

**ՀՀ ԿՐԹՈՒԹՅԱՆ ԵՎ ԳԻՏՈՒԹՅԱՆ ՆԱԽԱՐԱՐՈՒԹՅՈՒՆ
ԵՐԵՎԱՆԻ ՊԵՏԱԿԱՆ ՀԱՄԱԼՍԱՐԱՆ**

Բարսեղյան Մանուկ Գևորգի

**ԿԻՍԱՀԱՂՈՐԴՉԱՅԻՆ ՆԱՆՈԿԱՌՈՒՑՎԱԾՔՆԵՐԻ ԷԼԵԿՏՐՈՆԱՅԻՆ ԵՎ
ՕՊՏԻԿԱԿԱՆ ՀԱՏԿՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ՎՐԱ ԱՐՏԱՔԻՆ ԳՈՐԾՈՆՆԵՐԻ
ԱԶԴԵՑՈՒԹՅԱՆ ՏԵՍԱԿԱՆ ՈՒՍՈՒՄՆԱՍԻՐՈՒՄ**

**Ա.04.10 - «Կիսահաղորդիչների ֆիզիկա» մասնագիտությամբ
ֆիզիկամաթեմատիկական գիտությունների դոկտորի
գիտական աստիճանի հայցման ատենախոսության**

ՍԵՂՄԱԳԻՐ

ԵՐԵՎԱՆ – 2018

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РА
ЕРЕВАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ**

Барсегян Манук Геворгович

**ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ВНЕШНИХ ФАКТОРОВ НА
ЭЛЕКТРОННЫЕ И ОПТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ
НАНОСТРУКТУР**

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

**диссертации на соискание ученой степени
доктора физико-математических наук по специальности
01.04.10 - “Физика полупроводников”**

Е Р Е В А Ն – 2018

Ատենախոսության թեման հաստատվել է Երևանի պետական համալսարանում

Գիտական խորհրդատու՝ ՀՀ ԳԱԱ թղթ. անդամ, ֆիզ. մաթ. գիտ. դոկտոր, պրոֆեսոր Ա.Ա. Կիրակոսյան (ԵՊՀ)
Պաշտոնական ընդդիմախոսներ՝ ՀՀ ԳԱԱ ակադեմիկոս, ֆիզ. մաթ. գիտ. դոկտոր, պրոֆեսոր Է.Մ. Ղազարյան (ՀՌՀ), ֆիզ. մաթ. գիտ. դոկտոր, պրոֆեսոր Կ.Հ. Ահարոնյան (ՀԱՊՀ), ֆիզ. մաթ. գիտ. դոկտոր, դոցենտ Ս.Լ. Հարությունյան (ՀԱՊՀ Գյումրու մասնաճյուղ)
Առաջատար կազմակերպություն՝ ՀՀ ԳԱԱ ռադիոֆիզիկայի և էլեկտրոնիկայի ինստիտուտ

Պաշտպանությունը տեղի կունենա **2018թ. դեկտեմբերի 24-ին, ժամը 15⁰⁰-ին** Երևանի պետական համալսարանի ֆիզիկայի 049 մասնագիտական խորհրդի նիստում:

Հասցեն՝ Երևան 0025, Ալեք Մանուկյան 1

Ատենախոսությանը կարելի է ծանոթանալ ԵՊՀ գրադարանում:

Սեղմագիրն առաքված է 2018թ. նոյեմբերի 12-ին:

Մասնագիտական խորհրդի գիտական քարտուղար՝



ֆիզ. մաթ. գիտ. թեկնածու, դոցենտ Վ.Պ. Քալանթարյան

Тема диссертации утверждена в Ереванском государственном университете

Научный консультант:

член-кор. НАН РА, доктор физ. мат. наук, профессор А.А. Киракосян

Официальные оппоненты:

академик НАН РА, доктор физ. мат. наук, профессор Э.М. Казарян (РАУ),

доктор физ. мат. наук, профессор К.Г. Агаронян (НПУА),

доктор физ. мат. наук, доцент

С.Л. Арутюнян (НПУА Гюмрийский филиал)

Ведущая организация:

Институт радиофизики и электроники НАН РА

Защита состоится **24-го декабря 2018г. в 15⁰⁰** часов на заседании специализированного совета по физике 049 Ереванского государственного университета по адресу: Ереван 0025, ул. Алека Манукяна 1.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ЕГУ.

Автореферат разослан 12-ого ноября 2018 г.

Ученый секретарь
специализированного совета



кандидат физ. мат. наук, доцент
В.П. Калантарян

ԱՇԽԱՏԱՆՔԻ ԸՆԴՀԱՆՈՒՐ ԲՆՈՒԹԱԳԻՐԸ

ՈՒՍՈՒՄՆԱՍԻՐՈՒԹՅԱՆ ԱՐԴԻԱԿԱՆՈՒԹՅՈՒՆԸ

Նյութերի նանոմետրական (10^{-9} մ– 10^{-7} մ) տիրույթին պատկանող բնութագրական չափերով նմուշների հետազոտությունները նյութի նոր հատկությունների բացահայտման, ինչպես նաև նորագույն փորձարարական և տեխնոլոգիական մեթոդների ստեղծման անսպառ հնարավորություններ են ընձեռում: Ժամանակակից գիտատեխնիկական առաջընթացում առանձնահատուկ դեր է վերապահված ֆիզիկայի, քիմիայի, կենսաբանության և գիտության այլ բնագավառների հենքի վրա ստեղծված «Նանոտեխնոլոգիա» գիտական ուղղությանը, որի ուսումնասիրման առարկան նյութերի նանոչափային նմուշներն են [1]:

XX դարի վերջին տասնամյակում արդեն հստակորեն ձևակերպվել են նանոտեխնոլոգիայի հիմնական հասկացությունները և դրանց հետ կապված բազմաթիվ երևույթներ՝ որպես նանոօբյեկտների ստացման և ուսումնասիրման, նոր նանոնյութերի, նանոտեխնոլոգիաների և նանոսարքերի ստեղծման նշանակալի առաջընթացի արդյունք [2]: Սինթեզվել են մետաղական հսկա նանոկլաստերներ [3], ֆուլերեններ և ածխածնային նանոխողովակներ և դրանց հիմքի վրա՝ տարբեր նանոկառուցվածքներ [4]: Հայտնագործվել է գրաֆենը [5]՝ վեցանկյուն ցանցով գրաֆիտի միաշերտը, որի տարրական բջջում առկա է ածխածնի երկու ատոմ [6]: Գրաֆենի և դրա հետ կապված այլ կառուցվածքների՝ (երկշերտ գրաֆեն՝ գրաֆեյն, ֆոսֆորեն, սիլիցեն, գերմանեն և այլն [6]) աշխարհում սենսացիոն հետազոտությունների նյութ դառնալուց դեռ շատ առաջ, մի քանի պիոներական տեսական հետազոտություններում արդեն բացահայտվել էին այդ եզակի երկչափ էլեկտրոնային համակարգի որոշ արտասովոր բնութագրեր [7]:

Նանոհամակարգերի հատկությունների փորձարարական ուսումնասիրման բնագավառում ձեռք բերված ակնառու հաջողությունները, նախ և առաջ, պայմանավորված են թունելային, տեսածրող էլեկտրոնային, ատոմաուժային մանրազննումների [8], ռենտգենյան և օպտիկական մեթոդների զարգացմամբ, ինչպես նաև սինքրոտոնային ճառագայթման, օպտիկական լազերային սպեկտրադիտման, ռադիոհաճախային սպեկտրադիտման և այլ նորագույն մեթոդների օգտագործմամբ [9]:

Նոր ֆիզիկական հատկություններով կիսահաղորդչային կառուցվածքների ստեղծումը նանոտեխնոլոգիայի հիմնական խնդիրներից մեկն է, որի նպատակը կիսահաղորդչային նյութերի կիրառության սահմանների ընդլայնումն է: Այս խնդրի լուծման հիմնական ուղղությունն ստեղծվող կառուցվածքների փոքրացումն է մինչև այնպիսի չափեր, որոնց դեպքում չափային (տարածական) քվանտացման երևույթներն էապես փոխում են դրանց էլեկտրոնային հատկությունները: Եթե լիցքակիրների տարածական սահմանափակման տիրույթի չափը որևէ ուղղությամբ դառնում է համադրելի դը Բրոյլի ալիքի երկարության հետ, ապա շարժումն այդ ուղղությամբ քվանտանում է, և այդ շարժմանը համապատասխանող էներգիան ընդունում է ընդհատ արժեքներ [10]: Նշանակում է՝ քվանտային սահմանափակման երևույթը դառնում է ոչ միայն կարևոր, այլև նախագծելի և կառավարելի:

Կիսահաղորդչային նանոկառուցվածքներում քվանտային սահմանափակման երևույթը կարող է ի հայտ գալ մեկ, երկու և երեք ուղղություններով: Այդ դեպքերում

նանոկառուցվածքներին անվանում են, համապատասխանաբար, կիսահաղորդչային քվանտային փոսեր (ՔՓ), քվանտային լարեր (ՔԼ) և քվանտային կետեր (ՔԿ): Այս կառուցվածքները հիմնականում ստեղծվում են արգելված գոտու տարբեր լայնություններով կիսահաղորդիչների համադրմամբ, որի հետևանքով տարբեր կիսահաղորդիչներում գոտիների եզրերն իրար հետ չեն համընկնում: Դա առաջացնում է տվյալ ուղղությամբ լիցքակրի շարժումը սահմանափակող պոտենցիալ: Հարկ է նշել նաև, որ քվանտային սահմանափակման արդյունքում արմատապես փոխվում են քվազիմասնիկների վիճակների խտության ֆունկցիաները, քվազիմասնիկների փոխազդեցության ուժգնությունը: Այս երկու կարևոր գործոնները պայմանավորում են ծավալային նմուշներում ընթացող երևույթների համեմատությամբ դիտվող երևույթների ֆիզիկական բնութագրերի կտրուկ փոփոխություններ կամ նույնիսկ բոլորովին նոր երևույթների առաջացում: Դրանցից հատկանշական են Հոլի քվանտային երևույթը [11], Հոլի կոտորակային քվանտային երևույթը [12], էլեկտրոնի թույլ և անդերսոնյան տեղայնացման երևույթը [13], մոդուլված լեգիրմամբ քվանտային հետերոկառուցվածքներում լիցքակիրների շարժունության կտրուկ աճը [14], ենթակարմիր տիրույթի լազերների ստեղծումը [15], էքսիտոնների և քվազիմասնիկային այլ կոմպլեքսների գոյությունը սենյակային ջերմաստիճաններում [16], կիսահաղորդչային նանոկառուցվածքներում թունելավորման կուլոնյան արգելքի գոյությունը [17]: Թեև վերոնշյալ երևույթները դիտվում են ատոմական չափերը զգալիորեն գերազանցող նմուշներում, սակայն դրանք ունեն գուտ քվանտային բնույթ և չեն կարող բացատրվել դասական պատկերացումների շրջանակներում: Այդ երևույթների առաջացումն ուղղակիորեն առնչվում է քվազիմասնիկային համակարգերի տեղայնացման տիրույթների չափերին, ուստի դրանք կոչվում են չափային քվանտացման երևույթներ: Չափային քվանտացման պայմաններում մեծանում են կառուցվածքի չափերի և ձևի փոփոխման, ինչպես նաև արտաքին ազդեցությունների միջոցով ֆիզիկական համակարգի հատկությունների կառավարելի փոփոխման հնարավորությունները: Հենց այս հանգամանքն է նանոչափանի համակարգերը դարձնում չափազանց հեռանկարային հատկապես օպտոէլեկտրոնային սարքաշինության համար [18]:

Կիսահաղորդչային նանոկառուցվածքների օգտագործմամբ արդեն ստեղծվել են՝ ՔՓ-երով լազերներ, շտարկյան մոդուլարարներ, ենթակարմիր ներգոտիական տվիչներ և լազերներ, էլեկտրոնների մեծ շարժունությամբ տրանզիստորներ, ռեզոնանսային թունելային դիոդներ, ֆոտոընդունիչներ, օպտիկական ազդանշաններ ընդունող կամ արձակող սարքեր և այլն [19]: ՔԼ-երի ստեղծման և փորձնական հետազոտությունների հետ միաժամանակ կատարվել են դրանց ամենակարևոր կիրառության՝ ՔԼ-երով լազերների ստեղծման հնարավորության տեսական ուսումնասիրություններ [20]:

Հիմնարար և կիրառական տեսանկյուններից մեծ հետաքրքրություն ներկայացնող ՔԿ-երի ուսումնասիրությունները, նախ և առաջ, պայմանավորված են դրանցում լիցքակիրների էներգիական սպեկտրների և վիճակների խտության ֆունկցիաների՝ ծավալային նմուշների, ՔՓ-երի և ՔԼ-երի համեմատ էական տարբերություններով: Հաշվի առնելով թույլատրելի ենթագոտիների սահմանին սպեկտրի անընդհատությունը՝ ՔՓ-երի և ՔԼ-երի օգտագործումն օպտիկական անցումների համար որպես լազերի ակտիվ միջավայր, կարող է միայն քանակապես լավացնել դրանց հիման վրա ստեղծված սարքերի բնութագրերը ծավալային նմուշների վրա հիմնված սարքերի բնութագրերի համեմատ: Ներկայում գոյություն ունեցող տեխնոլոգիական հնարավոր-

րությունների օգտագործմամբ կարելի է ստեղծել գրեթե նույն չափերի և ձևի ՔԿ-եր, որոնք բնութագրվում են վիճակների խտության δ -ձև ֆունկցիաներով: Դա հնարավորություն է տվել ՔԿ-երի հենքի վրա ստեղծելու ներարկումային լազերներ, որոնք օժտված են բարձր ջերմաստիճանային կայունությամբ և ունեն մեծ ուժեղացման գործակիցներ [21,22]:

Վերջին տարիներին աճեցված կիսահաղորդչային նանկառուցվածքներից են նաև կրկնակի ՔԿ-երը, միայնակ և կրկնակի կիսահաղորդչային քվանտային օղակները (ՔՕ): Ստրանսկի-Կրաստանովի մեթոդով աճեցվել են InAs/GaAs ինքնակազմավորվող կրկնակի ՔԿ-եր, երբ բյուրեղային ցանցի հաստատունների մեծ տարբերությամբ երկու նյութեր ստեղծում են էպիտաքսային շերտ [23–25]: ՔԿ-երի աճի ընթացքում կիրառելով ինդիումի հոսքի (Indium-flush) մեթոդը՝ հաջողվել է ստեղծել ինդիումի ՔԿ-երի առաջացման գրեթե միատեսակ պայմաններ, որի հետևանքով տվյալ մեթոդը, ի տարբերություն Ստրանսկի-Կրաստանովի մեթոդի, հնարավորություն է տվել գալիումի մատրիցի մեջ ստանալու գլանային համաչափությամբ, նույն չափերով և ուղղաձիգ դասավորված ինդիումի ՔԿ-եր [26–28]: InAs/GaAs ՔՕ-ներ ստացվել են մոլեկուլային ճառագայթային էպիտաքսիայի և Ստրանսկի-Կրաստանովի մեթոդների կիրառմամբ [29]:

Վերջին տասնամյակում կաթիլային էպիտաքսիայի մեթոդով առաջին անգամ աճեցվել են մեծ համասեռությամբ և գլանային համաչափությամբ օժտված կոմպլեքս համակարգեր, մասնավորապես GaAs/GaAlAs կրկնակի համակենտրոն ՔՕ-ներ (ԿՀՔՕ) [30]: Աճի պրոցեսում դիտվել է նանկառուցվածքի ձևի փոփոխությունը գալիումի ՔԿ-ից GaAs-ի ՔՕ-ի և, այնուհետև, GaAs-ի երկու համակենտրոն ՔՕ-ների: Օղակներում էլեկտրոնների շարժման քվանտացումն ուսումնասիրելու նպատակով կատարվել են առանձին ԿՀՔՕ-ների ֆոտոլյումինեսցենտային չափումներ, որոնք հնարավորություն են տվել հետազոտելու օղակների էլեկտրոնային կառուցվածքը [31]: Կաթիլային էպիտաքսիայի մեթոդով աճեցվել են նաև «քվանտային կետ-օղակ» համակարգեր [32], որոնցում կենտրոնական ՔԿ-ը շրջապատված է մեկ կամ մի քանի համակենտրոն ՔՕ-ներով: Նշված աշխատանքում կաթիլային էպիտաքսիայի մեթոդն օգտագործվել է բարձր որակի GaAs նանկառուցվածքների ստացման համար, որը հնարավորություն է տալիս ստեղծելու կառավարելի երկրաչափությամբ առանձնացված նանկառուցվածքներ (օրինակ՝ ՔԿ կամ ՔՕ): Նշված ներքին կառավարելիության միջոցով հնարավոր է ստանալ ինքնակազմակերպվող կառուցվածքներ, որոնք պարունակում են տարբեր տոպոլոգիաներով և կապակցված կառուցվածքներ (ՔԿ-եր և ՔՕ-եր): Այս օբյեկտներում դիտվող ուժգին ֆոտոլյումինեսցենսը պայմանավորված է ՔԿ-ի և ՔՕ-ի միաժամանակյա ճառագայթմամբ:

