

ՀՀ ԿՐԹՈՒԹՅԱՆ ԵՎ ԳԻՏՈՒԹՅԱՆ ՆԱԽԱՐԱՐՈՒԹՅՈՒՆ
ԵՐԵՎԱՆԻ ՊԵՏԱԿԱՆ ՀԱՄԱԼՍԱՐԱՆ

ԳՈՌ ԱՐԹՈՒՐԻ ԱԲՈՎՅԱՆ

ԱՏՈՄԻ ՔՎԱՆՏԱՅԻՆ ՂԵԿԱՎԱՐՈՒՄԸ ԲԱԶՄԱԲԱՂԱԴԻՉ ԴԱՇՏԵՐՈՎ

Ա.04.02 - «Տեսական ֆիզիկա» մասնագիտությամբ
ֆիզիկա-մաթեմատիկական գիտությունների թեկնածուի
գիտական աստիճանի հայցման ատենախոսության

ՄԵՂՍԱԳԻՐ

ԵՐԵՎԱՆ-2017

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РА
ЕРЕВАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

АБОВЯН ГОР АРТУРОВИЧ

КВАНТОВЫЙ КОНТРОЛЬ АТОМА С ПОМОЩЬЮ
МНОГОКОМПОНЕНТНЫХ ПОЛЕЙ

АВТОРЕФЕРАТ

Диссертации на соискание ученой степени кандидата
физико-математических наук по специальности
01.04.02 - “Теоретическая физика”

ЕРЕВАН - 2017

Ատենախոսության թեման հաստատվել է Երևանի պետական համալսարանում:

Գիտական ղեկավար՝ ՀՀ ԳԱԱ թղթակից անդամ, ֆիզմաթ. գիտ.
դոկտոր, պրոֆեսոր
Գագիկ Յու. Կրյուչկյան

Պաշտոնական ընդդիմախոսներ՝ ֆիզմաթ. գիտ. դոկտոր, պրոֆեսոր
Համլետ Կ. Ավետիսյան,
ֆիզմաթ. գիտ. դոկտոր, պրոֆեսոր,
Ասոսմ Ժ. Մուրադյան

Առաջատար կազմակերպություն՝ Հայ-ռուսական (սլավոնական) համալսարան

Պաշտպանությունը կայանալու է 2017թ մայիսի 6-ին, ժամը 12⁰⁰-ին, Երևանի
պետական համալսարանում գործող ՀՀ ԲՈՀ-ի Ֆիզիկայի 049 մասնագիտական
խորհրդի նիստում: Հասցեն՝ 0025, Երևան, Ալեք Մանուկյան փ. 1, ԵՊՀ:

Ատենախոսությանը կարելի է ծանոթանալ ԵՊՀ գրադարանում: Մեղմագիրն
առաքված է 2017թ ապրիլի 4-ին:

Մասնագիտական խորհրդի գիտական քարտուղար՝ Վ. Պ. Քալանթարյան
ֆիզ. -մաթ. գիտ. թեկնածու, դոցենտ

Тема диссертации утверждена в Ереванском государственном университете.

Научный руководитель: член-корреспондент НАН РА, доктор физ.-мат.
наук, профессор
Гагик. Ю. Крючкян

Официальные оппоненты: доктор физ.-мат. наук, профессор
Гамлет К. Аветисян
доктор физ.-мат. наук, профессор
Атом. Ж. Мурадян

Ведущая организация: Российско-армянский (славянский) университет

Защита диссертации состоится 6 мая 2017г. в 12:00 часов,
на заседании специализированного совета ВАК 049 по физике при Ереванском
Государственном Университете по адресу: 0025, Ереван, ул. А. Манукян 1.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ЕГУ.
Автореферат разослан 4 апреля 2017г.

Ученый секретарь специализированного совета
кандидат физ.-мат. наук, доцент

В. П. Калантарян

Աշխատանքի ընդհանուր նկարագիրը

Թեմայի արդիականությունը

Տեխնոլոգիական զարգացումները քվանտային օպտիկայում խթան դարձան ռեզոնատորային խիստ քվանտացված դաշտի հետ ատոմի փոխազդեցության դինամիկայի ուսումնասիրման համար: Խնդիրների այս դասում քվանտացված են ոչ միայն ատոմի այլ նաև դաշտի վիճակները: Ատոմների բեկումը քվանտացված կանգուն ալիքի վրա այս ոլորտի հիմնական պրոցեսներից է: Այդ դեպքում ատոմները ներքին վիճակից կախված բեկվում են՝ հանգեցնելով «հագնված վիճակների» խմբերի տրոհման տրված ֆոտոնային թվերով: Մասնավորապես ցույց է տրված, որ ատոմական թնջի շեղումը մի մոդանի կանգուն ալիքի դաշտում ֆունկցիա է դաշտի ֆոտոնային ստատիստիկայից: Ավելին, ատոմի զանգվածի կենտրոնի տրանսլացիոն փոփոխականները կապված են կանգուն ալիքի և ատոմի ներքին փոփոխականների հետ, ուստի ատոմի դիրքի մասին ինֆորմացիան գրանցվում է դաշտի փուլի և ամպլիտուդայի մեջ: Այս ատենախոսության մեջ քննարկվում են ատոմների ցրումը դաշտի երկու համուղված և միմյանց հետ քվանտային խճճված վիճակում գտնվող մոդաների հետ: Մյուս կողմից, օգտվելով փոխազդող դաշտի և ատոմի միջև ինֆորմացիայի փոխանակման փաստից, այս աշխատանքում ցույց է տրվում ցրվող ատոմների ներքին վերարված վիճակների արտապատկերման մեխանիզմ ատոմի տարածական բաշխման միջոցով:

