двата импулса, при което Стоксовият импулс (свързващ двете нива 1 и 2), предхожда по време на помпващия импулс (свързващ нивата 0 и 1). Освен това е необходимо двата импулса да имат близки Раби честоти. При това липсата на заселеност на междинното състояние 1, което в реалния случай често се оказва високо възбудено електронно състояние свързано с канали на необратим разпад извън системата, се оказва важна предпоставка за успешното протичане на процеса СТИРАП, който намира многобройни приложения в спектроскопията и квантовата оптика. Тук обаче, авторите изследват ситуацията, когато двете Раби честоти могат да имат значително различаващи се пикови стойности (а също и времева площ на импулсите), в резултат на което се нарушава изискването за двуфотонен резонанс. Получени са прости аналитични изрази за характерната ширина и максимума на двуфотонния профил на прехвърляне на заселеността, който вече не е симетрична функция на разстройката от двуфотонен резонанс δ . Въз основа на тези изрази е оценена оптималната разстройка от двуфотонен резонанс δ , осигуряваща максимално ефективен пренос на заселеност.

Освен профила за двуфотонен трансфер на заселеност при СТИРАП, важно е и ефективното време за протичане на този процес, поради възможното необратимо изтичане на заселеност извън системата, от междинното състояние 1. В трета глава на дисертацията е проведен подробен анализ на зависимостта на характерното време за протичане на процеса, от продължителността на двата импулса, закъснението между тях и тяхната последователност във времето – интуитивна (Стоксов след на помпващ: *b*-СТИРАП) или контраинтуитивна (на помпващ след Стоксов). Прости изрази за времето на преход са изведени за три различни вида импулси – Гаусови, хипергаусови и степени на косинуси. Изразите показват, че времето на преход е обратно пропорционално на закъснението τ между двата импулса а също така в общия случай пропорционално на ширината на импулсите.

При *b*-СТИРАП, който изисква ненулева еднофотонна разстройка Δ , времето за преход има качествено различно поведение при малки и при големи стойности на Δ . За големи стойности на Δ , *b*-СТИРАП има подобни свойства на СТИРАП. Но при малки Δ , *b*-СТИРАП има различно поведение и времето за преход нараства линейно със закъснението между импулсите δ и тяхната ширина.

Последната **четвърта глава** на дисертацията разглежда един специфичен метод и модел (стъпаловиден процес) на възбуждане и манипулиране на квантова система с няколко нива, с помощта на серия от фемтосекундни импулси – честотен гребен, позволяващ да се обединят предимствата на двата основни метода за квантов контрол – кохерентния контрол (КК) и адиабатния преход (АП). Това е една съвсем нова техника, предложена в литературата през последните години. Теоретичното разглеждане в дисертацията е насочено към изясняване на условията за постигане на устойчив (адиабатен) пренос на заселеност в система с две нива, под действието на серия от голям брой свръхкъси импулси със слабоменяща се от един към друг импулс фаза и амплитуда (делта гребен). Твърде сложният първоначален Хамилтониан на тази система се трансформира в един опростен ефективен гладък Хамилтониан, използвайки последователно адиабатната теория на Флоке, пертурбационна теория от типа на Колмогоров-Арнолд-Мозер както и двукратното прилагане на приближението на въртящата се вълна. Анализът на тази система позволява да се установят условията за ефективна адиабатна еволюция на първоначалния модел, за която е показано, че се постига при голям брой на импулсите и слабо изменяща се от импулс към импулс площ и фаза. Заключениета от аналитичните оценки са илюстрирани числено за случая на серия от Гаусови импулси, с Гаусово изменение на техните амплитуди и квадратично изменение на фазите. Тези изследвания са особено важни с оглед потенциалните приложения на стъпаловидната техника за кохерентен контрол на системи с повече нива, където тя може да се окаже изключително полезна.

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.

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 много добре, напълно отговаря на изискванията и правилно отразява извършената работа и приносите в дисертацията.

Личен принос на Явор Бораджиев. От проведения разговор с Явор Бораджиев се удехих, че неговият принос е значителен и напълно достатъчен, както при получаване на научните

резултати, така и в написването на статиите по дисертацията, изнасяне на устните и постерните доклади, а също и написването на самата дисертация (на английски език) и на автореферата.

Критични бележки. Нямам.

Общо заключение. Напълно убеден съм, че работата представлява един ценен дисертационен труд и научен принос, който не само удовлетворява но и далеч надхвърля традиционните изисквания. Поради това, без колебание препоръчвам на членовете на журито по защитата, да гласуват за присъждане на научната и образователна степен Доктор на Явор Бораджиев.

София, 20 Март, 2013 г.

Рецензент:



/ Светослав Рашев /