Միայնակ և կրկնակի ՔՕ-ները, ինչպես նաև «քվանտային կետ-օղակ» համակարգերն իրենց յուրահատուկ երկրաչափության շնորհիվ զգալի հետաքրքրություն են ներկայացնում ինչպես հիմնարար, այնպես էլ կիրառական ֆիզիկայի տեսանկյունից: Այս նանկառուցվածքներն առանձնահատուկ են նախ և առաջ իրենց մագնիսական հատկություններով: ՔՕ-ներում գրանցվել են չմարող հոսանքներ, որոնք վկայում են ՔՕ-ներում Ահարոնով-Քոմի (ԱՔ) երևույթի իրականացման մասին [33,34]: InAs/GaAs ՔՕ-ում մագնիսաօպտիկական միջգոտիական անցումներով պայմանավորված ենթակարմիր տիրույթին մոտ ճառագայթման սպեկտրը հաշվարկվել է [35] աշխատանքում, որտեղ որակապես բացատրվել են փորձնականորեն չափված կլանումը [36] և ֆոտոլյումինեսցենտային մագնիսառեզոնանսները [37]: Մագնիսական դաշտի առկայությամբ

յամբ էլեկտրոնը և խոռոչը ՔՕ-ում շարժվում են հակառակ ուղղություններով, որի հետևանքով ՔՕ-ում էքսիտոնի համար նույնպես կանխատեսվել է ԱԲ-երևույթը, թեև էքսիտոնի գումարային լիցքը զրո է [38,39]: Ցույց է տրվել, որ միաչափ նանոօղակում δ -ֆունկցիայով նկարագրվող պոտենցիալով փոխազդող էլեկտրոն-խոռոչ համակարգում արժեքական գոտուց էքսիտոնային վիճակներ էլեկտրոնի օպտիկական անցումներն արգելված են [40]:

Արդեն ստեղծվել է InAs/GaAs ՔՕ-ների հիման վրա աշխատող ենթակարմիր տիրույթի լազեր: ՔՕ-ների երեք շերտ օգտագործվել է որպես լազերի ակտիվ միջավայր, իսկ առաքված ստիպողական ճառագայթումը բազմամոդային է, և ալիքի երկարությունը կենտրոնացված է 930նմ-ի շուրջ [41]: Կատարվել է դաշտի երևույթի հիման վրա գործող սարքում տեղակայված InAs/GaAs միայնակ ՔՕ-ներում ֆոտոյումինեսցենտային սպեկտրի հետազոտում, որը կարող է խթանել ՔՕ-ների հիման վրա աշխատող տրանզիստորների ստեղծումը [42]: [43,44] աշխատանքներում InAs/GaAs ՔՕ-ների մի քանի շերտ օգտագործվել է որպես տերահերցային տիրույթում աշխատող դետեկտորների ակտիվ միջավայր:

Վերջին տարիներին մեծ քանակությամբ փորձարարական և տեսական հետազոտություններ են կատարվել ծավալային և ցածր չափայնությամբ կիսահաղորդչային կառուցվածքների ֆիզիկական հատկությունների վրա էլեկտրական և մագնիսական դաշտերի, լազերային դաշտի, ճնշման, ջերմաստիճանի, համաձուլվածքային կոնցենտրացիայի և այլ արտաքին գործոնների ազդեցության ուսումնասիրման ուղղությամբ: Հարկ է մասնավորապես նշել, որ ճնշումը և ջերմաստիճանը կիսահաղորդչային նյութերում էլեկտրոնային, էքսիտոնային, խառնուկային վիճակների և դրանց օպտիկական հատկությունների ուսումնասիրման և կառավարման լրացուցիչ հնարավորություններ են ընձեռում [45]:

ԱՇԽԱՏԱՆՔԻ ՆՊԱՏԱԿԸ

1. Ուսումնասիրել Պյոշլ-Թելերի սահմանափակող պոտենցիալով քվանտային փոսերում հիդրոստատիկ ճնշման, ջերմաստիճանի և էլեկտրական դաշտի ազդեցությունն էլեկտրոնային և խառնուկային վիճակների, կապի էներգիայի և ֆոտոհոնացման կտրվածքի վրա:
2. Ուսումնասիրել կիսահաղորդչային քվանտային լարում դոնորային խառնուկի հիմնական վիճակի կապի էներգիայի և ֆոտոհոնացման կտրվածքի վրա էլեկտրական և մագնիսական դաշտերի, խառնուկի դիրքի, ինչպես նաև լույսի բևեռացման վեկտորի ուղղության փոփոխության ազդեցությունը:
3. Գլանային քվանտային կետերում խառնուկի հիմնական վիճակի կապի էներգիայի և ֆոտոհոնացման կտրվածքի վրա հիդրոստատիկ ճնշման, էլեկտրական և մագնիսական դաշտերի, ինչպես նաև կառուցվածքի չափերի և խառնուկի դիրքի ազդեցությունների ուսումնասիրում:
4. Ուսումնասիրել Պյոշլ-Թելերի սահմանափակող պոտենցիալով քվանտային օղակում հիդրոստատիկ ճնշման, էլեկտրական և մագնիսական դաշտերի, կառուցվածքի չափերի ազդեցությունը խառնուկի հիմնական վիճակի կապի էներգիայի և ֆոտոհոնացման կտրվածքի վրա:
5. Կրկնակի համակենտրոն քվանտային օղակներում ուսումնասիրել դոնորային խառ-

նուկի կապի էներգիայի և ֆոտոիոնացման կտրվածքի վրա հիդրոստատիկ ճնշման, ջերմաստիճանի, ալյումինի կոնցենտրացիայի և կառուցվածքի չափերի ազդեցությունը:

6. Քվանտային օղակում ուսումնասիրել սպին-ուղեծրային փոխազդեցության հաշվառմամբ հիդրոստատիկ ճնշման ազդեցությունն էլեկտրոնային վիճակների և լույսի գծային և ոչ գծային կլանման վրա:
7. Ուսումնասիրել միայնակ և կրկնակի համակենտրոն քվանտային օղակներում հիդրոստատիկ ճնշման, էլեկտրական դաշտի և ալյումինի կոնցենտրացիայի ազդեցությունն էլեկտրոնային վիճակների և լույսի ներգոտիական կլանման վրա:
8. Հետազոտել քվանտային օղակում հիդրոստատիկ ճնշման և էլեկտրական դաշտի ազդեցությունը խառնուկային վիճակների և լույսի գծային և ոչ գծային կլանման վրա:
9. Ուսումնասիրել կրկնակի համակենտրոն քվանտային օղակներում հիդրոստատիկ ճնշման, ալյումինի կոնցենտրացիայի և կառուցվածքի չափերի ազդեցությունը խառնուկային վիճակների և լույսի ներգոտիական կլանման վրա:
10. Հետազոտել «քվանտային կետ-օղակ» կառուցվածքում էլեկտրական և մագնիսական դաշտերի ազդեցությունը խառնուկային վիճակների և լույսի ներգոտիական կլանման վրա:
11. Լազերային և էլեկտրական դաշտերի, ինչպես նաև հիդրոստատիկ ճնշման առկայության պայմաններում ուսումնասիրել քվանտային օղակում էլեկտրոնային վիճակները և լույսի ներգոտիական կլանումը:
12. Հետազոտել լազերային և էլեկտրական դաշտերի համատեղ ազդեցությունը կրկնակի համակենտրոն և լայնակի կապակցված կրկնակի քվանտային օղակներում էլեկտրոնային վիճակների և լույսի ներգոտիական կլանման վրա:
13. Ուսումնասիրել լազերային և էլեկտրական դաշտերի, ինչպես նաև հիդրոստատիկ ճնշման ազդեցությունը քվանտային օղակում խառնուկային վիճակների և լույսի ներգոտիական կլանման վրա:

ԳԻՏԱԿԱՆ ՆՈՐՈՒԹՅՈՒՆԸ

1. Առաջին անգամ ուսումնասիրվել է Պյոշլ-Թելերի սահմանափակող պոտենցիալով GaAs քվանտային փոսում հիդրոստատիկ ճնշման, ջերմաստիճանի, էլեկտրական դաշտի և սահմանափակող պոտենցիալի անհամաչափության պարամետրի ազդեցությունն էլեկտրոնի հիմնական վիճակի էներգիայի, կապի էներգիայի, ինչպես նաև դոնորային խառնուկով պայմանավորված ֆոտոիոնացման կտրվածքի վրա:
2. Գլանային քվանտային լարում ուսումնասիրվել են դոնորային խառնուկի հիմնական վիճակի կապի էներգիայի և ֆոտոիոնացման կտրվածքի վրա էլեկտրական և մագնիսական դաշտերի, կառուցվածքի չափերի, խառնուկի դիրքի և լույսի բևեռացման վեկտորի ուղղության ազդեցությունը:
3. Առաջին անգամ հետազոտվել է հիդրոստատիկ ճնշման, էլեկտրական և մագնիսական դաշտերի, կառուցվածքի չափերի և խառնուկի դիրքի ազդեցությունը խառնուկի հիմնական վիճակի կապի էներգիայի և ֆոտոիոնացման կտրվածքի վրա GaAs/Ga_{1-x}Al_xAs գլանային քվանտային կետում:
4. Առաջին անգամ ուսումնասիրվել է հիդրոստատիկ ճնշման, էլեկտրական և մագ-

- նիսական դաշտերի, ինչպես նաև կառուցվածքի չափերի ազդեցությունը խառնուկի հիմնական վիճակի կապի էներգիայի և ֆոտոիոնացման կտրվածքի վրա Պյոշլ-Թելերի սահմանափակող պոտենցիալով InAs քվանտային օղակում:
5. Հետազոտվել է հիդրոստատիկ ճնշման, ջերմաստիճանի, այլումինի կոնցենտրացիայի և կառուցվածքի չափերի ազդեցությունը խառնուկի կապի էներգիայի և ֆոտոիոնացման կտրվածքի վրա $\text{GaAs/Ga}_{1-x}\text{Al}_x\text{As}$ կրկնակի համակենտրոն քվանտային օղակներում:
 6. Սպին-ուղեծրային փոխազդեցության հաշվառմամբ հետազոտվել է հիդրոստատիկ ճնշման ազդեցությունը էլեկտրոնային վիճակների և լույսի գծային և ոչ գծային կլանման գործակիցների վրա GaAs քվանտային օղակում:
 7. Առաջին անգամ ուսումնասիրվել է հիդրոստատիկ ճնշման, էլեկտրական դաշտի և այլումինի կոնցենտրացիայի ազդեցությունն էլեկտրոնային վիճակների և լույսի ներգոտիական կլանման վրա $\text{GaAs/Ga}_{1-x}\text{Al}_x\text{As}$ միայնակ և կրկնակի համակենտրոն քվանտային օղակներում:
 8. Ուսումնասիրվել է հիդրոստատիկ ճնշման և էլեկտրական դաշտի ազդեցությունը էլեկտրոնային վիճակների և լույսի գծային և ոչ գծային կլանման վրա քվանտային օղակում:
 9. Առաջին անգամ ուսումնասիրվել է հիդրոստատիկ ճնշման, այլումինի կոնցենտրացիայի և կառուցվածքի չափերի ազդեցությունը խառնուկային վիճակների և լույսի ներգոտիական կլանման վրա $\text{GaAs/Ga}_{1-x}\text{Al}_x\text{As}$ կրկնակի համակենտրոն քվանտային օղակներում:
 10. «Քվանտային կետ-օղակ» կառուցվածքում հետազոտվել է էլեկտրական և մագնիսական դաշտերի ազդեցությունը խառնուկային վիճակների և լույսի ներգոտիական կլանման վրա:
 11. Բարձրհաճախային մոտավորությամբ առաջին անգամ հետազոտվել է լազերային և էլեկտրական դաշտերի, ինչպես նաև հիդրոստատիկ ճնշման ազդեցությունն էլեկտրոնային վիճակների և լույսի ներգոտիական կլանման վրա քվանտային օղակում:
 12. Կրկնակի համակենտրոն և լայնակի կապակցված կրկնակի քվանտային օղակներում բարձրհաճախային մոտավորությամբ ուսումնասիրվել է լազերային և էլեկտրական դաշտերի ազդեցությունն էլեկտրոնային վիճակների և լույսի ներգոտիական կլանման վրա:
 13. Առաջին անգամ բարձրհաճախային մոտավորությամբ հետազոտվել է լազերային և էլեկտրական դաշտերի ազդեցությունը քվանտային օղակում խառնուկային վիճակների և լույսի ներգոտիական կլանման վրա:

ԿԻՐԱՌԱԿԱՆ ԱՐԺԵՔԸ

Ստացված արդյունքները նշանակալի հետաքրքրություն են ներկայացնում ոչ միայն կիսահաղորդչային նանոկառուցվածքների ֆիզիկայի հիմնարար հարցերի ավելի խոր ընկալման, այլ նաև նանոէլեկտրոնային սարքերի նախագծման և մշակման տեսանկյունից: Հիմնարար ֆիզիկայի առումով հատկապես արժևորվում են կիսահաղորդչային նանոկառուցվածքներում էլեկտրոնային, խառնուկային վիճակների, ինչպես նաև օպտիկական հատկությունների վրա արտաքին որոշ գործոնների ազդեցության ուսումնասիրումը: Ստացված արդյունքները կարող են օգտագործվել առկա փոր-

ծարարական արդյունքների վերլուծության և բացատրման համար: Դրանք կարևորվում են նաև կիսահաղորդչային նանոկառուցվածքների ավելի խոր ուսումնասիրմանն ուղղված նոր փորձերի իրականացման համար: Սարքային կիրառություններում էլեկտրոնային և խառնուկային վիճակների վրա արտաքին գործոնների ազդեցության ուսումնասիրումը կարևորվում է հիշողության սարքերի քիմիական և կենսաքիմիական զգայակների և տվիչների կատարելագործման տեսանկյունից, իսկ ներգոտիական օպտիկական հատկությունների հետազոտումը կարող է օգտագործվել կիսահաղորդչային նանոկառուցվածքների հենքի վրա ստեղծվող օպտիկական ուղղիչների և լազերների բնութագրերի բարելավման համար:

ՊԱՇՏՊԱՆՈՒԹՅԱՆ ՆԵՐԿԱՅԱՑՎՈՂ ՀԻՄՆԱԿԱՆ ԴՐՈՒՅԹՆԵՐԸ

1. Պյոշլ-Թելերի սահմանափակող պոտենցիալով GaAs քվանտային փոսում էլեկտրոնի հիմնական վիճակի էներգիան էլեկտրական դաշտի լարվածության աճող ֆունկցիա է: Պոտենցիալի անհամաչափության աստիճանը մեծացնելիս, ինչպես նաև համակարգի ջերմաստիճանը բարձրացնելիս հիմնական վիճակի էներգիան աճում է, իսկ հիդրոստատիկ ճնշումը մեծացնելիս՝ նվազում:
2. Պյոշլ-Թելերի սահմանափակող պոտենցիալով GaAs քվանտային փոսում դոնորային խառնուկի հիմնական վիճակի կապի էներգիան ճնշումից կախված աճում է, իսկ ջերմաստիճանից կախված՝ նվազում: Այն կարելի է նպատակաուղղված փոփոխել ոչ միայն սահմանափակող պոտենցիալի անհամաչափության պարամետրի, այլ նաև խառնուկի դիրքի փոփոխմամբ: Հիդրոստատիկ ճնշման աճը խառնուկի ֆոտոհոնացման սպեկտրում հանգեցնում է կապույտ, իսկ ջերմաստիճանի աճը՝ կարմիր շեղման: Ֆոտոհոնացման կտրվածքի կախումը ֆոտոնի էներգիայից կարելի է փոփոխել լույսի բևեռացման վեկտորի ուղղության փոփոխմամբ:
3. Եթե լույսի բևեռացման վեկտորն ուղղված է GaAs/Ga_{1-x}Al_xAs գլանային քվանտային լարի առանցքի երկայնքով, ապա առանցքին տեղադրված դոնորային խառնուկի համար թույլատրելի են խառնուկի հիմնական վիճակից քվանտային լարում $l=0$ ուղեծրային քվանտային թվով վիճակ անցումները: Եթե բևեռացման վեկտորն ուղղահայաց է քվանտային լարի առանցքին, ապա թույլատրելի են խառնուկային հիմնական վիճակից քվանտային լարի $l=\pm 1$ ուղեծրային քվանտային թվով վիճակներ անցումները: Լարի առանցքից շեղված խառնուկի դեպքում $l=0$ քվանտային թվով վիճակներ անցումներն արգելված են, եթե բևեռացման վեկտորն ուղղահայաց է ինչպես քվանտային լարի առանցքին, այնպես էլ խառնուկի շեղման ուղղությանը:
4. Էլեկտրական և մագնիսական դաշտերը քվանտային լարում խառնուկի կապի էներգիայի և ֆոտոհոնացման կտրվածքի արդյունավետ կառավարման միջոց են: Խառնուկի կամայական դիրքում դաշտերի համատեղ ազդեցությամբ կարելի է էականորեն փոփոխել կապի էներգիայի և ֆոտոհոնացման կտրվածքի արժեքները: Ընդ որում, ֆոտոհոնացման կտրվածքի կախումն էլեկտրական դաշտի լարվածությունից կարող է էապես փոփոխվել՝ կախված խառնուկի դիրքից, մագնիսական դաշտի ինդուկցիայից, լույսի բևեռացման վեկտորի ուղղությունից և ֆոտոնի էներգիայից:
5. GaAs/Ga_{1-x}Al_xAs գլանային քվանտային կետում ճնշման փոքր արժեքների դեպքում ($\Gamma-X$ գոտիների՝ հիդրոստատիկ ճնշումով պայմանավորված հատման արժեքից փոքր արժեքների տիրույթ) խառնուկի կապի էներգիան աճում է գծային օրենքով,