Ջոզեֆսոնյան կցման վրա հիմնված գերհաղորդչային շղթաներով իրագործվող արհեստական ատոմները հանդիսանում են խոստումնալից օբյեկտներ ինչպես ֆունդամենտալ ֆիզիկական հետազոտությունների տեսանկյունից, այնպես էլ քվանտային հաշվարկների համար կիրառվող կառավարվող երկմակարդականի համակարգերի տեսանկյունից: Ժամանակից կախված արտաքին դաշտի հետ փոխազդող քյուբիթում իհայտ են գալիս քվանտային էֆեկտներ, որոնք հանդիսանում են քվանտային օպտիկայի հիմքը: Այս ատենախոսության մեջ

հետազոտվել է քյուբիթի դինամիկան արտաքին ըստ ժամանակի մոդուլացված դաշտի հետ փոխազդեցության պայմաններում:

Չնայած նրան, որ քվանտային ինֆորմացիոն տեխնոլոգիաներում կիրառվող թակարդված իոները, ռեզոնատորում ատոմները, քվանտային հորերը և գերհաղորդչային համակարգերը հիմնականում օպտիկական կամ միկրոալիքային իմպուլսների հետ փոխազդող երկմակարդականի համակարգեր են, այնուամենայնիվ, դրանց դինամիկայի համար չկա ընդհանուր անալիտիկ լուծում: Այդ խնդրի հայտնի մոտավորություններից է ռեզոնանսային մոտավորությունը (պտտվող ալիքի մոտավորություն): Այս աշխատանքում տրվում է այդ խնդրի այլ մոտավոր լուծուման մեխանիզմ, պտտվող ալիքի մոտավորությունից դուրս:

Ատենախոսության նպատակները

- Հետազոտել ատոմների փնջի շեղման օրինաչափությունները միմյանց հետ քվանտ-մեխանիկական խճճված վիճակում գտնվող էլեկտրամագնիսական դաշտի մոդաների հետ փոխազդեցությունում:
- Զարգացնել մեխանիզմ ատոմային փնջի երկչափ տարածական լոկալիզացիայի համար փնջի հետ փոխազդող դաշտի վրա քվադրատուրային չափումների միջոցով:
- Առաջարկել ատոմի ներքին քվանտային վերադրված վիճակը արտապատկերելում մեխանիզմ:
- Հետազոտել գերհաղորդչային քյուբիթի դինամիկան և բարձր կարգի Ռաբիյի օսց-իլիացիաները արտաքին ըստ ժամանակի մոդուլացված դաշտի հետ փոխազդելիս:
- Հետազոտել արտաքին էլեկտրամագնիսական իմպուլսի հետ քյուբիթի փոխազդեցությունը Ֆարրիի ներկայացմամբ և Մագնուսի վերլուծության կիրառմամբ:

- Հետագոտել գերհաղորդչային արհեստական ատոմի փոխազդեցությունը իմպուլսների հաջորդականության հետ:

Գիտական նորույթը

- Դիտարկվել է ատոմային փնջի շեղումը համուղված կանգուն ալիքների վրա ցրման դեպքում: Նորությունը կայանում է նրանում, որ դաշտի մոդաները գտնվում են միմյանց հետ ֆոտոնային թվով կորելյացված վիճակում: Քննարկվել են ատոմի էներգետիկ V- և Λ -տիպի կոնֆիգուրացիաները:
- Λ -տիպի ատոմների դաշտի փոխազդեցության երկու մոդաների հետ փոխազդեցության հեռու-ոչ-ռեզոնանսային և Ռամանյան-ռեզոնանսային ռեժիմների դեպքում հետազոտվել է “չափամբ պայմանավորված լոկալիզացիայի” պրոցեսը: Հաշվարկվել են համապատասխան տարածական պայմանական բաշխումները երկմոդանի դաշտի տրված քվադրատուրային վիճակների համար:
- Ուսումնասիրվել է գերհաղորդչային քյուբիթի դինամիկան և Ռաբիի բարձր կարգի օսցիլյացիաները արտաքին ըստ ժամանակի մոդուլացված դաշտում:
- Հետազոտվել է երկմակարդականի համակարգի դինամիկան արտաքին էլիկտրամագնիսական գրգռման դաշտում Մագնուսի ներկայացմամբ Բլոխի սֆերայի վրա: Այս մոտեցումը հնարավորություն է տալիս ստանալ քվանտային անցումների հավանականության համար արդյունքներ ռեզոնանսային մոտավորությունից դուրս:
- Հետազոտվել է քյուբիթի ղեկավարման խնդիրը իմպուլսների հաջորդականության միջոցով Մագնուսի վերլուծության և Ֆարրիի ներկայացման հիման վրա:
- Հետազոտվել է արտաքին խոտորման դաշտի կամայական ալիքային փաթեթի հետ փոխազդող քյուբիթների համակարգի դինամիկան Ֆարրիի ներկայացման և Մագնուսի վերլուծության միջոցով:

Կիրառական նշանակությունը

Այս աշխատանքում ներկայացված արդյունքները մեծ կարևորություն են ներկայացում ինչպես քվանտային մեխանիկայի ֆունդամենտալ հետազոտությունների այնպես էլ բազմաթիվ տեխնոլոգիական կիրառությունների համար: Մասնավորապես, ատոմային վերադրված վիճակների գրանցման և արտապատկերման համար առաջարկված մոտեցումը և “տարածական ֆիլտր ֆունկցիաների” իրագործման համար զարգացված մեխանիզմները կարող են կարևոր կիրառություններ ունենալ քվանտային ինֆորմատիկայի և քվատային լիտոգրաֆիայի ոլորտներում: Ըստ ժամանակի մոդուլացված դաշտի ինչպես նաև իմպուլսների հաջորդականության հետ փոխազդող երկմակարդականի համակարգերի քվանտային դինամիկայի ուսումնասիրման զարգացված համակարգային մոտեցումը կարող է կիրառվել այնպիսի ոլորտներում, ինչպիսիք են քվանտային ղեկավարումը կամ քվանտային հաշվարկները, հաղորդակցության և գերձգրիտ չափումներում:

Պաշտպանության դրվոդ հիմնական դրույթները

- Ատենախոսության մեջ բերված են արդյունքներ համուղված և միմյանց հետ քվանտմեխանիկական խճճված վիճակներում գտնվող մոդաների հետ փոխազդող V- և Λ-տիպի ատոմների դեպքում դաշտի փուլային վիճակների չափմամբ պայմանավորված ատոմական վիճակների տրոհման, քվանտային ինտերֆերենցիոն և ատոմ-ների տարածական լոկալիզացիայի էֆեկտների համար, որոնք ներկայացված են ատոմների տարածական պայմանական բաշխումների և Վիզների ֆունկցիաների միջոցով:
- Առաջարկվել է ատոմների վերադրված վիճակների գրանցման և արտապատկերման նոր մեխանիզմ: Այն նաև թույլ է տալիս գրանցել Ռամանի ռեզոնանսը նոր, ոչ սպեկտրոսկոպիկ ճանապարհով:

- Առաջարկվել է մեխանիզմ տարբեր “տարածական ֆիլտր ֆունկցիաների” իրագործ-ման համար, դաշտի քվադրատուրային վիճակների գրանցման ճանապարհով:
- Ներկայացված են արտաքին ըստ ժամանակի մոդուլացված դաշտում գերհաղորդչային քյուբիթի դինամիկայի և Ռաբիի բարձր կարգի օսցիլիացիաների երևույթի հետազոտման արդյունքները: Յուր ինքնուրույն տրվել քյուբիթի դինամիկայում որակապես նոր էֆեկտներ, որոնք առկա չեն քյուբիթի մոնոխրոմատիկ գրգռման դեպքում: Հաշվարկվել են գերհաղորդչային քյուբիթ և ըստ ժամանակի մոդուլացված դաշտ համակարգի համար Ֆլոբեի վիճակները և քվադի-էներգիաները ռեզոնանսային տարբեր ռեժիմների դեպքում:
- Մագնուսի վերլուծության կիրառմամբ Բլոխի սֆերայի վրա ուսումնասիրվել է երկմակարդակ քվանտային համակարգի դինամիկան արտաքին կամայական ալիքային փաթեթի հետ փոխազդեցության դեպքում: Կիրառված մեթոդը հնարավորություն է տալիս ստանալ արդյունքներ ռեզոնանսային մոտավորությունից դուրս:
- Զարգացվել է համակարգային մոտեցում երկմակարդակ համակարգերի քվանտային թունելային անցումներ դինամիկայի ուսումնասիրման համար: Մասնավորապես հետազոտվել է գերհաղորդչային քյուբիթի փոխազդեցությունը իմպուլսների հաջորդականության հետ՝ հիմնվելով Մագնուսի վերլուծության և Ֆարրիի ներկայացման վրա:

Աշխատանքի փորձաքննություն

Ատենախոսության հիմնական դրույթները քննարկվել են ԵՊՀ Ֆիզիկայի ֆակուլտետի Տեսական ֆիզիկայի ամբիոնի սեմինարներին և ներկայացվել են միջազգային կոնֆերանսներում:

Հրատարակություններ

Աշխատության թեմայով տպագրվել է 9 աշխատանք՝ 6 հոդված գրախոսվող գիտական ամսագրերում և 3 թեզիս, որոնք ներկայացվել են կոնֆերանսներում:

Աշխատանքի ծավալը և կառուցվածքը

Ատենախոսությունը բաղկացած է ներածությունից, երեք բովանդակային գլուխներից, եզրակացությունից և 175 հղում պարունակող գրականության ցանկից: Աշխատանքի ընդհանուր ծավալը 150 էջ է, և պարունակում է 40 նկար:

Աշխատանքի բովանդակությունը

Գլուխ 1-ը ատենախոսության ներածությունն է, որում հիմնավորված է ատենախոսության արդիականությունը, ձևակերպված են աշխատանքի նպատակներն ու խնդրիները, ինչպես նաև, պաշտպանության ներկայացվող հիմնական դրույթները, նշված է ստացված արդյունքների գիտական նորույթը և գործնական արժեքը:

Գլուխ 2-ը նվիրված է կանգուն ալիքների հետ փոխազդող ատոմների դինամիկայի ուսումնասիրությանը:

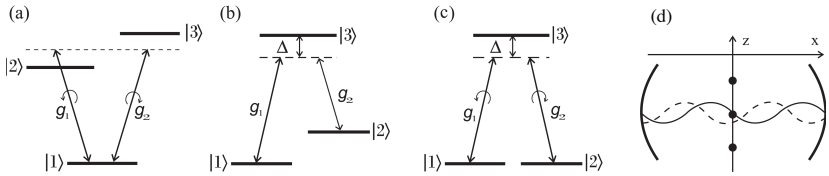
2.1. Ենթազվիում տրվում է գլուխ 2-ի համար ներածություն:

2.2. Ենթազվույնը նվիրված է միմյանց հետ ֆոտոնային թվով կորելյացված վիճակներում գտնվող կանգուն ալիքների հետ փոխազդող ատոմների դինամիկայի ուսումնասիրությանը՝ դաշտի վրա փուլային վիճակների չափումների կիրառման դեպքում (Նկ.1):