իսկ մեծ արժեքների դեպքում այն հասնում է առավելագույն արժեքի, այնուհետև նվազում: Էլեկտրական և մագնիսական դաշտերը, կախված դոնորային խառնուկի դիրքից, կարող են նպաստել կապի էներգիայի նվազմանը կամ աճին: Լույսի զուգահեռ և ուղղահայաց բևեռացումների դեպքում ճնշման մեծացումը հանգեցնում է ֆոտոհոնացման կտրվածքի առավելագույն արժեքի մեծացման:

6. GaAs/Ga_{1-x}Al_xAs կրկնակի համակենտրոն քվանտային օղակներում դոնորային խառնուկի հիմնական վիճակի կապի էներգիայի վարքն էապես կախված է համակարգում էլեկտրոնի հավանականության խտության բաշխումից: Համակարգի չափերից կախված՝ այն դրսևորում է ոչ մոնոտոն վարք. օղակների միջև արգելքի լայնության մեծացումը հանգեցնում է ֆոտոհոնացման սպեկտրում կարմիր կամ կապույտ շեղումների, իսկ ճնշման և այլումինի կոնցենտրացիայի աճը՝ կապույտ շեղման և ֆոտոհոնացման կտրվածքի առավելագույն արժեքի մեծացման: Խառնուկը լարի առանցքից հեռացնելիս ֆոտոհոնացման սպեկտրում դիտվում է կարմիր շեղում և կտրվածքի առավելագույն արժեքի նվազում:
7. GaAs քվանտային օղակում սպին-ուղեծրային փոխազդեցության և հիդրոստատիկ ճնշման համատեղ ազդեցությունը հանգեցնում է թույլատրելի անցումների շեմային էներգիաների, ինչպես նաև լույսի գծային և երրորդ կարգի ոչ գծային կլանման գործակիցների էական փոփոխությունների: Հիդրոստատիկ ճնշման մեծացումը հանգեցնում է սպին-ուղեծրային ճեղքման էներգիաների աճի և շեմային էներգիաների նվազման: Ֆոտոնի էներգիայի կամայական արժեքի դեպքում ճնշումը մեծացնելիս կլանման գործակիցը նվազում է:
8. GaAs/Ga_{1-x}Al_xAs կրկնակի համակենտրոն օղակներում էլեկտրոնի հիմնական վիճակի էներգիայի վրա հիդրոստատիկ ճնշման և էլեկտրական դաշտի ազդեցությունը կախված է համակարգի չափերից և այլումինի կոնցենտրացիայից: Հիդրոստատիկ ճնշման և այլումինի կոնցենտրացիայի փոփոխության միջոցով հնարավոր է էլեկտրոնի հավանականության խտության արդյունավետ կառավարում և լույսի ներգոտիական կլանման սպեկտրում մաքսիմումների դիրքերի նպատակաուղղված շեղումների իրականացում:
9. GaAs/Ga_{1-x}Al_xAs կրկնակի համակենտրոն քվանտային օղակներում լայնական էլեկտրական դաշտի լարվածությունը մեծացնելիս էլեկտրոնի հիմնական, առաջին և երկրորդ գրգռված վիճակների էներգիաները նվազում են: Սահմանափակող պոտենցիալի բնութագրական էներգիայի մեծացումը հանգեցնում է էներգիական մակարդակների շեղման դեպի մեծ էներգիաների տիրույթ: Էլեկտրական դաշտն ուժեղացնելիս լույսի ներգոտիական կլանման սպեկտրում դիտվում է կապույտ շեղում, մինչդեռ սահմանափակող պոտենցիալի բնութագրական էներգիայի և ներքին օղակի շառավղի մեծացումը հանգեցնում են կարմիր շեղման:
10. GaAs/Ga_{1-x}Al_xAs կրկնակի համակենտրոն քվանտային օղակներում խառնուկային հիմնական և առաջին գրգռված վիճակների էներգիաներն ունեն տարբեր կախումներ հիդրոստատիկ ճնշումից, այլումինի կոնցենտրացիայից, խառնուկի դիրքից և համակարգի չափերից: Դրանց ազդեցությունը հիմնական վիճակի կապի էներգիայի վրա ավելի ուժեղ է, քան գրգռված վիճակի կապի էներգիայի վրա: Նշված մեծություններից շեմային էներգիաների ոչ մոնոտոն կախումները խառնուկային կլանման սպեկտրի կառավարման հնարավորություն են ընձեռում:
11. «Քվանտային կետ-օղակ» համակարգում խառնուկային հիմնական վիճակից երկ-

րորդ գրգռված վիճակ անցման շեմային էներգիայի վարքն էլեկտրական դաշտում կախված է խնդրի մյուս պարամետրերի արժեքներից: Այսպես, քվանտային կետի սահմանափակող պոտենցիալի բնութագրական էներգիայի մեծացումը հանգեցնում է կլանման սպեկտրում կարմիր շեղման, մինչդեռ օղակի սահմանափակող պոտենցիալի բնութագրական էներգիայի մեծացումը հանգեցնում է կապույտ շեղման: Մյուս կողմից, դոնորային խառնուկի առկայությամբ Ահարոնով-Բոհմի երևույթի ուսումնասիրությունից հետևում է, որ «քվանտային կետ-օղակ» կառուցվածքում էլեկտրոնի տեղայնացումն և լույսի ներգոտիական կլանման սպեկտրն ամբողջությամբ կառավարելի է մագնիսական դաշտի և սահմանափակող պոտենցիալի պարամետրերի միջոցով, բացի հիմնական վիճակից, որը հիմնականում տեղայնացված է միայն քվանտային կետի տիրույթում:

12. GaAs/Ga_{0.7}Al_{0.3}As քվանտային օղակում «լազերով ձևափոխված» սահմանափակող պոտենցիալի համար ստացվել է վերլուծական արտահայտություն: Լազերային դաշտում դիտվում է էներգիական մակարդակների ճեղքում և տեղաշարժ դեպի մեծ էներգիաների տիրույթ, մինչդեռ էլեկտրական դաշտում էներգիական մակարդակների ճեղքումն ուղեկցվում է դեպի փոքր էներգիաների տիրույթ տեղաշարժով: Լույսի բևեռացման վեկտորի ուղղության փոփոխության, ինչպես նաև լազերային և էլեկտրական դաշտերի համատեղ ազդեցությամբ հնարավոր է իրականացնել ներգոտիական կլանման սպեկտրի նպատակաուղղված փոփոխություն:
13. GaAs/Ga_{0.7}Al_{0.3}As կրկնակի համակենտրոն քվանտային օղակներում «լազերով ձևափոխված» սահմանափակող պոտենցիալի համար ստացված վերլուծական արտահայտությունը լազերային և լայնական էլեկտրական դաշտերի միջոցով համակարգի էլեկտրոնային և օպտիկական հատկությունների կառավարման հնարավորություն է ընձեռում: Էլեկտրական դաշտի ուղղությունից կախված՝ էլեկտրոնի էներգիական սպեկտրում տեղի ունեն Շտարկի գծային և քառակուսային երևույթները: Էլեկտրական դաշտը հիմնովին փոխում է նաև էներգիական մակարդակների հատման և հակահատման վարքերը և վերացնում լազերային դաշտով պայմանավորված ջոկման կանոնները՝ հնարավոր դարձնելով ներգոտիական բոլոր անցումները:
14. Լազերային դաշտի ազդեցությունը լայնակի կապակցված կրկնակի քվանտային օղակներում հանգեցնում է օղակների՝ միմյանցից առանձնացման հնարավորության և մոլեկուլային վիճակների կրկնակի այլասերման: Էներգիական մակարդակների՝ էլեկտրական դաշտի ուղղությունից կախման մեջ դիտվել են մակարդակների տատանումներ: Նշված համակարգի ներգոտիական կլանման սպեկտրը կարելի է կառավարել և՛ լազերային, և՛ էլեկտրական դաշտի միջոցով:
15. GaAs/Ga_{0.7}Al_{0.3}As քվանտային օղակում լազերային դաշտում տեղի ունի խառնուկային գրգռված վիճակների էներգիական մակարդակների պատահական այլասերում: Լազերային դաշտի պարամետրի և խառնուկի տարբեր դիրքերի դեպքում կարող են համընկնել շեմային էներգիաները, ինչպես նաև մատրիցական տարրերը: Լազերային դաշտի պարամետրի 0–5 նմ արժեքների տիրույթում օղակի կենտրոնում տեղադրված խառնուկի դեպքում էլեկտրական դաշտի լարվածության մեծացումը խոչընդոտում է էներգիական մակարդակների փոփոխությունը:

ԱՇԽԱՏԱՆՔԻ ՓՈՐՁԱՀԱՎԱՆՈՒԹՅՈՒՆԸ

Ատենախոսության հիմնական արդյունքները քննարկվել են ԵՊՀ ֆիզիկայի ֆակուլտետի և պինդ մարմնի ֆիզիկայի ամբիոնի սեմինարներում և զեկուցվել “13th International Conference on High Pressure Semiconductor Physics-HPSP 13” միջազգային գիտաժողովում (Fortaleza, Ceara, Brazil, 2008), 25th International Conference on Defects in Semiconductors ICDS-2” միջազգային գիտաժողովում (St. Petersburg, Russia, 2009), “International Conference on Superlattices, Nanostructures, and Nanodevices” միջազգային գիտաժողովում (Dresden, Germany, 2012), “IONS-11/Paris” (Paris, France, 2012), “IONS-NA-4/New York” (New York, USA, 2012) “VII Workshop Chile-Mexico on Magnetism, Nanoscience and their Applications” միջազգային գիտաժողովում (Arica, Chile, 2015), “International Workshop on Nanoscale Assemblies of Semiconductor Nanocrystals, Metal Nanoparticles and Single Molecules – NANOSA15: Theory, Experiment and Application” միջազգային գիտաժողովում (Dresden, Germany, 2015), “EMN Meeting on Quantum Communication and Quantum Imaging-2016” միջազգային գիտաժողովում (Berlin, Germany, 2016), “Energy Materials Nanotechnology” (Dubrovnik, Croatia, 2016) միջազգային գիտաժողովում, “International Conference on Terahertz Emission, Metamaterials and Nanophotonics – TERAMETANANO-2” (Venice, Italy, 2017), ինչպես նաև Հայաստանի Հանրապետությունում անցկացված միջազգային և հանրապետական գիտաժողովներում՝ “New Technologies for development of heterosemiconductors for device applications” (Yerevan, 2016), “Laser Physics–2008” (Ashtarak, 2008), “Semiconductor micro- and nanoelectronics” (Tsaghkadzor, 2009), “Photonics & Micro- and Nano-structured Materials” (Yerevan, 2011), “8th International Conference on Semiconductor Micro- & Nanoelectronics” (Yerevan, 2011), “OPTICS-2011” (Yerevan-Ashtarak, 2011).

ՀՐԱՊԱՐԱԿՈՒՄՆԵՐ

Ատենախոսության հիմնական արդյունքները տպագրված են 37 հոդվածում և կոլեկտիվ մենագրության 1 գլխում, որոնց ցուցակը ներկայացված է սեղմագրի վերջում:

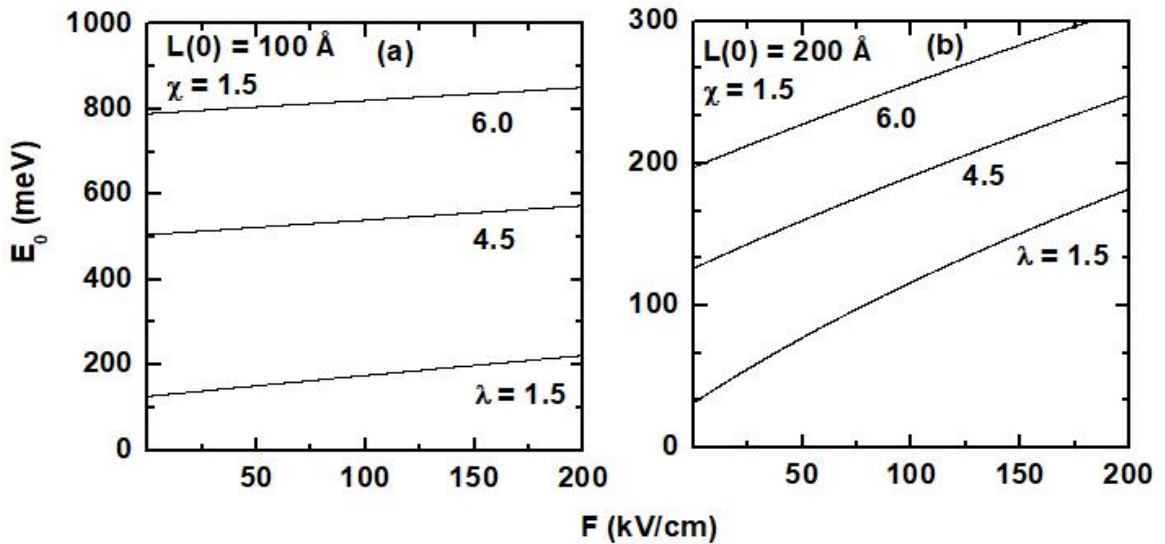
ԱՇԽԱՏԱՆՔԻ ԿԱՌՈՒՑՎԱԾՔԸ

Ատենախոսությունը բաղկացած է ներածությունից, երեք մասից (յոթ գլուխ), եզրակացությունից, հավելվածից, հապավումների և գրականության ցանկերից: Յուրաքանչյուր մաս և գլուխ սկսվում է քննարկվող գրականության համառոտ ակնարկով: Ատենախոսության ծավալը 277 էջ է, այն պարունակում է 153 գրաֆիկ և նկար, 5 աղյուսակ և գրականության ցանկ 273 հղումով:

ԱՇԽԱՏԱՆՔԻ ԲՈՎԱՆԴԱԿՈՒԹՅՈՒՆԸ

Ատենախոսության առաջին մասը նվիրված է կիսահաղորդիչային նանոկառուցվածքներում էլեկտրոնային, խառնուկային վիճակների և ֆոտոֆոնոնացման կտրվածքի վրա արտաքին գործոնների ազդեցության ուսումնասիրմանը:

§1.1-ում Պյոշլ-Թելերի (ՊԹ) սահմանափակող պոտենցիալով քվանտային փոսում (ԲՓ) հետազոտվել է հիդրոստատիկ ճնշման, ջերմաստիճանի և էլեկտրական



Նկ.1. Էլեկտրոնի հիմնական վիճակի էներգիայի կախումն էլեկտրական դաշտի լարվածությունից λ պարամետրի և ՔՓ-ի լայնության տարբեր արժեքների դեպքում ($P = 0, T = 4 \text{ Կ}$)

դաշտի ազդեցությունն էլեկտրոնի հիմնական վիճակի էներգիայի և ալիքային ֆունկցիայի վրա: Ինդիքը լուծվել է փոփոխակալին մեթոդի օգնությամբ: Նկ.1-ում ներկայացված են էլեկտրոնի հիմնական վիճակի էներգիայի կախումն էլեկտրական դաշտի լարվածությունից սահմանափակող պոտենցիալի λ պարամետրի և ՔՓ-ի լայնության տարբեր արժեքների դեպքում:

§1.2-ում ուսումնասիրվել է ՊԹ-ի սահմանափակող պոտենցիալով ՔՓ-ում դոնորային խառնուկի հիմնական վիճակի կապի էներգիայի վրա ճնշման, ջերմաստիճանի, էլեկտրական դաշտի և λ պարամետրի ազդեցությունը: Հիմնական վիճակի կապի էներգիայի համար ստացվել է

$$E_b = -\frac{\hbar^2 \alpha_i^2}{2m^*(P,T)} + \frac{e^2 N^2}{\varepsilon(P,T)} \int d^3 r \frac{f^2(z, \alpha_F) e^{-2\alpha_i r}}{r} \quad (1)$$

արտահայտությունը, որտեղ $r = \rho^2 + (z - z_i)^2$ -ը էլեկտրոն-խառնուկ հեռավորությունն է, z_i -ն ցույց է տալիս խառնուկի դիրքը ՔՓ-ում, $f(z, \alpha_F)$ -ն էլեկտրոնի հիմնական վիճակի ալիքային ֆունկցիան է խառնուկի բացակայությամբ, α_F -ը և α_i -ն՝ փոփոխակալին պարամետրերը:

§1.3-ում ուսումնասիրվել է վերոնշյալ պարամետրերի ազդեցությունը դոնորային խառնուկի ֆոտոհոնացման կտրվածքի (ՖԻԿ) վրա: Ուսումնասիրվել է լույսի բևեռացման ուղղության երկու դեպք, երբ լույսի բևեռացման վեկտորն ուղղված է x առանցքի երկայնքով (x -բևեռացում) և z առանցքի երկայնքով (z -բևեռացում): Երկու դեպքում էլ երկբևեռային մատրիցական տարրի համար ստացվել են ջրկման կանոններ, որոնց համաձայն թույլատրելի են խառնուկային հիմնական վիճակից ՊԹ-ի ՔՓ-ի հիմնական վիճակ անցումները: Նշված բևեռացումների դեպքում ՖԻԿ-ի համար ստացվել են հետևյալ արտահայտությունները.

$$\sigma(\omega, P, T) = \sigma_0 I_x^2 \frac{\hbar \omega (\hbar \omega - E_b)}{\left[\alpha_0^2 + \frac{2m(P,T)}{\hbar^2} (\hbar \omega - E_b) \right]^{\frac{5}{2}}} \frac{m(P,T)}{\hbar^2} \theta(\hbar \omega - E_b), \quad (2)$$

$$\sigma(\omega, P, T) = \sigma_0 I_z^2 \frac{\hbar \omega}{\left[\alpha_0^2 + \frac{2m(P, T)}{\hbar^2} (\hbar \omega - E_b) \right]^{\frac{3}{2}}} \theta(\hbar \omega - E_b), \quad (3)$$

որտեղ

$$\sigma_0 = \frac{8\pi^2 \alpha_{FS} m(P, T) \alpha_0^2}{\varepsilon_w(P, T)^{1/2} \hbar^2} \left(\frac{m(P, T)}{m_0} \right)^2 N_i N_f, \quad (4)$$

$$I_x = \int_0^{\pi/2\beta} |z - z_i|^{5/2} |f(z, \alpha_F)|^2 K_{5/2} \left(|z - z_i| \sqrt{\alpha_0^2 + \frac{2m(P, T)}{\hbar^2} (\hbar \omega - E_b)} \right) dz, \quad (5)$$

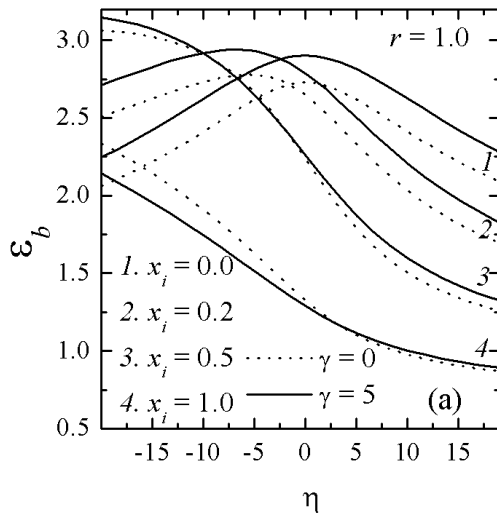
$$I_z = \int_0^{\pi/2\beta} z |z - z_i|^{3/2} |f(z, \alpha_F)|^2 K_{3/2} \left(|z - z_i| \sqrt{\alpha_0^2 + \frac{2m(P, T)}{\hbar^2} (\hbar \omega - E_b)} \right) dz: \quad (6)$$

(4) բանաձևում α_0 -ն փոփոխակալին պարամետրի այն արժեքն է, որի դեպքում հիմնական վիճակի էներգիան ընդունում է իր նվազագույն արժեքը, $K_n(x)$ -ը՝ n -րդ կարգի երկրորդ սեռի Բեսելի ձևափոխված ֆունկցիան, $\theta(x)$ -ը՝ միավոր թռիչքի ֆունկցիան է, $\varepsilon_w(P, T)$ -ն՝ ճնշումից և ջերմաստիճանից կախված փոսի նյութի դիէլեկտրական թափանցելիությունը, N_i -ն և N_f -ը՝ սկզբնական և վերջնական վիճակների նորմավորման գործակիցները:

Ատենախոսության **երկրորդ գլուխը** նվիրված է գլանային համաչափությամբ ՔԼ-ում խառնուկային վիճակների և ՖԻԿ-ի վրա էլեկտրական և մագնիսական դաշտերի ազդեցության ուսումնասիրմանը:

§2.1-ում և **§2.2**-ում ուսումնասիրվել է ՔԼ-ում դոնորային խառնուկի հիմնական վիճակի կապի էներգիայի և ՖԻԿ-ի վրա մագնիսական դաշտի ազդեցությունը: Ենթադրվել է, որ մագնիսական դաշտի ինդուկցիայի վեկտորն ուղղված է ՔԼ-ի առանցքով (z առանցք): Խառնուկի դիրքի համար դիտարկվել է երկու դեպք, երբ խառնուկը լարի առանցքի վրա է և լարի առանցքից շեղված է և դեկարտյան կոորդինատական համակարգում ունի $x_i \neq 0, y_i = 0, z_i = 0$ կոորդինատները: Ուսումնասիրվել է նաև լույսի բևեռացման ուղղության երկու դեպք, երբ բևեռացման վեկտորն ուղղված է ՔԼ-ի առանցքով (զուգահեռ բևեռացում) և ՔԼ-ի առանցքին ուղղահայաց (ուղղահայաց բևեռացում): Զուգահեռ բևեռացման դեպքում, երբ խառնուկը լարի առանցքի վրա է, թույլատրելի են խառնուկի հիմնական վիճակից $l=0$ անցումները: Ուղղահայաց բևեռացման դեպքում թույլատրելի են խառնուկային հիմնական վիճակից $l=\pm 1$ ուղեծրային քվանտային թվով վիճակներ անցումները: Երբ խառնուկը շեղված է լարի առանցքից, խառնուկային հիմնական վիճակից $l=0$ վիճակին անցումները հնարավոր են, եթե լույսը բևեռացված է x առանցքով: Լույսի y - բևեռացման դեպքում այդ անցումներն արգելված են:

§2.3-ում և **§2.4**-ում ուսումնասիրվել է ՔԼ-ում արտաքին էլեկտրական և մագնիսական դաշտի ազդեցությունը դոնորային խառնուկի հիմնական վիճակի կապի էներգիայի և ֆոտոիոնացման կտրվածքի վրա: Ենթադրվել է, որ մագնիսական դաշտի ինդուկցիայի վեկտորն ուղղված է ՔԼ-ի առանցքով, իսկ էլեկտրական դաշտի լարվածության վեկտորն ուղղահայաց է ՔԼ-ի առանցքին: Հիմնական վիճակի ալիքային ֆունկցիան և էներգիան որոշվել են փոփոխակալին եղանակով: Ուսումնասիրվել են լույսի զուգահեռ և ուղղահայաց բևեռացման դեպքերը: Կապի էներգիայի



Նկ. 2. Կապի էներգիայի կախումն էլեկտրական դաշտի լարվածությունից խառնուկի դիրքի կորդինատի և մագնիսական դաշտի ինդուկցիայի տարբեր արժեքների դեպքում

ուղղված են ուղղաձիգ առանցքով (z առանցք): Այն դեպքում, երբ բևեռացման վեկտորն ուղղված է y առանցքով, խառնուկի հիմնական վիճակից գլանային ՔԿ-ի հիմնական վիճակ անցումն արգելված է: Այդ անցումներն արգելված են նաև այն դեպքում, երբ խառնուկը z առանցքի վրա է՝ $\rho_i = 0$:

§3.2-ում ուսումնասիրվել է արտաքին էլեկտրական և մագնիսական դաշտերի, ճնշման միաժամանակյա ազդեցությունն էլեկտրոնի հիմնական վիճակի կապի էներգիայի և ՖԻԿ-ի վրա ՊԹ-ի սահմանափակող պոտենցիալով ՔՕ-ում:

§3.3-ում և §3.4-ում ուսումնասիրվել է ճնշման, ջերմաստիճանի, ալյումինի կոնցենտրացիայի և կառուցվածքի չափերի ազդեցությունը կրկնակի համակենտրոն դոնորային խառնուկի կապի էներգիայի և ՖԻԿ-ի վրա ԿՀՔՕ-ներում: Հաշվի է առնվել Γ - և X - միներալների դիրքերի փոփոխությունը, կախված ոչ միայն ճնշումից, այլ նաև ալյումինի կոնցենտրացիայից: Նկ.3-ում պատկերված է ՖԻԿ-ի կախումը ֆոտոնի էներգիայից հիդրոստատիկ ճնշման տարբեր արժեքների դեպքում: Նկ.4-ում պատկերված է ալյումինի կոնցենտրացիայի փոփոխության ազդեցությունը ՖԻԿ-ի՝ ֆոտոնի էներգիայից կախման վրա:

Ատենախոսության երկրորդ մասը նվիրված է կիսահաղորդչային նանո-օղակներում էլեկտրոնային, խառնուկային վիճակների և լույսի ներգոտիական կլանման վրա հիդրոստատիկ ճնշման և էլեկտրական ու մագնիսական դաշտերի ազդեցության ուսումնասիրմանը:

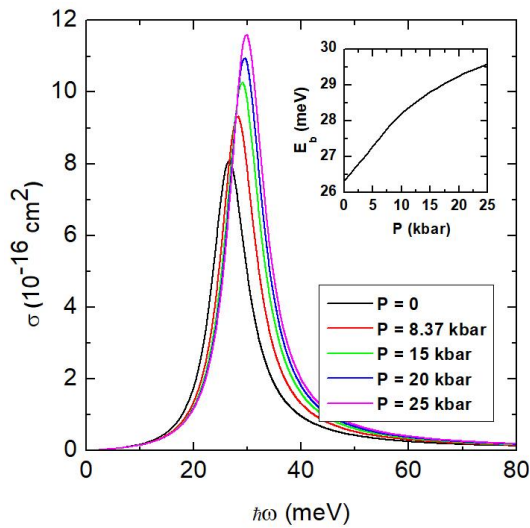
Ատենախոսության **չորրորդ գլուխը** նվիրված է քվանտային օղակներում և կրկնակի համակենտրոն քվանտային օղակներում էլեկտրոնային վիճակների և ներգոտիական կլանման վրա հիդրոստատիկ ճնշման և էլեկտրական դաշտի ազդեցության ուսումնասիրմանը:

§4.1-ում ուսումնասիրվել է ճնշման ազդեցությունը լույսի գծային և ոչ գծային կլանման վրա ՔՕ-ում սպին-ուղեծրային փոխազդեցության հաշվառմամբ: Սկզբնական և վերջնական վիճակների ալիքային ֆունկցիաներն ու էներգիաները որոշվել են

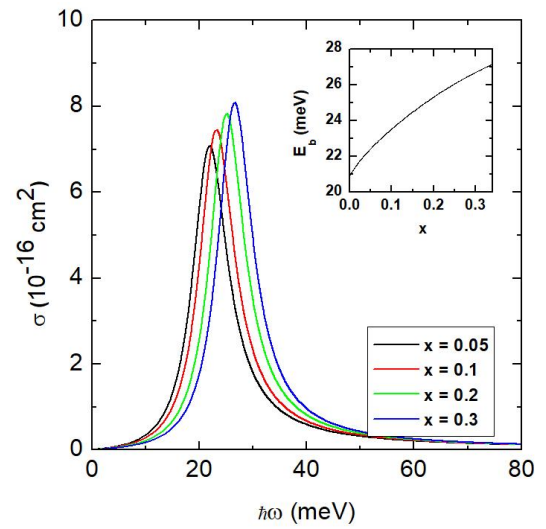
կախումն էլեկտրական դաշտի լարվածությունից մագնիսական դաշտի ինդուկցիայի և խառնուկի դիրքի կորդինատի տարբեր արժեքների համար պատկերված է նկ.2-ում:

Ատենախոսության **երրորդ գլուխը** նվիրված է գլանային համաչափությամբ քվանտային կետերում և օղակներում խառնուկային վիճակների և ֆոտոիոնացման կտրվածքի վրա հիդրոստատիկ ճնշման, էլեկտրական և մագնիսական դաշտերի ազդեցության ուսումնասիրմանը:

§3.1-ում GaAs/Ga_{0,7}Al_{0,3}As գլանային ՔԿ-ում ուսումնասիրվել է դոնորային խառնուկի կապի էներգիայի և ՖԻԿ-ի վրա արտաքին էլեկտրական և մագնիսական դաշտերի, ինչպես նաև ճնշման միաժամանակյա ազդեցությունը: Ենթադրվել է, որ էլեկտրական և մագնիսական դաշտերն



Նկ.3. Խառնուկի ՖԻԿ-ի կախումը ֆոտոնի էներգիայից ճնշման տարբեր արժեքների դեպքում ($\rho_1^{in} = 20$ նմ, $L_A = 10$ նմ, $L_B = 1$ նմ, $L_C = 8$ նմ, $H = 4$ նմ, $x = 0,3$, $z_i = 0$, $\rho_i = 25$ նմ): Ներդիրում պատկերված է կապի էներգիայի կախումը ճնշումից:

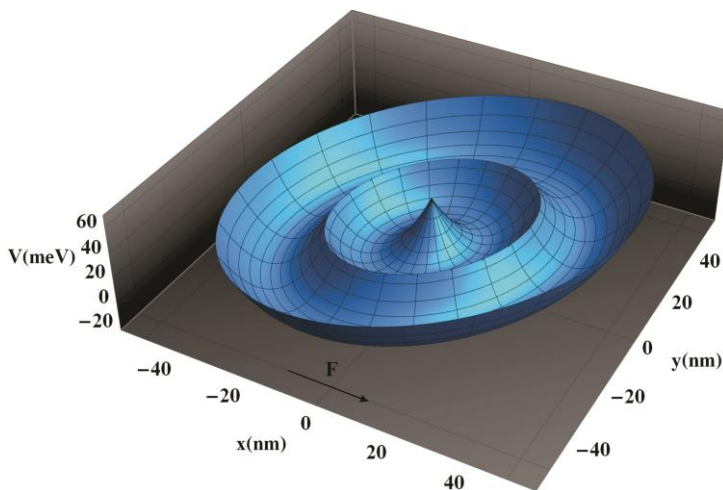


Նկ.4. Խառնուկի ՖԻԿ-ի կախումը ֆոտոնի էներգիայից x -ի տարբեր արժեքների դեպքում ($\rho_1^{in} = 20$ նմ, $L_A = 10$ նմ, $L_B = 1$ նմ, $L_C = 8$ նմ, $H = 4$ նմ, $P = 0$, $z_i = 0$, $\rho_i = 25$ նմ): Ներդիրում պատկերված է կապի էներգիայի կախումն այլումինի կոնցենտրացիայից:

ճշգրիտ անկյունագծացման մեթոդով:

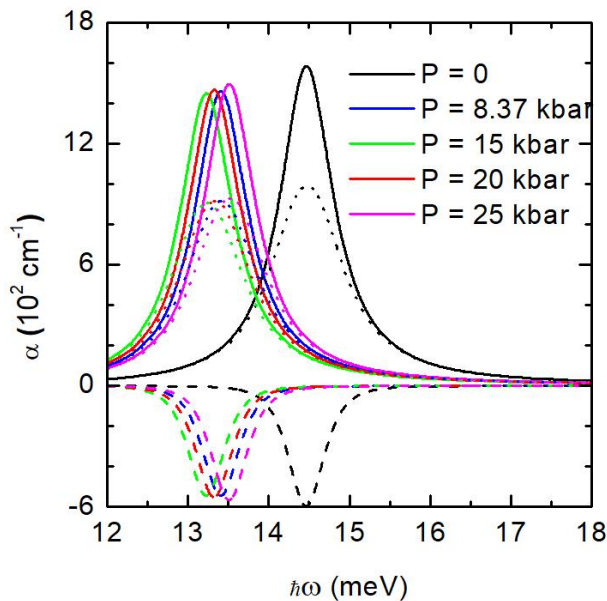
§4.2-ում ուսումնասիրվել է լայնական էլեկտրական դաշտի և ճնշման ազդեցությունն էլեկտրոնային վիճակների և լույսի ներգոտիական գծային կլանման վրա GaAs/Ga_{1-x}Al_xAs ՔՕ-ում:

§4.3-ում ուսումնասիրվել է լայնական էլեկտրական դաշտի ազդեցությունն էլեկտրոնային վիճակների և լույսի ներգոտիական կլանման վրա կրկնակի համակենտրոն ՔՕ-ներում: Որպես կրկնակի օղակի մոդել դիտարկվել է երկչափ կրկնակի պարաբոլի մոդելը (նկ.5): Էլեկտրոնի էներգիաները և ալիքային ֆունկցիաները որոշվել են ճշգրիտ անկյունագծացման մեթոդով՝ վերջիններս ներկայացնելով ուղղանկյուն պոտենցիալային փոսում ալիքային ֆունկցիաների գծային համակցությամբ:

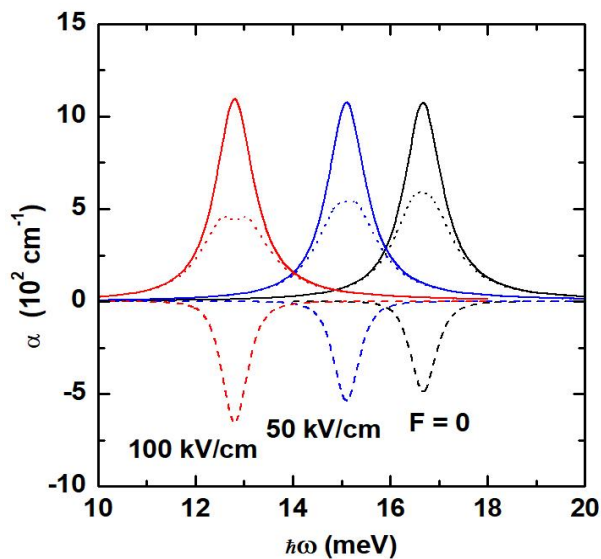


Նկ.5 ԿՀՔՕ-ի սահմանափակող պոտենցիալի տեսքը՝ ձևափոխված x առանցքի ուղղությամբ ուղղված արտաքին էլեկտրական դաշտով ($R_1 = 15$ նմ, $R_2 = 40$ նմ, $\hbar\omega_c = 20$ մԷՎ, $F = 5$ կՎ/սմ)

§4.4-ում ուսումնասիրվել է ճնշման, այլումինի կոնցենտրացիայի և կառուցվածքի չափերի փոփոխության ազդեցությունը լույսի գծային և ոչ գծային ներգոտիական կլանման վրա GaAs/Ga_{1-x}Al_xAs երկչափ կրկնակի համակենտրոն ՔՕ-ներում: Նկ.6-ում պատկերված են գծային, ոչ գծային և լրիվ կլանման



Նկ.6 Կլանման գործակցի կախումն ընկնող ֆոտոնի էներգիայից ճնշման տարբեր արժեքների համար: Ընդհատ գծերով ներկայացված են գծային, կետագծերով՝ ոչ գծային, հոծ գծերով՝ լրիվ կլանման գործակցները ($x=0,3$, $L_B=1$ նմ, $L_C=10$ նմ, $I=5 \cdot 10^3$ Վտ/սմ²):



Նկ.7 Կլանման գործակցի կախումը ֆոտոնի էներգիայից: Հոծ գծերը համապատասխանում են $\alpha_1(\hbar\omega)$ -ին, ընդհատ գծերը՝ $\alpha_3(\hbar\omega, I)$ -ին, կետագծերը՝ $\alpha(\hbar\omega, I)$ -ին: Դիտարկվել են էլեկտրական դաշտի լարվածության տարբեր արժեքներ ($R_1=10$ նմ, $R_2=20$ նմ, $L=20$ նմ, $P=0$, $I=2 \cdot 10^4$ Վտ/սմ²):

§5.4-ում ուսումնասիրվել է մագնիսական դաշտի ազդեցությունը «քվանտային կետ-օղակ» կառուցվածքում խառնուկային վիճակների և լույսի ներգոտիական կլանման վրա:

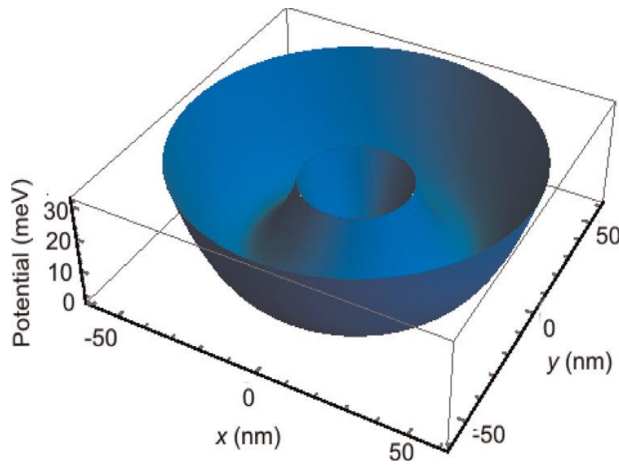
գործակիցների կախումներն ընկնող ֆոտոնի էներգիայից հիդրոստատիկ ճնշման տարբեր արժեքների դեպքում:

Ատենախոսության **հինգերորդ գլուխը** նվիրված է քվանտային օղակում և «քվանտային կետ-օղակ» կառուցվածքում խառնուկային վիճակների և ներգոտիական կլանման վրա հիդրոստատիկ ճնշման և էլեկտրական դաշտի ազդեցության ուսումնասիրմանը:

§5.1-ում ուսումնասիրվել է ճնշման և էլեկտրական դաշտի ազդեցությունը ԲՕ-ի խառնուկային վիճակների և լույսի գծային և ոչ գծային կլանման գործակիցների վրա: Նկ.7-ում պատկերված է կլանման գործակիցների կախումը ֆոտոնի էներգիայից էլեկտրական դաշտի լարվածության և ԲՕ-ի բարձրության տարբեր արժեքների համար:

§5.2-ում ուսումնասիրվել է հիդրոստատիկ ճնշման, այլումինի կոնցենտրացիայի և կառուցվածքի չափերի ազդեցությունը GaAs/Ga_{1-x}Al_xAs կրկնակի համակենտրոն ԲՕ-ներում խառնուկային վիճակների և լույսի ներգոտիական կլանման վրա:

§5.3-ում ուսումնասիրվել է «քվանտային կետ-օղակ» կառուցվածքում (Նկ.8) լայնական էլեկտրական դաշտի, ինչպես նաև սահմանափակող պոտենցիալի պարամետրերի ազդեցությունը խառնուկային վիճակների և լույսի ներգոտիական կլանման վրա:



Նկ.8 «Քվանտային կետ-օղակ» համակարգի սահմանափակող պոտենցիալի սխեմատիկ պատկերը ($\hbar\omega_d = \hbar\omega_r = 20$ մէՎ, $V_0 = 0$, $d = 10$ նմ)

Ատենախոսության երրորդ մասը նվիրված է կիսահաղորդչային քվանտային օղակում և կրկնակի համակենտրոն քվանտային օղակներում էլեկտրոնային և դոնորային խառնուկային վիճակների, ինչպես նաև լույսի ներգոտիական կլանման վրա լազերային և էլեկտրական դաշտերի և հիդրոստատիկ ճնշման ազդեցության տեսական ուսումնասիրմանը:

Ատենախոսության **վեցերորդ գլխում** ուսումնասիրվել է քվանտային օղակներում էլեկտրոնային վիճակների և լույսի ներգոտիական կլանման վրա լազերային և էլեկտրական դաշտերի, ինչպես նաև հիդրոստատիկ ճնշման ազդեցությունը:

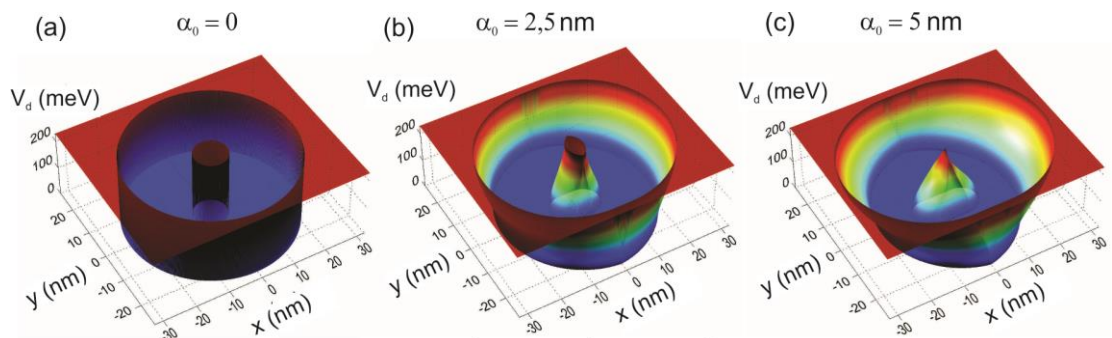
տիական կլանման վրա լազերային և էլեկտրական դաշտերի, ինչպես նաև հիդրոստատիկ ճնշման ազդեցությունը:

§6.1-ում ուսումնասիրվել է տերահերցային լազերային դաշտի ազդեցությունը ՔՕ-ում էլեկտրոնային վիճակների և լույսի ներգոտիական կլանման վրա: Ֆլուկեմեթոդի կիրառմամբ և բարձրհաճախային մոտավորությամբ «լազերով ձևափոխված» պոտենցիալի համար ստացվել է վերլուծական արտահայտություն՝

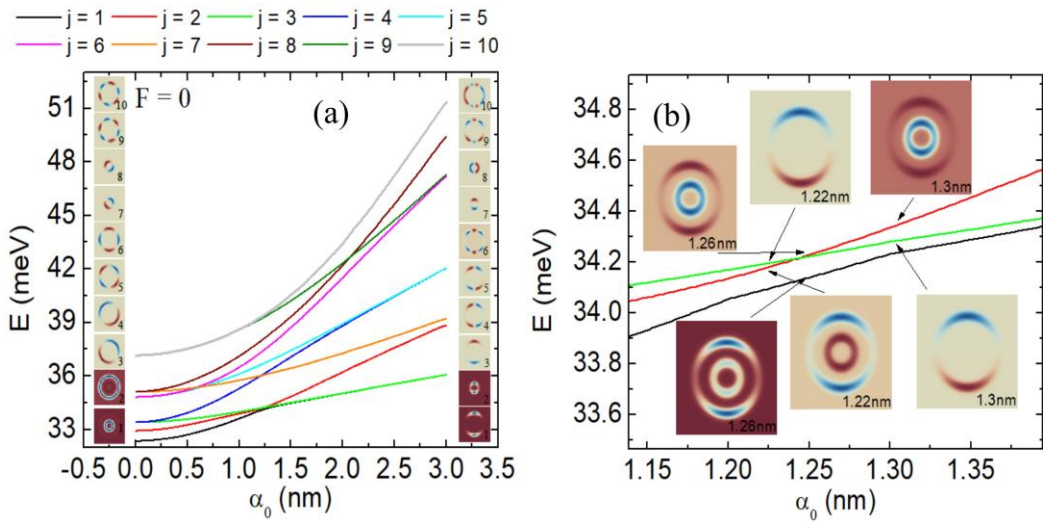
$$V_d(x, y) = \frac{V_0}{\pi} \left[\pi - \theta(\alpha_0 - x - \Gamma_1) \arccos\left(\frac{\Gamma_1 + x}{\alpha_0}\right) + \theta(\alpha_0 - x - \Gamma_2) \arccos\left(\frac{\Gamma_2 + x}{\alpha_0}\right) - \theta(\alpha_0 + x - \Gamma_1) \arccos\left(\frac{\Gamma_1 - x}{\alpha_0}\right) + \theta(\alpha_0 + x - \Gamma_2) \arccos\left(\frac{\Gamma_2 - x}{\alpha_0}\right) \right], \quad (6)$$

որտեղ $\theta(u)$ -ն միավոր թռիչքի ֆունկցիան է, $\Gamma_i = Re(\sqrt{R_i^2 - y^2})$, $i=1,2$, R_i -երը ՔՕ-ի ներքին և արտաքին շառավիղներն են: Նկ.9 (a)-(c)-ում պատկերված է «լազերով ձևափոխված» սահմանափակող պոտենցիալի լազերային դաշտի α_0 պարամետրի տարբեր արժեքների դեպքում: Լազերով ձևափոխված էներգիաները և ալիքային ֆունկցիաները որոշվել են ճշգրիտ անկյունագծացման մեթոդով:

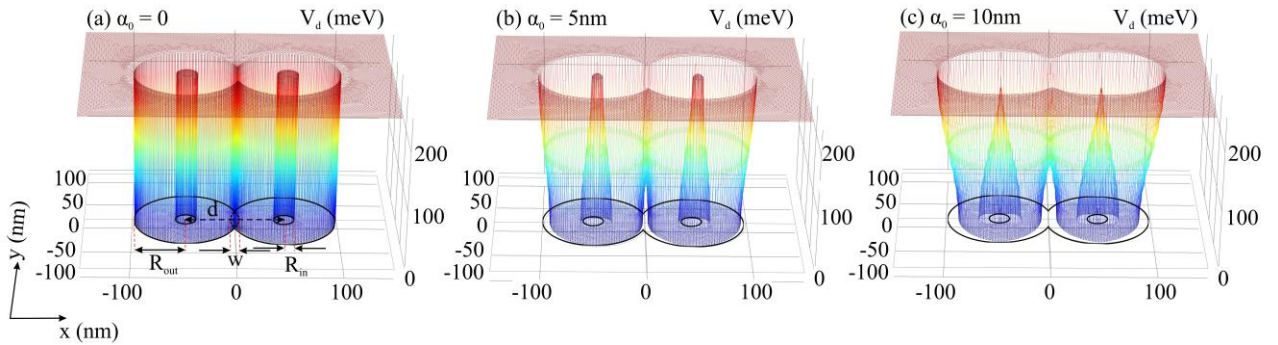
§6.2-ում ուսումնասիրվել է տերահերցային լազերային և էլեկտրական դաշտերի համատեղ ազդեցությունը ՔՕ-ում էլեկտրոնային վիճակների և լույսի ներգոտիական



Նկ.9 «Լազերով ձևափոխված» սահմանափակող պոտենցիալը ((a)-(c)) α_0 պարամետրի տարբեր արժեքների համար ($R_1 = 5$ նմ, $R_2 = 25$ նմ)



Նկ.10 (a). Էներգիական մակարդակների կախումներն α_0 պարամետրից, երբ էլեկտրական դաշտը բացակայում է (ներդիրում պատկերված են ալիքային ֆունկցիաները). (b). առաջին երեք էներգիական մակարդակների հատման և հակահատման կետերը



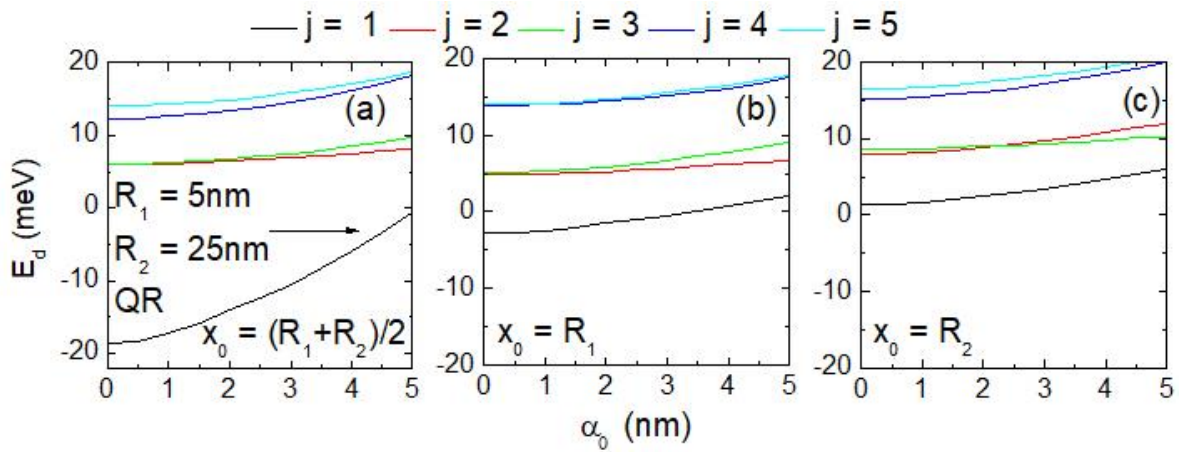
Նկ.11 «Լազերով ձևափոխված» եռաչափ սահմանափակող պոտենցիալը α_0 պարամետրի տարբեր արժեքների դեպքում ($F = 0$)

կլանման վրա: Դիտարկվել են լույսի բևեռացման երկու տարբեր ուղղություններ, ստացվել են համապատասխան ջրկման կանոններ:

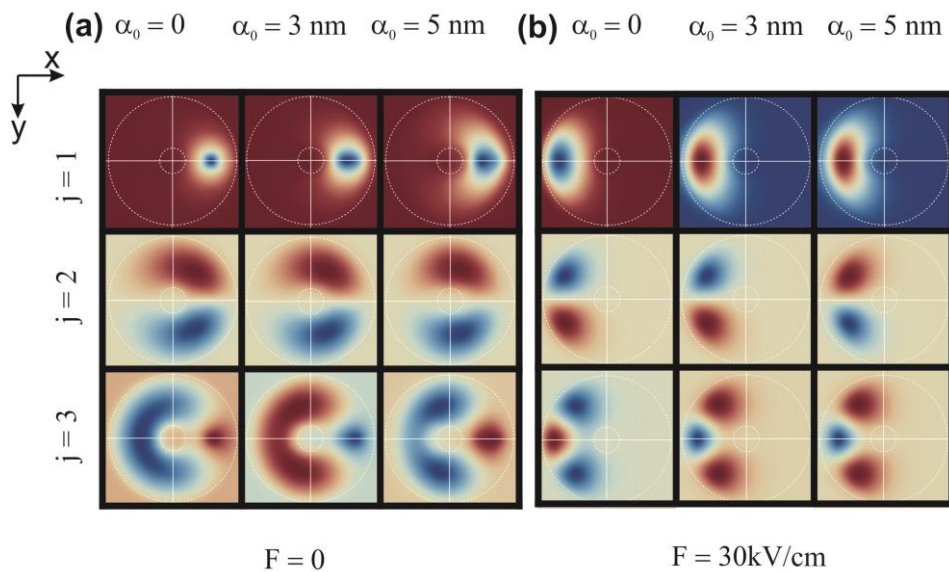
§6.3-ում ուսումնասիրվել է տերահերցային լազերային դաշտի և հիդրոստատիկ ճնշման ազդեցությունն էլեկտրոնային վիճակների և լույսի ներգոտիական կլանման վրա միայնակ երկչափ քվանտային օղակում:

§6.4-ում ուսումնասիրվել է տերահերցային լազերային և էլեկտրական դաշտերի համատեղ ազդեցությունն էլեկտրոնային վիճակների վրա և լույսի ներգոտիական կլանման վրա GaAs/Ga_{1-x}Al_xAs երկչափ ԿՀՔՕ-ներում: Էլեկտրոնի էներգիաները և ալիքային ֆունկցիաները որոշվել են վերջավոր տարրերի մեթոդով: Նկ.10-ում պատկերված են էներգիական մակարդակների կախումներն լազերային դաշտի պարամետրից, երբ էլեկտրական դաշտը բացակայում է (ներդիրներում պատկերված են ալիքային ֆունկցիաները):

§6.5-ում ուսումնասիրվել է տերահերցային լազերային և էլեկտրական դաշտերի համատեղ ազդեցությունն էլեկտրոնային վիճակների և ներգոտիական կլանման վրա լայնակի կապակցված կրկնակի ՔՕ-ներում: Նկ.11-ում պատկերված է էլեկտրական դաշտի բացակայության դեպքում սահմանափակող պոտենցիալը լազերային դաշտի



Նկ.12 ՔՕ-ում առաջին հինգ վիճակների էներգիական մակարդակների կախումները L_7 -ի α_0 պարամետրից



Նկ.13 Առաջին երեք վիճակների ալիքային ֆունկցիաների պատկերները L_7 α_0 պարամետրի և էլեկտրական դաշտի լարվածության տարբեր արժեքների դեպքում ($R_1 = 5$ նմ, $R_2 = 25$ նմ)

պարամետրի տարբեր արժեքների համար:

Ատենախոսության **յոթերորդ գլուխը** նվիրված է քվանտային օղակներում խառնուկային վիճակների և լույսի ներգոտիական կլանման վրա լազերային դաշտի, էլեկտրական դաշտի և հիդրոստատիկ ճնշման ազդեցության ուսումնասիրմանը:

§7.1-ում ուսումնասիրվել է լազերային դաշտի ազդեցությունը խառնուկային վիճակների և լույսի ներգոտիական կլանման վրա $\text{GaAs}/\text{Ga}_{1-x}\text{Al}_x\text{As}$ երկչափ ՔԿ-ում և ՔՕ-ում: Հաշվարկներում հաշվի է առնվել լազերային դաշտի ազդեցությունը նաև կուլոնյան պոտենցիալի վրա: Նկ.12-ում պատկերված են առաջին հինգ վիճակների էներգիական մակարդակների կախումները լազերային դաշտի պարամետրից:

§7.2-ում ուսումնասիրվել է լազերային և էլեկտրական դաշտերի ազդեցությունը ՔՕ-ում խառնուկային վիճակների և լույսի ներգոտիական կլանման վրա: Նկ.13-ում պատկերված են առաջին երեք վիճակների ալիքային ֆունկցիաները: Դիտարկվել են

լազերային դաշտի պարամետրի և էլեկտրական դաշտի լարվածության տարբեր արժեքներ:

§7.3-ում ուսումնասիրվել է հիդրոստատիկ ճնշման և լազերային դաշտի ազդեցությունը քվանտային օղակում խառնուկային վիճակների և լույսի ներգոտիական կլանման վրա:

ԵԶՐԱԿԱՑՈՒԹՅՈՒՆ

1. Ուսումնասիրվել է հիդրոստատիկ ճնշման, ջերմաստիճանի և համասեռ էլեկտրական դաշտի ազդեցությունն էլեկտրոնի հիմնական վիճակի էներգիայի և ալիքային ֆունկցիայի վրա Պյոշլ-Թելերի սահմանափակող պոտենցիալով քվանտային փոսում: Ցույց է տրվել, որ էլեկտրական դաշտի լարվածության մեծացումը հանգեցնում է հիմնական վիճակի էներգիայի աճի: Էլեկտրոնի հիմնական վիճակի էներգիան ճնշումից կախված նվազում է, ջերմաստիճանից կախված՝ աճում:
2. Ուսումնասիրվել է հիդրոստատիկ ճնշման, ջերմաստիճանի և էլեկտրական դաշտի ազդեցությունը Պյոշլ-Թելերի սահմանափակող պոտենցիալով քվանտային փոսում դոնորային խառնուկի հիմնական վիճակի կապի էներգիայի վրա: Ցույց է տրվել, որ կապի էներգիան պարամետրերի բոլոր արժեքների դեպքում հիդրոստատիկ ճնշումից կախված մոնոտոն աճում է, իսկ ջերմաստիճանից կախված՝ նվազում: Կախված սահմանափակող պոտենցիալի λ և χ պարամետրերի արժեքներից՝ էլեկտրական դաշտն ուժեղացնելիս կապի էներգիան կարող է ինչպես աճել, այնպես էլ նվազել, ընդ որում, դաշտի ազդեցությունն ավելի ուժեղ է քվանտային փոսի լայնության մեծ արժեքների դեպքում: Ցույց է տրվել նաև, որ $\lambda = 1,5$, $\chi = 3,5$ և $F = 150$ կՎ/սմ արժեքների դեպքում Պյոշլ-Թելերի սահմանափակող պոտենցիալը դառնում է համաչափ:
3. Լույսի բևեռացման վեկտորի երկու տարբեր ուղղությունների դեպքում ուսումնասիրվել է Պյոշլ-Թելերի սահմանափակող պոտենցիալով քվանտային փոսում դոնորային խառնուկի ֆոտոհոնացման կտրվածքը: Երկբևեռային մատրիցական տարրի համար ստացված ջրկման կանոնների համաձայն՝ թույլատրելի են խառնուկային հիմնական վիճակից քվանտային փոսի հիմնական վիճակ անցումները: x -բևեռացման դեպքում խառնուկի և ջրածնի ատոմի ֆոտոհոնացման կտրվածքները համընկնում են, եթե վերջնական վիճակի ալիքային ֆունկցիան հարթ ալիք է, իսկ z -բևեռացման դեպքում համընկնում տեղի ունի, եթե վերջնական վիճակի ալիքային ֆունկցիան պատկանում է կոլոնյան խնդրի անընդհատ տիրույթին: Ջերմաստիճանի բարձրացումը հանգեցնում է ֆոտոհոնացման կտրվածքի շեմային էներգիայի նվազման, իսկ հիդրոստատիկ ճնշման մեծացումը՝ շեմային էներգիայի աճի, որի հետևանքով ֆոտոհոնացման կտրվածքի սպեկտրում դիտվում է կապույտ շեղում: Ցույց է տրվել նաև, որ Պյոշլ-Թելերի համաչափ պոտենցիալի դեպքում էլեկտրական դաշտի ուժեղացման հետևանքով ֆոտոհոնացման սպեկտրում դիտվում է կարմիր շեղում:
4. Դոնորային խառնուկի առկայությամբ ուսումնասիրվել է էլեկտրոնի շարժումը վերջավոր խորությամբ սահմանափակող պոտենցիալով գլանային քվանտային լարում, լարի առանցքով ուղղված մագնիսական դաշտում: Երբ խառնուկը տեղադրված է լարի առանցքի վրա, l ուղեծրային քվանտային թվի բոլոր արժեքների համար

քվանտային լարի շառավղի մեծացումը հանգեցնում է կապի էներգիայի նվազման: $l=0$ դեպքում դիտվում է մագնիսական դաշտից թույլ կախում: Լույսի z -բևեռացման դեպքում թույլատրելի են խառնուկի հիմնական վիճակից $l=\pm 1$ վիճակներ անցումները: Լարի առանցքին տեղադրված խառնուկի դեպքում, լույսի x -բևեռացման համար թույլատրելի են խառնուկի հիմնական վիճակից $l=1$ վիճակ անցումները: Լարի առանցքից շեղված խառնուկի դեպքում ուղեծրային քվանտային թվի զրոյական արժեքով վիճակներ անցումներն արգելված են միայն այն դեպքում, երբ լույսի բևեռացման վեկտորն ուղղահայաց է ինչպես լարի առանցքին, այնպես էլ խառնուկի շեղման ուղղությանը:

5. Ուսումնասիրվել է դոնորային խառնուկի հիմնական վիճակի կապի էներգիայի և ֆոտոիոնացման կտրվածքի վրա լարի առանցքով ուղղված մագնիսական և առանցքին ուղղահայաց էլեկտրական դաշտերի ազդեցությունը: x -բևեռացման դեպքում ֆոտոիոնացման կտրվածքը՝ որպես էլեկտրական դաշտի լարվածության ֆունկցիա, կախված խառնուկի դիրքից, մագնիսական դաշտի ինդուկցիայից և ընկնող ֆոտոնի էներգիայից, կարող է լինել վերջավոր կամ տարամիտել կապի էներգիայի և ընկնող ֆոտոնի էներգիայի հավասարության դեպքում:
6. Ուսումնասիրվել է դոնորային խառնուկ պարունակող գլանային քվանտային կետում հիմնական վիճակի կապի էներգիայի և ֆոտոիոնացման կտրվածքի վրա հիդրոստատիկ ճնշման, մագնիսական և էլեկտրական դաշտերի ազդեցությունը: Ցույց է տրվել, որ ճնշման փոքր արժեքների տիրույթում կապի էներգիան աճում է: Հիդրոստատիկ ճնշման հետագա աճը, կախված էլեկտրական և մագնիսական դաշտերի արժեքներից, քվանտային կետի չափերից, ինչպես նաև խառնուկի դիրքից, կարող է հանգեցնել կապի էներգիայի ինչպես մոնոտոն, այնպես էլ ոչ մոնոտոն աճի: Ֆոտոիոնացման կտրվածքը հիդրոստատիկ ճնշումից կախված աճում է՝ անկախ լույսի բևեռացման վեկտորի ուղղությունից:
7. Ուսումնասիրվել է հիդրոստատիկ ճնշման, էլեկտրական և մագնիսական դաշտերի ազդեցությունը Պյոշլ-Թելերի սահմանափակող պոտենցիալով InAs քվանտային օղակում դոնորային խառնուկի հիմնական վիճակի կապի էներգիայի և ֆոտոիոնացման կտրվածքի վրա: Ցույց է տրվել, որ օղակի կենտրոնում տեղադրված խառնուկի կապի էներգիան ճնշումից կախված աճում է, իսկ մագնիսական դաշտի ինդուկցիայից կախված՝ նվազում, ընդ որում՝ $B=0,5\text{ S}$ և $B=4\text{ S}$ արժեքների դեպքում կապի էներգիայի կորերը $P=30\text{ կբար}$ ճնշման դեպքում գործնականորեն համընկնում են: Քվանտային օղակի կենտրոնում տեղադրված խառնուկի ֆոտոիոնացման կտրվածքն ունի շեմային բնույթ: Էլեկտրական և մագնիսական դաշտերի, ինչպես նաև սահմանափակման պոտենցիալի χ պարամետրի աճը ֆոտոիոնացման կտրվածքում հանգեցնում է կարմիր շեղման, մինչդեռ ճնշման աճը՝ կապույտ շեղման: Կապի էներգիայի և ֆոտոիոնացման կտրվածքի վարքերն էապես կախված են քվանտային օղակում խառնուկի դիրքից:
8. Ուսումնասիրվել է հիդրոստատիկ ճնշման, ալյումինի կոնցենտրացիայի, երկրաչափական չափերի և խառնուկի դիրքի ազդեցությունը $\text{GaAs}/\text{Ga}_{1-x}\text{Al}_x\text{As}$ կրկնակի համակենտրոն քվանտային օղակներում դոնորային խառնուկի ֆոտոիոնացման կտրվածքի վրա: Ցույց է տրվել, որ օղակների միջև արգելքի լայնության մեծացումը հանգեցնում է ֆոտոիոնացման սպեկտրում մաքսիմումի դիրքի շեղումների և նրա արժեքի ոչ մոնոտոն փոփոխությունների: Արտաքին օղակի շերտի լայնությունը

մեծացնելիս ֆոտոհոնացման սպեկտրում դիտվում է միայն կարմիր շեղում, իսկ մաքսիմումի արժեքը միայն փոքրանում է, մինչդեռ հիդրոստատիկ ճնշման և այլումինի կոնցենտրացիայի աճը հանգեցնում է կապույտ շեղման և մաքսիմումի մեծության աճի: Էստոնոկի դիրքի շեղման չափը մեծացնելիս ֆոտոհոնացման սպեկտրում դիտվում է կարմիր շեղում, իսկ մաքսիմումի արժեքը նվազում է:

9. Ուսումնասիրվել է հիդրոստատիկ ճնշման և սպին-ուղեծրային փոխազդեցության ազդեցությունը երկչափ քվանտային օղակում էլեկտրոնային վիճակների և լույսի գծային և երրորդ կարգի ոչ գծային օպտիկական կլանման վրա: Ցույց է տրվել, որ սպին-ուղեծրային փոխազդեցության Ռաշբայի պարամետրի $\alpha_R = 0$ արժեքի դեպքում հիմնական վիճակը կրկնակի այլասերված է ($l=0, s=\pm 1/2$), իսկ առաջին գրգռված վիճակն այլասերված է քառակի ($l=\pm 1, s=\pm 1/2$): Լույսի ուժգնության մեծ արժեքների դեպքում կլանման գործակցի մաքսիմումը տրոհվում է երկու մաքսիմումների: Հիդրոստատիկ ճնշման մեծացումը հանգեցնում է կլանման սպեկտրում կարմիր շեղման, որը պայմանավորված է շեմային էներգիայի նվազումով, և կլանման գործակցի մաքսիմումի արժեքի փոքրացմամբ: $1 \rightarrow 5$ անցումներին համապատասխանող կլանման սպեկտրում սպին-ուղեծրային փոխազդեցության ազդեցությունն ավելի ուժեղ է, քան $1 \rightarrow 3$ անցումներում:
10. Ուսումնասիրվել է էլեկտրական դաշտի և հիդրոստատիկ ճնշման ազդեցությունը GaAs/Ga_{1-x}Al_xAs քվանտային օղակում էլեկտրոնային վիճակների և լույսի ներգոտիական կլանման վրա: Ցույց է տրվել, որ էլեկտրական դաշտի ազդեցությունը հանգեցնում է գլանային համաչափության խախտման, և հավանականության խտության անհամաչափության: Հիմնական վիճակի հավանականության խտության մաքսիմումը շեղվում է դաշտին հակառակ ուղղությամբ, իսկ գրգռված վիճակներին համապատասխանող հավանականության խտության մաքսիմումները կարող են տեղաշարժվել և՛ դաշտին հակառակ, և՛ դաշտի ուղղությամբ: Էլեկտրական դաշտի լարվածությունը մեծացնելիս հիմնական վիճակի էներգիան նվազում է: Գրգռված վիճակի էներգիական մակարդակները դաշտից կախված ունեն ոչ մոնոտոն վարք, ընդ որում՝ ճնշման մեծացումն ուժեղացնում է դրանց վրա էլեկտրական դաշտի ազդեցությունը: $1 \rightarrow 3$ անցումներին համապատասխանող կլանման մաքսիմումի բարձրությունն ավելի փոքր է, քան $1 \rightarrow 5$ անցումներին համապատասխանող մաքսիմումինը: Ճնշման բոլոր արժեքների համար երկու տիպի անցումների դեպքում էլ էլեկտրական դաշտն ուժեղացնելիս կլանման սպեկտրում դիտվում է կապույտ շեղում: Էլեկտրական դաշտի բացակայությամբ հիդրոստատիկ ճնշման մեծացումը երկու տիպի անցումներում էլ հանգեցնում է կլանման սպեկտրում կարմիր շեղման, սակայն էլեկտրական դաշտի առկայությամբ կլանման սպեկտրում կարող է դիտվել է և՛ կարմիր, և՛ կապույտ շեղում:
11. Ուսումնասիրվել է էլեկտրական դաշտի ազդեցությունն էլեկտրոնային վիճակների և լույսի ներգոտիական կլանման վրա երկչափ, կրկնակի համակենտրոն քվանտային օղակների համակարգում՝ որպես սահմանափակող պոտենցիալ օգտագործելով կրկնակի պարաբոլի մոդելը: Ցույց է տրվել, որ էլեկտրական դաշտի լարվածությունը մեծացնելիս էներգիաները նվազում են, և դաշտի ազդեցությունն ամենամեծն է հիմնական վիճակի էներգիական մակարդակի վրա: Էլեկտրական դաշտի ազդեցությունն էներգիական մակարդակների վրա ուժեղ է թույլ սահմանափակող պոտենցիալի դեպքում: Ալիքային ֆունկցիաների զույգության հատկություններից