Ֆոտոնային թվով կորելյացված դաշտի վիճակները իրենցից ներկայացնում են դաշտի մոդաների քվանտային խճճված վիճակներ, որոնք կարելի է ներկայացնել հետևյալ տեսքով՝

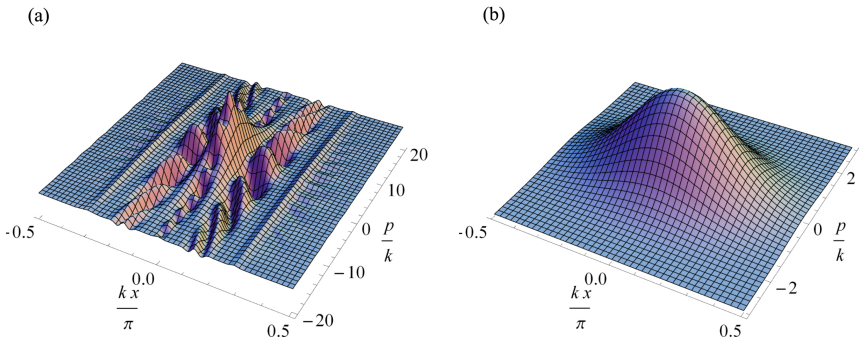
$$|field\rangle = \sum_n A(n) |n\rangle_1 |n\rangle_2, \quad (1)$$

որտեղ $|n\rangle_1$ -ը և $|n\rangle_2$ -ը Ֆոկի վիճակներն են:



Նկ. 1. Երկմոդանի դաշտի հետ փոխազդող ատոմի երեք էներգետիկ մակարդակների կոնֆիգուրացիաներն՝ (a) V-տիպի ատոմի համար միմյանց հավասար հաճախություններով, բայց հակառակ ցիրկուլյար բևեռացվածությամբ մոդաների դեպքում; (b) Λ -տիպի ատոմի համար; (c) Λ -տիպի ատոմի համար հավասար հաճախություններով, բայց հակառակ ցիրկուլյար բևեռացվածությամբ մոդաների դեպքում; (d) քննարկվող համակարգը:

Քննարկված խնդրում էներգետիկ մակարդակների V- և Λ -տիպի կոնֆիգուրացիաներով ատոմների փունջը փոխազդում է երկու համուղված կանգուն ալիքի մոդաների հետ: Քննարկվել են հեռու ոչ-ռեզոնանսային ռեժիմները: Հաշվարկվել են ատոմի տարածական պայմանական բաշխումները ռեզոնատորի դաշտի հետ փոխազդեցության ավարտին:

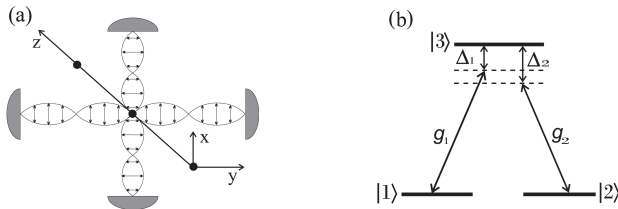


Նկ. 2. Վիզնների ֆունկցիան V-տիպի ատոմների համար (a) անկախ մոդաների և (b) կորելյացված մոդաների համար

Ստացվել են համապատասխան Վիզների ֆունկցիաներն ու իմպուլսային բաշխումները (Նկ.2): Տրվել է համեմատական վերլուծություն դաշտի անկախ մոդաների և կորելյացված մոդաների դեպքերի համար:

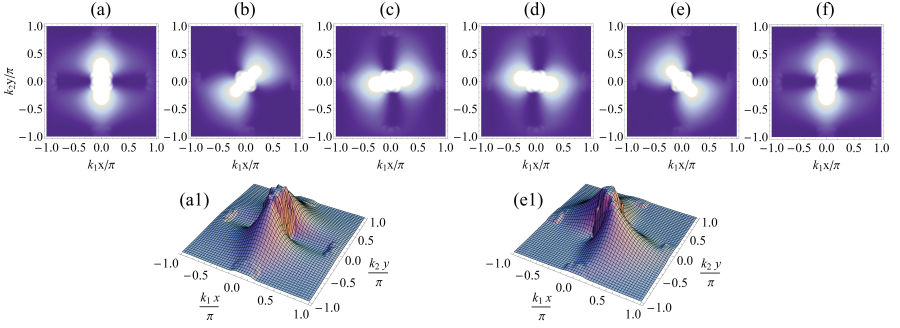
2.3 Ենթազուխը նվիրված է ատոմի ներքին վերադրված վիճակների և Ռամանի պրոցեսների գրանցմանն ու արտապատկերմանը ատոմների տարածական բաշխմամբ:

Քննարկված խնդրում եռամակարդակ Λ -տիպի ատոմը փոխազդում է միմյանց նկատմամբ փոխողդահայաց դասավորված կանգուն ալիքների հետ (Նկ.3): Ուսումնասիրվել են ատոմների տարածական բաշումները դաշտի մոդաների քվադրատուրային վիճակների չափման դեպքում:



Նկ. 3. Հետազոտված մոդելի սխեմատիկ դիագրամ (a) Փոխազդեցության տիրույթը հատող ատոմների փունջ: (b) Հակառակ բևեռացվածությամբ երկու մոդաների հետ փոխազդող Λ -տիպի ատոմ:

Ցույց է տրվել, որ ատոմի նշված պայմանական տարածական բաշխումները խիստ ընդգծված ձևով կապված են նրա ներքին $a|1\rangle + b|2\rangle$ վերադրված վիճակի հետ: Ցույց է տրվել նաև Ռամանի ռեզոնանսի արտապատկերումն ատոմական բաշխման միջոցով (Նկ.4):



Նկ. 4. Ատոմի տարածական բաշխման կախվածությունը ատոմի ներքին վերադրված վիճակից ցուցադրող, գրաֆիկների խումբ: Գրաֆիկներում բաց գույնը համապատասխանում է ավելի մեծ արժեքներին: (a) $a = -1, b = 0$; (b) $a = -1/\sqrt{2}, b = 1/\sqrt{2}$; (c) $a = -0.2, b = 0.98$; (d) $a = 0.2, b = 0.98$; (e) $a = -1/\sqrt{2}, b = 1/\sqrt{2}$; (f) $a = 1, b = 0$; (a1) նույնն է, ինչ նկար (a)-ում 3D ներկայացմամբ; (e1) նույնն է, ինչ նկար (e)-ում 3D ներկայացմամբ:

2.4 Ենթազլխում առաջարկվել են ատոմական տարածական լոկալիզացիայի և տարբեր տարածական կառուցվածքների ստացման մեխանիզմներ դաշտի վրա քվադրատուրային չափումների, ինչպես նաև դաշտի խճճված վիճակների կիրառմամբ:

Գլուխ 3-ը նվիրված է ըստ ժամանակի մոդուլացված դաշտում գերհաղորդչային քյուբիթի դինամիկայի ուսումնասիրմանը:

3.1 Ենթազլխում տրվում է գլուխ 3-ի համար ներածություն:

3.2 Ենթազլխում ստացվել է ըստ ժամանակի մոդուլացված դաշտում քյուբիթի բարձր կարգի ռեզոնանսային Համիլտոնյանը Ֆարրիի ներկայացմամբ:

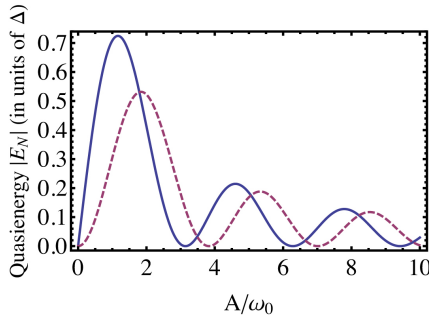
3.3 Ենթազլխում ստացվել են քյուբիթի մակարդակների միջև թունելային անցման ամպլիտուդները

$$A_{1 \rightarrow 2}(t) = (-1)^{N+1} \frac{\Delta}{2} J_N \left(2 \frac{A}{\omega_0} |\cos(\delta t)| \right), \quad (2)$$

որտեղ $J_N(x)$ -ը առաջին տիպի Բեսսելի ֆունկցիան է, A -ն դաշտի ամպլիտուդը,

ω_0 -ն մոդուլացված դաշտի կենտրոնական հաճախությունն է, Δ -ն Ջոզեֆսոնյան կցման էներգիան է քյուբիթի հիմնական մակարդակների միջև:

3.4 Ենթադրվում է հետագուովել են քյուբիթի քվադի-էներգիաները: Ստացվել են անալիտիկ արտահայտություններ E_N^+ և E_N^- քվադի-էներգիաների համար արտաքին դաշտի ինտենսիվությունից կախված տարբեր ռեժիմների դեպքում (Նկ. 5): Ցույց է տրվել, որ քյուբիթի քվադի-էներգիաների գումարը զրո է, որը համապատասխանության մեջ է մոնոքրոմատիկ դաշտի հետ փոխազդող աստմի համար ստացված արդյունքի հետ:



Նկ. 5. Քվադի-էներգիայի կախվածությունը A/ω_0 հարաբերությունից՝ առաջին ($N = 1$) կարգի ռեզոնանսի (անընդհատ կոր) և երկրորդ ($N = 2$) կարգի ռեզոնանսի (կետազիծ կոր) համար:

3.5 Ենթադրվում քննարկվում է քյուբիթի էներգետիկ մակարդակների բնակեցվածության հավանականության պարբերական հատկությունները: Փոխազդեցության սկզբնական պահին ստորին էներգետիկ վիճակում գտնվող քյուբիթի համար՝

$$\begin{aligned} P_1(t) &= |C_1(t)|^2 = \cos^2(\gamma_N(t)), \\ P_2(t) &= |C_2(t)|^2 = \sin^2(\gamma_N(t)), \end{aligned} \tag{3}$$

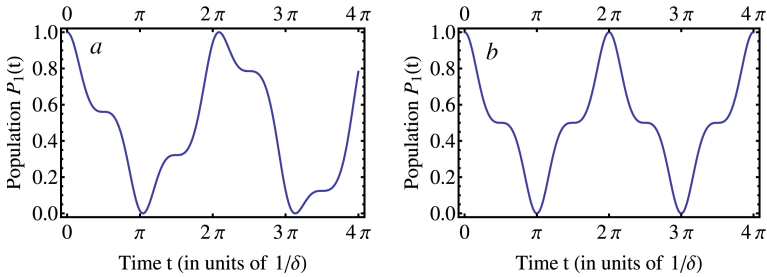
որտեղ

$$\gamma_N(t) = (-1)^N E_N t + \Phi_N(t) \quad (4)$$

մեծությունը գծային և պարբերական ֆունկցիաների գումար է: Այս վարքը հնարավորություն է տալիս գտնել համակարգի պարամետրերի միջև այնպիսի անալիտիկ առնչություն, որի դեպքում քյուբիթի մակարդակների բնակեցվածության հավանականությունները տրված պարբերությամբ պարբերական ֆունկցիաներ են՝

$$\frac{\Delta}{2\sqrt{\pi}\delta} \left(\frac{A}{\omega_0} \right)^N \frac{\Gamma\left(\frac{1+N}{2}\right)}{N! \Gamma\left(1 + \frac{N}{2}\right)} = \frac{m}{n}, \quad (5)$$

որտեղ A -ն դաշտի ամպլիտուդը, ω_0 -ն մոդուլացված դաշտի կենտրոնական հաճախությունն է, Δ -ն Ջոզեֆսոնյան կցման էներգիան է քյուբիթի հիմնական մակարդակների միջև, m -ը և n -ը բնական թվեր են (Նկ. 6):



Նկ. 6. Քյուբիթի էներգետիկ մակարդակների բնակեցվածության հավանականությունը: (a) $\Delta/\delta = 370$, $A/\omega_0 = 10^{-1}$; (b) $\Delta/\delta = 401$, $A/\omega_0 = 10^{-1}$:

Գլուխ 4-ը նվիրված է քյուբիթի կառավարմանը իմպուլսների հաջորդականության միջոցով:

4.1 Ենթազվիտում քննարկվում է երկմակարդականի համակարգի փոխազդեցությունը խոտորման դաշտի հետ:

Դիտարկվող համակարգի համիլտոնյանն ունի հետևյալ տեսքը՝

$$\hat{H}(t) = \frac{\varepsilon_0}{2} \hat{\sigma}_z + Vg(t) \hat{\sigma}_x, \quad (6)$$

որտեղ ε_0 -ն ատոմական անցման հաճախությունն է, V -ն երկմակարդականի ատոմի դաշտի հետ փոխազդեցության գործակիցն է, իսկ $\hat{\sigma}_x$ -ն և $\hat{\sigma}_y$ -ն Պաուլիի մատրիցներն են: Կիրառելով ըստ Ժամանակի էվոլյուցիայի օպերատորի վրա Մագնուսի վերլուծությունը ստացվել են մոտավոր անալիտիկ արտահայտություններ երկմակարդակ համակարգի էներգետիկ մակարդակների բնակեցվածությունների համար:

4.2 Ենթազլխում քննարկվում է քյուբիթի կառավարումը իմպուլսների հաջորդականության միջոցով: Կիրառվել են Մագնուսի վերլուծության և Ֆարրիի պատկերացման մեթոդները: Որպես համակարգի համախտոնյան դիտարկվել է

$$\hat{H}(t) = -g(t) \hat{\sigma}_z + \Delta \hat{\sigma}_x, \quad (7)$$

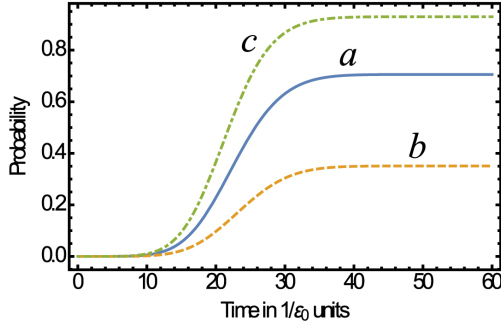
որտեղ $\hat{\sigma}_x$ -ն և $\hat{\sigma}_y$ -ն Պաուլիի մատրիցներն են, Δ -ն քյուբիթի հիմնական մակարդակների միջև թունելացման ամպլիտուդն է,

$$g(t) = \frac{1}{2} \varepsilon_0 + \sum_{i=1}^M A_i(t) \cos(\omega t + \theta_i), \quad (8)$$

$A_i(t)$ -ն արտաքին իմպուլսների ամպլիտուդներն են:

Հաշվարկվել են քյուբիթի էներգետիկ մակարդակների բնակեցվածության հավանականությունները մի իմպուլսի (Նկ. 7), երկու իմպուլսների (Նկ. 8) և իմպուլսների անվերջ շարքի հետ փոխազդեցության համար: Վերջին դեպքում քյուբիթը փոխազդում է միանման իմպուլսների հաջորդականության հետ, որի դեպքում ձևավորվում են քվադի-էներգետիկ վիճակներ: Ստացվել են քվադի-էներգիաների և քվադի-էներգետիկ վիճակների համար արտահայտություններ:

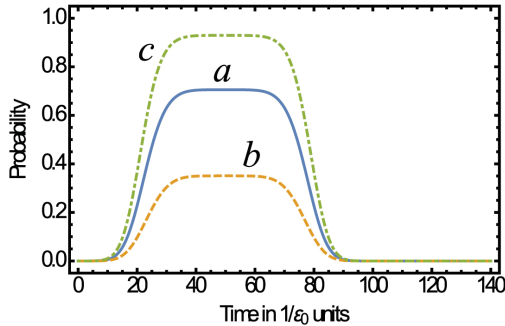
4.3 Ենթազլխում Ֆարրի-Մագնուսի մոտեցումը կիրառվել է իմպուլսների հետ փոխազդող քյուբիթների համակարգի վրա:



Նկ. 7 Քյուրիի զրգոված վիճակի բնակեցվածության հավանականությունը որպես ֆունկցիա ըստ ժամանակի իմպուլսի հետ առաջին կարգի ռեզոնանսի դեպքում:

Պարամետրերը՝ $\Delta/\varepsilon_0 = 0.3$, $T\varepsilon_0 = 10$, $\tau/T = 6$, $\omega/\varepsilon_0 = 1$: Անընդհատ կոր (a)

$A_0/\varepsilon_0 = 0.19$, ընդհատ կոր (b) $A_0/\varepsilon_0 = 0.12$, կետագիծ կոր (c) $A_0/\varepsilon_0 = 0.25$:



Նկ. 8 Քյուրիի զրգոված վիճակի բնակեցվածության հավանականությունը որպես ֆունկցիա ըստ ժամանակի երկու հաջորդական իմպուլսների հետ

փոխազդեցության դեպքում: Պարամետրերը՝ $\Delta/\varepsilon_0 = 0.3$, $T\varepsilon_0 = 10$, $\tau/T = 6$,

$\omega/\varepsilon_0 = 1$: Անընդհատ կոր (a) $A_0/\varepsilon_0 = 0.19$, ընդհատ կոր (b) $A_0/\varepsilon_0 = 0.12$, կետագիծ կոր (c) $A_0/\varepsilon_0 = 0.25$:

Հոդվածներ`

1. Gor A. Abovyan and Gagik Yu. Kryuchkyan, "Multiphoton resonant manipulation of qubits by train of pulses", Journal of the Optical Society of America B, Vol. **33**, Issue 5, pp. 971-979 (2016)
2. Г. А. Абовян и Г. Ю. Крючкян, "Взаимодействие кубитов в подходе Фарри–Магнуса", Известия НАН Армении, Физика, т.**51**, No3, с.305-312 (2016)
3. Г. А. Абовян, "Динамика квантовых переходов в представлении Магнуса", Известия НАН Армении, Физика, т.**50**, No3, с.304-311 (2015)
4. Gor A. Abovyan and Gagik Yu. Kryuchkyan, "Quasienergies and dynamics of a superconducting qubit in a time-modulated field", Physical Review A **88**, 033811 (2013)
5. Gor A. Abovyan, Gagik P. Djotyan, and Gagik Yu. Kryuchkyan, "Visualization of superposition states and Raman processes with two-dimensional atomic deflection", Physical Review A **85**, 013846 (2012)
6. G. A. Abovyan and G. Yu. Kryuchkyan, "Atomic deflection conditioned by entangled light waves", Journal of Physics B: Atomic, Molecular and Optical Physics, Volume **44**, Number 4, 045502 (2011)

Կոնֆերանսների հրատարակություններ`

1. Gor A. Abovyan and Gagik Y. Kryuchkyan, "Formation of two-dimensional nano-structures in atomic deflection", Proc. SPIE 8414, Photonics and Micro- and Nano-structured Materials 2011, 84140G (2011)
2. G. Abovyan, G. Djotyan and G. Kryuchkyan, "Evidence of Raman resonance in atomic deflection", Proc. SPIE 7998, International Conference on Laser Physics 2010, 799818 (2011)
3. G. A. Abovyan and G. Yu. Kryuchkyan, "Optical Stern-Gerlach Effect in Twin-Photon Light Beams", Proc. International Advanced Research Workshop on Modern Problems in Optics and Photonics 2009, pp 22-26 (2010)

АННОТАЦИЯ

Гор А. Абовян

КВАНТОВЫЙ КОНТРОЛЬ АТОМА МНОГОКОМПОНЕНТНЫМИ ПОЛЯМИ

- Исследовано преломление атомного пучка на параллельных стоячих волн возбужденных в бимодальном резонаторе. Новизна состоит в том, что волны находятся в квантово механическом перепутанном состоянии с коррелированным числом фотонов, исследована взаимодействие этих волн с трехуровневыми атомами типа V и Λ . Исследованы расщепление атомных состояний, квантовые интерференционные эффекты и пространственная атомная локализация в следствие произведенных измерений фазы мод на основе условных пространственных распределении атомных пакетов и функции Вигнера для пространственных переменных атома. Показана что данные величины для атомов типа V преходящих резонатор значительным образом модифицируются если в место статистически независимых волн используются стоячие волны в перепутанных состояниях. Данные эффекты наиболее хорошим образом продемонстрированы для атомов с конфигурацией энергетических уровней типа Λ , где реализуется резонанс Рамана, и предложен не-спектроскопический способ измерения суперпозиционных состояний.
- Исследовано преломление пучка атомов типа Λ проходящего сквозь перпендикулярно пересекающихся стоячих волн для визуализации атомных суперпозиционных состояний. Для этой цели, используются оба дисперсионный и Раман резонансный режима взаимодействия атома с полем и применяются двойные одновременные пространственные измерения на атоме. Таким образом, демонстрируется что пространственные структуры преломленных атомов конфигурации типа Λ значительно изменены если атомы изначально находятся в суперпозиционных состояниях нижних основных состояний или когда суперпозиционные состояния созданы при процессе преломления атома. Похожие результаты получены и для совместных импульсных распределений. Далее, рассматривая однофотонные и двухфотонные режимы возбуждений Λ атомов, показана что двухмерная структура преломленных атомов качественно отражает эффективность процесса Рамана.
- Обсуждается образование двухмерных пространственных атомных структур в результате дефекации атомов на двух перпендикулярно пересекающихся стоячих электромагнитных волн. Рассмотрен случай дисперсионного взаимодействие трехуровневого атома типа Λ с полем в квантовом режиме. Пространственная локализация атома проходящего сквозь стоячую световую волну инициирована

квадратурным измерением на состояния поля. Разработана процедура для сильной двухмерной пространственной локализации атомного пучка в пределах оптической длины волны. Рассматривая пространственную локализацию атомов типа Λ в поле двух перепутанных световых пучков получены многообразные двухмерные атомные структуры.

- Рассмотрена динамика сверхпроводящего кубита и явление осцилляций Раби высших порядков под воздействием модулированной по времени поля. Такое поле можно также представить как бихроматическое поле с двумя спектральными компонентами, которые симметрично расстроены от резонансной частоты кубита. Этот подход приводит к получению квантовых эффектов за пределами тех получаемых в случае монохроматического возбуждения кубита. Рассчитаны состояния Флоке и квази-энергии кубита с полем для разных резонансных режимов. Анализируется зависимость квази-энергий от амплитуды внешнего поля, демонстрируя нули разности между квази-энергиями. Показана что, как правила, популяция состояний кубита демонстрирует не-периодические осцилляции, но получены специальные режимы в которых динамика популяций состояний становится периодически регулярным.
- Систематичным образом изучена манипуляция кубита последовательностью импульсов основываясь на разложении Магнуса и представлении Фарри. Подход Фарри-Магнуса дает приближенное экспоненциальное представление оператора временной эволюции без Дайсоновской хронологической упорядоченности для взаимодействий с внешним полем произвольной интенсивности и позволяет получить общее выражение для популяции энергетических уровней кубита как функция частоты Раби. Конкретные вычисления выполнены для динамики квантового туннелирования, многофотонных резонансных взаимодействий кубита, а также для не-резонансного возбуждения кубита Гауссовыми импульсами за пределами приближения вращающейся волны. Таким образом, изучена популяция состояний кубита для многих режимов включая: одно-импульсное возбуждение, двух-импульсное возбуждение с разностью фазы между импульсами как контролирующий параметр и для возбуждения кубита последовательностью импульсов. В последнем случае продемонстрирована образование квази-энергетических состояний и квази-энергий кубита. В этом случае вероятность переходов кубита в общем случае демонстрирующий не-периодические осцилляции, становится периодически регулярным для определенных значений квази-энергий.

SUMMARY

Gor A. Abovyan

QUANTUM CONTROL OF AN ATOM WITH MULTI-COMPONENT FIELDS

- The deflection of atomic beams on two co-propagating standing waves excited in a bimodal cavity has been investigated. The novelty is that the standing waves are in an entangled, photon-number correlated state and interactions with three-level atoms of V - type and Λ -type configurations are considered. The splitting of atomic states, quantum interference effects and spatial atomic localization due to phase measurements is investigated on the framework of both the conditional position distributions of atomic wave packets as well as the Wigner functions for atomic translation variables. It is demonstrated that these quantities for V-type atoms passing the cavity are essentially modified when entangled states of standing waves are used instead of statistically independent waves. The deflection patterns and the Wigner functions are also modified if atoms are initially prepared in a superposition of low-level states. It is best demonstrated for the Λ -type configuration, where transition through the Raman resonance is realized, and proposed for testing superposition states in a new non-spectroscopic manner.
- Deflection of atoms in Λ -type configuration passing through two crossed standing light waves is proposed for probing and visualization of atomic superposition states. For this goal, we use both the large-dispersive and Raman-resonant regimes of atom-field interaction giving rise to a position-dependent phase shifts of fields and perform double simultaneous spatial measurements on an atom. In this way, it is demonstrated that the deflection spatial patterns of atoms in Λ -configuration passing through modes of standing waves are essentially modified if the atoms are initially prepared in a coherent superposition of its low levels states as well as when the superposition states are created during the process of deflection. The similar results take place for the joint momentum distribution of atoms. Further, considering both one- photon and two-photon excitation regimes of Λ -atoms we also illustrate that the two-dimensional patterns of deflected atoms qualitatively reflects the efficiency of the Raman processes.
- The formation of two-dimensional spatial structures of atoms due to atomic diffraction on two crossed standing electromagnetic fields is discussed. This analysis proposed for Λ -type atomic configuration under dispersive atom-field interactions in quantum regime. Localization of the position of atoms passing through standing light wave is initiated by making a quadrature phase measurement on the light fields. We develop the procedure for strong two-dimensional spatial localization of atomic beam within the optical wavelength.

Considering atomic spatial localization in the presence of entanglement of two light beams various two-dimensional patterns for Λ -type atoms are reported.

- The dynamics of a superconducting qubit and the phenomenon of multiorder Rabi oscillations in the presence of a time-modulated external field is analyzed. Such a field is also presented as a bichromatic field consisting of two spectral components, which are symmetrically detuned from the qubit resonance frequency. This approach leads to obtaining qualitative quantum effects beyond those for the case of mono- chromatic excitation of qubits. We calculate Floquet states and QEs of the composite system superconducting qubit plus time-modulated field for various resonant regimes. We analyze the dependence of QEs from the amplitude of an external field, demonstrating the zeros of difference between QEs. We show that, as a rule, populations of qubit states exhibit aperiodic oscillations, but we demonstrate the specific important regimes in which dynamics of populations becomes periodically regular.
- A study of qubit manipulations by a train of pulses in a systematic approach based on the Magnus expansion and Furry representation in quantum electrodynamics is presented. Furry-Magnus expansion gives approximate exponential representation of time-evolution operator without Dyson time-ordering procedure for interactions with external fields of arbitrary intensity and allows us to obtain general expression for single-qubit populations as a function of time-dependent Rabi frequency. The concrete calculations are performed for tunneling quantum dynamics, for multiphoton resonance interactions of qubit as well as for off-resonance excitations of qubit driven by Gaussian pulses beyond rotating wave approximation. In this way, the populations of qubit states are investigated for various operational regimes including: single-pulse excitation, two-pulse excitation with phase shift between pulse envelopes being controlling parameter and for excitation with sequential pulses. In the last case, we demonstrate the formation of quasienergetic states and quasienergies of qubit driven by train of identical pulses. In this case the transition probability of the qubit generally exhibiting aperiodic oscillations, becomes periodically regular for definite values of the quasienergy.