հետևում են ջրկման կանոններ. $1 \rightarrow 2$ անցումներն իրականանում են լույսի y -բևեռացման, իսկ $1 \rightarrow 3$ անցումները՝ x -բևեռացման դեպքում: Էլեկտրական դաշտն ուժեղացնելիս կլանման սպեկտրում դիտվում է կապույտ շեղում: Սահմանափակող պոտենցիալի բնութագրական էներգիայի մեծացումը հանգեցնում է կլանման սպեկտրում կապույտ շեղման, բացի $F = 0,5$ կՎ/սմ և $F = 1$ կՎ/սմ արժեքներին համապատասխանող կլանման կորերից, որոնց դեպքում դիտվում է կարմիր շեղում: Սահմանափակող պոտենցիալի բնութագրական էներգիայի և էլեկտրական դաշտի լարվածության սևեռված արժեքների համար կլանման կորերի համեմատությունից հետևում է, որ լույսի x -բևեռացումից y -բևեռացմանն անցնելիս, ոչ գրոյական էլեկտրական դաշտում դիտվում է կարմիր շեղում, իսկ դաշտի ուժեղացումը հանգեցնում է նաև կլանման գործակցի մաքսիմումի մեծության փոփոխության:

12. GaAs/Ga_{1-x}Al_xAs կրկնակի համակենտրոն քվանտային օղակներում ներգոտիական շեմային էներգիայի՝ հիդրոստատիկ ճնշումից կախման կորը փոխում է նվազման արագությունը, ընդ որում արտաքին օղակի լայնության $L_c = 10$ նմ արժեքի դեպքում այն կարող է ինչպես նվազել, այնպես էլ աճել: Շեմային էներգիայի՝ ալյումինի կոնցենտրացիայից կախման կորն ունի աճի և նվազման տիրույթներ: Ներգոտիական օպտիկական անցումների համար ստացվել է $\Delta l = \pm 1$ ջրկման կանոնը: Օղակների միջև արգելքի տիրույթի և արտաքին օղակի լայնության մեծացումը կլանման սպեկտրում հանգեցնում է կարմիր շեղման և կլանման մաքսիմումի փոքրացման, իսկ հիդրոստատիկ ճնշման և ալյումինի կոնցենտրացիայի փոփոխությունը՝ կլանման սպեկտրում և՛ կարմիր, և՛ կապույտ շեղման, ինչպես նաև կլանման մաքսիմումի մեծացման: Կոնցենտրացիայի փոքր՝ $x = 0,03$ և $x = 0,05$ արժեքների դեպքում դիտվել է ոչ գծային կլանման գործակցի արժեքի մեծացում և կլանման լրիվ գործակցի մաքսիմումի տրոհում երկու մաքսիմումի:
13. Ուսումնասիրվել է հիդրոստատիկ ճնշման և էլեկտրական դաշտի ազդեցությունը եռաչափ քվանտային օղակում խառնուկային վիճակների և լույսի գծային և երրորդ կարգի ոչ գծային կլանման գործակցիցների վրա: Արտաքին շառավղի սևեռված արժեքի դեպքում օղակի ներքին շառավղի մեծացումը հանգեցնում է քվանտային օղակի լայնության փոքրացման, որի հետևանքով հիմնական և առաջին գրգռված վիճակների էներգիաներն աճում են: Բացի այդ, արտաքին շառավղի մեծացումը հանգեցնում է էներգիաների փոքրացման: Հիդրոստատիկ ճնշումը և էլեկտրական դաշտի լարվածությունը մեծացնելիս հիմնական և առաջին գրգռված վիճակների էներգիաները նվազում են: Քվանտային օղակի արտաքին շառավղի մեծացումը հանգեցնում է կլանման սպեկտրում կարմիր շեղման, մինչդեռ ճնշման ուժեղացման հետևանքով կլանման սպեկտրում դիտվում է կապույտ շեղում: Էլեկտրական դաշտի ուժեղացումը, ինչպես նաև քվանտային օղակի բարձրության մեծացումը հանգեցնում են հիմնական և առաջին գրգռված վիճակների էներգիաների տարբերության նվազման և կլանման սպեկտրում կարմիր շեղման:
14. GaAs/Ga_{1-x}Al_xAs կրկնակի համակենտրոն քվանտային օղակներում էլեկտրոն-խառնուկ փոխազդեցությունը խառնուկային 1s- (հիմնական) և 2s- (առաջին գրգռված) վիճակների E_{1s} և E_{2s} էներգիաների վրա առավել ուժեղ դրսևորվում է այդ վիճակների՝ արտաքին օղակի լայնությունից, ճնշումից և խառնուկի դիրքից կախումներ:

րում, և թույլ է դրսևորվում արգելքի տիրույթի լայնությունից և այլումինի կոնցենտրացիայից կախումներում: Առաջին գրգռված վիճակի վրա նշված պարամետրերի ազդեցությունն ավելի թույլ է, քան հիմնական վիճակի կապի էներգիայի վրա: Արգելքի տիրույթի լայնության, ճնշման և այլումինի կոնցենտրացիայի մեծացումը հանգեցնում է կլանման սպեկտրում կապույտ շեղման, իսկ արտաքին օղակի լայնության մեծացումը՝ կարմիր շեղման: Խառնուկի ρ , կոորդինատը մեծացնելիս, կլանման սպեկտրում առկա է կարմիր շեղում, սակայն կան խառնուկի դիրքի այնպիսի տիրույթներ, որտեղ հնարավոր է կլանման կապույտ շեղում: Խառնուկի դիրքի, արգելքի տիրույթի լայնության և այլումինի կոնցենտրացիայի մեծացման արդյունքում կլանման գործակցի առավելագույն արժեքն ունի ոչ մոնոտոն վարք, իսկ արտաքին օղակի լայնության և ճնշման մեծացումը հանգեցնում է կլանման գործակցի առավելագույն արժեքի մոնոտոն նվազման:

15. Ուսումնասիրվել է ներգոտիական օպտիկական անցումներով պայմանավորված կլանումը և կլանման վրա համակարգի կենտրոնում տեղադրված դոնորային խառնուկի, էլեկտրական դաշտի, սահմանափակող պոտենցիալի պարամետրերի ազդեցությունը GaAs «քվանտային կետ-օղակ» համակարգում: Որպես սահմանափակող պոտենցիալի մոդել դիտարկվել է կրկնակի պարաբոլական պոտենցիալը: Ցույց է տրվել, որ ընտրված սահմանափակող պոտենցիալի պարամետրերի և էլեկտրական դաշտի լարվածության փոփոխման միջոցով կարելի է արդյունավետորեն կառավարել էլեկտրոնի հիմնական վիճակի տեղայնացման տեսակը (հավանականության խտության մաքսիմումը կարելի է տեղաշարժել կետից օղակ և հակառակը): Գոյություն ունեն համակարգի պարամետրերի այնպիսի արժեքներ, որոնց դեպքում խառնուկի ազդեցությունը հավանականության խտության վրա գրեթե բացակայում է: Լույսի x - բևեռացման դեպքում թույլատրելի են $N=1$ -ից $N=3$ վիճակ անցումները: $1 \rightarrow 3$ անցման դեպքում էլեկտրական դաշտի ուժեղացումը հանգեցնում է կլանման սպեկտրում միայն կարմիր շեղման, իսկ պոտենցիալի սահմանափակման էներգիաների մեծացումը՝ կարմիր շեղման (քվանտային կետի սահմանափակման էներգիան մեծացնելիս), և կապույտ շեղման (քվանտային օղակի սահմանափակման էներգիան մեծացնելիս): Կլանման սպեկտրում էլեկտրական դաշտի $F=(0-1)$ կՎ/սմ տիրույթում դիտվել է կարմիր, իսկ $F=(1-3)$ կՎ/սմ տիրույթում՝ կապույտ շեղում:

16. Ուսումնասիրվել է մագնիսական դաշտի ազդեցությունը «քվանտային կետ-օղակ» համակարգում խառնուկային վիճակների և լույսի ներգոտիական կլանման վրա: Որպես սահմանափակող պոտենցիալի մոդել դիտարկելով կրկնակի պարաբոլական պոտենցիալը, ցույց է տրվել, որ էներգիական մակարդակների վրա մագնիսական դաշտի ազդեցությունն էապես կախված է «քվանտային կետ-օղակ» համակարգում էլեկտրոնի տեղայնացման տեսակից: Պարամետրերի դիտարկված արժեքների դեպքում հիմնական վիճակի էներգիան, մագնիսական դաշտի ինդուկցիայից կախված, գրեթե հաստատուն է: Մինչդեռ գրգռված վիճակներում ի հայտ է գալիս Ահարոնով-Քոհմի երևույթը, որը բնորոշ է օղականման համակարգերին: Սահմանափակման պոտենցիալի բնութագրական էներգիաների և արգելքի լայնության տարբեր արժեքների դեպքում կլանման գործակցի մաքսիմումն առավելագույնն է մագնիսական դաշտի բացակայությամբ: Մագնիսական դաշտում

կլանման սպեկտրի յուրաքանչյուր մաքսիմում ճեղքվում է երկու մաքսիմումների, որը պայմանավորված է $l = \pm 1$ վիճակների ճեղքմամբ: Ցույց է տրվել նաև, որ դոնորային խառնուկի և մազնիսական դաշտի ազդեցությունը հանգեցնում է կլանման սպեկտրի էական փոփոխության:

17. Ուսումնասիրվել է լազերային և էլեկտրական դաշտերի ազդեցությունը քվանտային օղակում էլեկտրոնային վիճակների և լույսի ներգոտիական կլանման վրա: Ստացվել է «լազերով ձևափոխված» սահմանափակող պոտենցիալի վերլուծական արտահայտություն: Էլեկտրոնի էներգիաներն ու ալիքային ֆունկցիաներն որոշվել են ճշգրիտ անկյունագծացման մեթոդով: Ցույց է տրվել, որ էլեկտրական դաշտի լարվածության մեծացումը հանգեցնում է հիմնական վիճակի էներգիայի նվազման: Լազերային դաշտի պարամետրի արժեքների $\alpha_0 = (0-5)$ նմ տիրույթում դիտվում է էներգիական մակարդակների բարձրացում, իսկ էլեկտրական դաշտի լարվածության $F = (0-50)$ կՎ/սմ տիրույթում՝ էներգիական մակարդակների իջեցում: Լազերային դաշտի ազդեցությունը հիմնական վիճակի էներգիայի վրա ավելի ուժեղ է էլեկտրական դաշտի լարվածության մեծ արժեքների դեպքում, ընդ որում լազերային և էլեկտրական դաշտերի համատեղ ազդեցության արդյունքում և՛ x - , և՛ y - բևեռացումների դեպքում էլեկտրական դաշտն ուժեղացնելիս կլանման սպեկտրում դիտվում է կապույտ շեղում: x -բևեռացման դեպքում կլանման մաքսիմումը նվազում է, իսկ y -բևեռացման դեպքում՝ աճում: Էլեկտրական դաշտի բացակայությամբ լազերային դաշտի պարամետրը մեծացնելիս x -բևեռացման դեպքում կլանման սպեկտրում դիտվում է կապույտ շեղում, իսկ y -բևեռացման դեպքում՝ կարմիր շեղում:
18. Ուսումնասիրվել է հիդրոստատիկ ճնշման և լազերային դաշտի համատեղ ազդեցությունը $\text{GaAs}/\text{Ga}_{1-x}\text{Al}_x\text{As}$ երկչափ քվանտային օղակում էլեկտրոնային վիճակների և լույսի ներգոտիական կլանման վրա: Որպես սահմանափակող պոտենցիալի մոդել դիտարկելով վերջավոր խորությամբ երկչափ ուղղանկյուն փոսը, էլեկտրոնի էներգիաները և ալիքային ֆունկցիաները որոշվել են ճշգրիտ անկյունագծացման մեթոդով: Ցույց է տրվել, որ լազերային դաշտի պարամետրի կամայական արժեքի դեպքում էլեկտրոնի էներգիան հիդրոստատիկ ճնշումից կախված նվազում է: Շեմային էներգիաները հիդրոստատիկ ճնշման աճին զուգընթաց նույնպես նվազում են, բացի լազերային դաշտի պարամետրի $\alpha_0 = 5$ նմ արժեքի և $1 \rightarrow 2$ անցման դեպքի, երբ շեմային էներգիաները ճնշումից կախված ունեն և՛ նվազման և՛ աճի տիրույթներ: Հիդրոստատիկ ճնշման մեծացումը հանգեցնում է կլանման սպեկտրում կարմիր շեղման, իսկ լազերային դաշտի պարամետրի մեծացման հետևանքով կլանման սպեկտրում դիտվում է կապույտ շեղում:
19. Ուսումնասիրվել է լազերային և էլեկտրական դաշտերի համատեղ ազդեցությունը $\text{GaAs}/\text{Ga}_{1-x}\text{Al}_x\text{As}$ երկչափ կրկնակի համակենտրոն քվանտային օղակներում էլեկտրոնային վիճակների և լույսի ներգոտիական կլանման վրա: Որպես սահմանափակող պոտենցիալի մոդել դիտարկելով վերջավոր պատերով երկչափ ուղղանկյուն կրկնակի փոսը, «լազերով ձևափոխված» սահմանափակող պոտենցիալի համար ստացվել է վերլուծական արտահայտություն: Էլեկտրոնի էներգիաները և ալիքային ֆունկցիաները որոշվել են վերջավոր տարրերի մեթոդով: Ցույց է տրվել, որ լազերային դաշտի ազդեցությամբ դիտարկող բոլոր էներգիական մակարդակներն

բարձրանում են և վերադասավորվում: Լազերային դաշտի բացակայությամբ գլանային համաչափության հետևանքով էներգիական մակարդակներն այլասերված են: Լազերային դաշտի պարամետրը մեծացնելիս էներգիական սպեկտրում առաջանում են այլասերված մակարդակների նոր զույգեր: Էլեկտրական դաշտի առկայությամբ «լազերով ձևափոխված» պոտենցիալը, հետևաբար՝ նաև էլեկտրոնի ալիքային ֆունկցիաները, կարող են լինել համաչափ x և y առանցքների նկատմամբ, որի հետևանքով էներգիական սպեկտրում դիտվում է էներգիական մակարդակների հատում կամ հակահատում: Ցույց է տրվել, որ թույլատրելի անցումները պայմանավորված են հիմնական և գրգռված վիճակների ալիքային ֆունկցիաների համաչափությամբ: $1 \rightarrow 3$ և $1 \rightarrow 4$, $1 \rightarrow 7$ և $1 \rightarrow 8$ զույգերի շեմային էներգիաներն սկսվում են միևնույն կետից, քանի որ լազերային դաշտի բացակայությամբ նշված վիճակներն այլասերված են:

20. Ուսումնասիրվել է լազերային և էլեկտրական դաշտերի համատեղ ազդեցությունը լայնակի կապակցված կրկնակի քվանտային օղակներում էլեկտրոնային վիճակների և լույսի ներգոտիական կլանման վրա: Ցույց է տրվել, որ լազերային դաշտը հանգեցնում է էներգիական մակարդակների վերադասավորման: Էլեկտրական դաշտի կամայական արժեքների դեպքում լազերային դաշտի պարամետրի աճը հանգեցնում է էներգիական մակարդակների բարձրացման: Էլեկտրական դաշտի բացակայությամբ լազերային դաշտի պարամետրի աճը հանգեցնում է հիմնական և առաջին գրգռված վիճակների կրկնակի այլասերման, որոնք կարող են համարվել, համապատասխանաբար, կապված (bonding) և հակակապված (antibonding): Էլեկտրական դաշտում լազերային դաշտով պայմանավորված այլասերումը լազերային դաշտի պարամետրի $\alpha_0 = (0-5)$ նմ տիրույթում վերանում է:

Շրջանային բևեռացված լույսի դեպքում թույլատրելի են միայն հիմնական վիճակից 2-րդ, 4-րդ, 6-րդ, 8-րդ և 10-րդ վիճակներ անցումները, որոնց ալիքային ֆունկցիաները չունեն նույն զույգությունը: Կլանման սպեկտրում դիտվում են կարմիր և կապույտ շեղումներ միայն $1 \rightarrow 6$ անցումների դեպքում, մնացած դեպքերում դիտվում է կարմիր շեղում: $1 \rightarrow 10$ անցման դեպքում կլանում գրեթե չի դիտվում: Էլեկտրական դաշտի առկայությամբ վերանում է համաչափությունը, որի հետևանքով բոլոր անցումները դառնում են թույլատրելի: $1 \rightarrow 2$, $1 \rightarrow 3$ և $1 \rightarrow 4$ անցումների դեպքում սպեկտրում դիտվում են կարմիր, իսկ $1 \rightarrow 5$, $1 \rightarrow 9$ և $1 \rightarrow 10$ անցումների դեպքում՝ կապույտ շեղումներ: $1 \rightarrow 6$, $1 \rightarrow 7$ և $1 \rightarrow 8$ անցումներին համամապատասխանում են կլանման փոքր ուժգնություններ:

21. Ուսումնասիրվել է լազերային դաշտի ազդեցությունը $\text{GaAs}/\text{Ga}_{1-x}\text{Al}_x\text{As}$ երկչափ քվանտային օղակում խառնուկային վիճակների և լույսի ներգոտիական կլանման վրա: Որպես սահմանափակող պոտենցիալի մոդել դիտարկելով վերջավոր պատերով երկչափ ուղղանկյուն փոսը, ջրածնանման դոնորային խառնուկի «լազերով ձևափոխված» պոտենցիալը որոշվել է Էլոնկու մոտավորությամբ: Էլեկտրոնի ալիքային ֆունկցիաները և էներգիաները որոշվել են ճշգրիտ անկյունագծացման մեթոդով: Այն դեպքում, երբ խառնուկը տեղադրված է քվանտային օղակի կենտրոնում՝ $x_0 = (R_1 + R_2)/2$ (R_1 -ը և R_2 -ը քվանտային օղակի ներքին և արտաքին շառավիղներն են), հիմնական վիճակի էներգիան փոքր էներգիաների տիրույթում է և լազերային դաշտի պարամետրի մեծացմանը զուգընթաց բավական արագ աճում է՝ -18 մԷՎ-

ից ($\alpha_0 = 0$) մինչև -1 մեՎ ($\alpha_0 = 5$ նմ), իսկ գրգռված վիճակների էներգիաներն աճում են շուրջ 5 մեՎ-ով: Ցույց է տրվել, որ լույսի ներգոտիական կլանման սպեկտրում լույսի բևեռացման տարբեր ուղղությունների և խառնուկի դիրքի տարբեր արժեքների դեպքում լազերային դաշտի պարամետրի արժեքի մեծացմանը զուգընթաց սպեկտրում դիտվում է միայն կարմիր շեղում (α_0 պարամետրի արժեքները փոխվում են 1 նմ քայլով 0 -ից (ներքևից) մինչև 5 նմ (վերև)):

22. Ուսումնասիրվել է լազերային և էլեկտրական դաշտերի համատեղ ազդեցությունը $\text{GaAs}/\text{Ga}_{1-x}\text{Al}_x\text{As}$ երկչափ քվանտային օղակում խառնուկային վիճակների և լույսի ներգոտիական կլանման վրա: Էլեկտրոնի էներգիաներն ու ալիքային ֆունկցիաները որոշվել են ճշգրիտ անկյունագծացման մեթոդով: Ցույց է տրվել, որ էլեկտրական դաշտի դիտարկված արժեքների դեպքում լազերային դաշտի պարամետրի աճը հանգեցնում է էներգիական մակարդակների տեղաշարժման դեպի մեծ էներգիաների տիրույթ: Երբ խառնուկը տեղադրված է օղակի կենտրոնում, էլեկտրական դաշտի լարվածության մեծ արժեքների դեպքում հիմնական վիճակի էներգիայի վրա լազերային դաշտի ազդեցությունը համեմատաբար թույլ է: Դոնորային խառնուկի առկայությամբ լույսի y -բևեռացման դեպքում թույլատրելի են $1 \rightarrow 2$ անցումները, իսկ x -բևեռացման դեպքում՝ $1 \rightarrow 3$ անցումները: Խառնուկի և դաշտերի առկայության պայմաններում դիտվում են ինչպես կարմիր, այնպես էլ կապույտ շեղումներ: Հարկ է նշել $F = 15$ կՎ/սմ դեպքը, երբ փոփոխելով լույսի բևեռացման վեկտորի ուղղությունը՝ α_0 -ի փոփոխման միևնույն տիրույթում կլանման սպեկտրում y -բևեռացման դեպքում դիտվում է միայն կարմիր շեղում, իսկ x -բևեռացման դեպքում՝ α' կարմիր, α' կապույտ շեղումներ:
23. Ուսումնասիրվել է հիդրոստատիկ ճնշման և լազերային դաշտի ազդեցությունը $\text{GaAs}/\text{Ga}_{1-x}\text{Al}_x\text{As}$ երկչափ քվանտային օղակում խառնուկային վիճակների և լույսի ներգոտիական կլանման վրա: Ցույց է տրվել, որ էներգիական մակարդակները ճնշումից կախված նվազող ֆունկցիաներ են, ընդ որում $x = 0,3$ դեպքում ճնշման $8,37 - 25$ կբար տիրույթում նվազման արագությունն ավելի մեծ է: Էներգիական մակարդակների նվազման արագությունն ավելի մեծ է լազերային դաշտի պարամետրի մեծ արժեքների դեպքում: Ցույց է տրվել նաև, որ ճնշման, լազերային դաշտի պարամետրի և խառնուկի դիրքի բոլոր արժեքների դեպքում հիմնական և առաջին գրգռված վիճակների էներգիական մակարդակների միջև հեռավորությունը ճնշումից կախված աճում է, որի հետևանքով կլանման սպեկտրում դիտվում է միայն կապույտ շեղում:

ՀՂՎԱԾ ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅՈՒՆ

1. Pradeep T., Nano: The Essentials: Understanding Nanoscience and Nanotechnology: (McGraw-Hill, 2008).
2. Kelkar A., Herr D., Ryan J., Nanoscience and Nanoengineering: Advances and Applications (CRC Press, 2014).
3. Wilcoxon J.P., Abrams B.L., Chem. Soc. Rev., **35**, 1162–1194 (2006).
4. Marcaccio M., Paolucci F., Making and Exploiting Fullerenes, Graphene, and Carbon Nanotubes (Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg, 2014).

5. Castro Neto A.H., Guinea F., Peres N.M.R., Novoselov K. S., Geim A. K., Rev. Mod. Phys. **81**, 109 (2009).
6. Aoki H., Dresselhaus M.S., Physics of Graphene (Springer, New York 2014).
7. Wallace P.R., Phys. Rev. **71**, 622 (1947).
8. Zhou W., Wang Z.L., Scanning Microscopy for Nanotechnology (Springer: Verlag, 2006).
9. Alves A.K., Bergmann C.P., Berutti F.A. Novel Synthesis and Characterization of Nanostructured Materials (Springer, 2013).
10. Ղազարյան Է.Մ., Պետրոսյան Ս.Գ., Կիսահաղորդչային նանոէլեկտրոնիկայի ֆիզիկական հիմունքները (ՌՀՀ Հրատարակչություն, Երևան 2005):
11. Klitzing K.V., Dorda G., Pepper M., Phys. Rev. Lett. **45**, 494 (1980).
12. Tsui D.C., Strörmer H.L., Gossard A.C., Phys. Rev. Lett. **48**, 1559 (1982).
13. Андо Т., Фаулер А., Стерн Ф., Электронные свойства двумерных систем. М.: Мир (1985).
14. Dingle R., Strörmer H.L., Gossard A.C., Wiegmann W., Appl. Phys. Lett. **33**, 665 (1978).
15. Yuh P.-F., Wang K.L., Appl. Phys. Lett. **51**, 1404 (1987).
16. Chemla D.S., Miller D.A.B., J. Opt. Soc. Am. B **2**, 1155 (1985).
17. Ruzin I.M., Chandrasekhar V., Levin E.I., Glazman L.I., Phys. Rev. B **45**, 13469 (1992).
18. Piprek J., Semiconductor Optoelectronic Devices: Introduction to Physics and Simulation (Academic Press, San Diego, 2003).
19. Steiner T., (Ed., Semiconductor Nanostructures for Optoelectronic Applications. U.K., London: Artech House, 2004).
20. Petroff P.M., Gossard A.C., Logan R.A., Wiegmann W., J. Appl. Phys. Lett. **41**, 635 (1982).
21. Леденцов Н.Н., Устинов В.М., Щукин В.А., Копьев П.С., Алферов Ж.И., Бимберг Д., ФТП, **32**, 385 (1998).
22. Asryan L.V., Suris R.A., Semicond. Sci. Technol. **11**, 554 (1996).
23. Joyce P.B., Krzyzewski T.J., Bell G.R., Joyce B.A., Jones T.S., Phys. Rev. B **58**, R15981 (1998).
24. Lipinski M.O., Schuler H., Schmidt O.G., Eberl K., Jin-Phillipp N.Y., Appl. Phys. Lett. **77**, 1789 (2000).
25. Chu L., Arzberger M., Böhm G., Abstreiter G., J. Appl. Phys. **85**, 2355–2362 (1999).
26. Wasilewski Z.R., Fafard S., McCaffrey J.P., J. Crystal Growth **201/202**, 1131 (1999).
27. Fafard S., Wasilewski Z.R., C.Nl. Allen, K. Hinzer, McCaffrey J.P., Feng Y., Appl. Phys. Lett. **75**, 986 (1999).
28. McCaffrey J.P., Robertson M.D., Fafard S., Wasilewski Z.R., Griswold E.M., Madsen L.D., J. Appl. Phys. **88**, 2272 (2000).
29. Lorke A., Luyken R.J., Govorov A.O., Kotthaus J.P., Garcia J.M., Petroff P.M., Phys. Rev. Lett. **84**, 2223 (2000).
30. Mano T., Kuroda T., Sanguinetti S., Ochiai T., Tateno T., Kim J., Noda T., Kawabe M., Sakoda K., Kido G., Koguchi N., Nano Lett. **5**, 425 (2005).

31. Kuroda T., Mano T., Ochiai T., Sanguinetti S., Sakoda K., Kido G., Koguchi N., Phys. Rev. B **72**, 205301 (2005).
32. Somaschini C., Bietti S., Sanguinetti S., Koguchi N., Fedorov A., Nanotechnology **21**, 125601, (2010).
33. Aharonov Y., Bohm D., Phys. Rev. **115**, 485 (1951).
34. Fuhrer A., Lüscher S., Ihn T., Heinzl T., Ensslin K., Wegscheider W., Bichler M., Nature **413**, 822 (2001).
35. Climente J.I., Planelles J., Jaskólski W., Phys. Rev. B **68**, 075307 (2003).
36. Petterson H., Warburton R. J., Lorke A., Karrai K., Kotthaus J. P., Garcia J. M., Petroff P. M., Physica E **6**, 510 (2000).
37. Haft D., Schulhauser C., Govorov A.O., Warburton R.J., Karrai K., Garcia J.M., Schoenfeld W., Petroff P. M., Physica E **13**, 165 (2002).
38. Hu H., Zhu J. -L., Li D. -J., Xiong J. -J., Phys. Rev. B **63**, 195307 (2001).
39. Grochol M., Grosse F., Zimmermann R., Phys. Rev. B **74**, 115416 (2006).
40. Ghazaryan A.V., Djotyan A.P., Mouloupoulos K., Kirakosyan A.A., Physica Scripta **83**, 035703 (2011).
41. Suárez F., Granados D., Luisa Dotor M., Garcia J.M., Nanotechnology **15**, S126 (2004).
42. Alén B., Martínez-Pastor J., Granados D., García J.M., Phys. Rev. B **72**, 155331 (2005).
43. Huang G., Guo W., Bhattacharya P., Ariyawansa G., Perera A.G.U., Appl. Phys. Lett. **94**, 101115 (2009).
44. Bhowmick S., Huang G., Guo W., Lee C.S., Bhattacharya P., Ariyawansa G., Perera A.G.U., Appl. Phys. Lett. **96**, 231103 (2010).
45. Vurgaftman I., Meyer J.R., J. Appl. Phys., **89**, 5815 (2001).

ՀՐԱՏԱՐԱԿՎԱԾ ԱՇԽԱՏԱՆՔՆԵՐԻ ՑՈՒՑԱԿ

1. Мугнецян В.Н., Барсегян М.Г., Киракосян А.А., Энергия связи водородоподобной донорной примеси в квантовой проволоке в магнитном и электрическом полях. **Известия НАН Армении, Физика**, 42, 435-441 (2007).
2. Mughnetsyan V.N., Barseghyan M.G., Kirakosyan A.A., Magnetic field effect on photoionization cross-section of hydrogen-like impurity in cylindrical quantum wire. **Physica E** **40**, 654-659 (2008).
3. Mughnetsyan V.N., Barseghyan M.G., Kirakosyan A.A., Binding energy and photoionization cross section of hydrogen-like donor impurity in quantum well wire in electric and magnetic fields. **Superlattice and Microstructures** **44**, 86-95 (2008).
4. Hakimyfard Alireza, Barseghyan M.G., Duque C.A., Kirakosyan A.A., Simultaneous effects of pressure and temperature on donor binding energy in Pöschl-Teller quantum well. **Physica B** **404**, 5159-5162 (2009).
5. Barseghyan M.G., Kirakosyan A.A., Duque C.A., Hydrostatic pressure, electric and magnetic field effects on shallow donor impurity states and photoionization cross section in cylindrical GaAs-Ga_{1-x}Al_xAs quantum dots. **Physica Status Solidi B** **246**, 626-629 (2009).

6. Barseghyan M.G., Kirakosyan A.A., Duque C.A., Donor-impurity related binding energy and photoionization cross-section in quantum dots: electric and magnetic fields and hydrostatic pressure effects. **European Physical Journal B** **72**, 521-529 (2009).
7. Хакимифард А., Барсегян М.Г., Дюке К.А., Киракосян А.А., Влияние электрического поля, гидростатического давления и температуры на электронные состояния в квантовой яме Пешля-Теллера. **Известия НАН Армении, Физика** **45**, 401-406 (2010).
8. Barseghyan M.G., Hakimyfard Alireza, López S.Y., Duque C.A., Kirakosyan A.A., Simultaneous effects of hydrostatic pressure and temperature on donor binding energy and photoionization cross section in Pöschl-Teller quantum well. **Physica E** **42**, 1618-1622 (2010).
9. Barseghyan M.G., Hakimyfard Alireza, López S.Y., Duque C.A., Kirakosyan A.A., Hydrostatic pressure, temperature and electric field effects on donor binding energy in Pöschl-Teller quantum well. **Physica E** **43**, 529-533 (2010).
10. Duque C.A., Mora-Ramos M. E., Barseghyan M.G., Electronic states in a Pöschl-Teller-like quantum well: Combined effects of electric field, hydrostatic pressure, and temperature. **Superlattices and Microstructures** **50**, 480-490 (2011).
11. Barseghyan M.G., Hakimyfard Alireza, Zuhair Marwan, Duque C.A., Kirakosyan A.A., Binding energy of hydrogen-like donor impurity and photoionization cross-section in InAs Pöschl-Teller quantum ring under applied magnetic field. **Physica E** **44**, 419-424 (2011).
12. Barseghyan M.G., Mora-Ramos M.E., Duque C.A., Hydrostatic pressure, impurity position and electric and magnetic field effects on the binding energy and photoionization cross section of a hydrogenic donor impurity in an InAs Pöschl-Teller quantum ring. **European Physical Journal B** **84**, 265-271 (2011).
13. Barseghyan M.G., Hakimyfard Alireza, Zuhair Marwan, Duque C.A., Kirakosyan A.A., Binding energy and photoionization cross section of hydrogen-like donor impurity in cylindrical InAs Pöschl-Teller quantum layer in magnetic field. **Proc. of SPIE** **7998** 79981G (7 pages) (2011).
14. Barseghyan M.G., Hakimyfard Alireza, Kirakosyan A.A., Mora-Ramos M.E., Duque C.A., Hydrostatic pressure and electric and magnetic field effects on the binding energy of a hydrogenic donor impurity in InAs Pöschl-Teller quantum ring. **Superlattices and Microstructures** **51**, 119-127 (2012).
15. Barseghyan M.G., Restrepo R.L., Mora-Ramos M.E., Kirakosyan A.A., Duque C.A., Donor impurity-related linear and nonlinear intraband optical absorption coefficients in quantum ring: effects of applied electric field and hydrostatic pressure. **Nanoscale Research Letters** **7**, 538 (8 pages) (2012).
16. Baghramyan H.M., Barseghyan M.G., Duque C.A., Kirakosyan A.A., Binding energy of hydrogenic donor impurity in GaAs/Ga_{1-x}Al_xAs concentric double quantum rings: Effects of geometry, hydrostatic pressure, temperature, and aluminum concentration. **Physica E** **48**, 164-170 (2013).
17. Baghramyan H.M., Barseghyan M.G., Kirakosyan A.A., Restrepo R.L., Duque C.A., Linear and nonlinear optical absorption coefficients in GaAs/Ga_{1-x}Al_xAs concentric double

- quantum rings: Effects of hydrostatic pressure and aluminum concentration. **Journal of Luminescence** **134**, 594-599 (2013).
18. Mughnetsyan V.N., Manaselyan A.Kh., Barseghyan M.G., Kirakosyan A.A., Simultaneous effects of hydrostatic pressure and spin-orbit coupling on linear and nonlinear intraband optical absorption coefficients in a GaAs quantum ring. **Journal of Luminescence** **134**, 24-27 (2013).
 19. Restrepo R.L., Barseghyan M.G., Mora-Ramos M.E., Duque C.A., Effects of hydrostatic pressure on the nonlinear optical properties of a donor impurity in a GaAs quantum ring. **Physica E** **51**, 48-54 (2013).
 20. Baghramyany H.M., Barseghyan M.G., Kirakosyan A.A., Restrepo R.L., Mora-Ramos M.E., Duque C.A., Donor impurity-related linear and nonlinear intraband optical absorption coefficients in GaAs/Ga_{1-x}Al_xAs concentric double quantum rings: Effects of geometry, hydrostatic pressure, and aluminum concentration. **Journal of Luminescence** **145**, 676-683 (2014).
 21. Manaselyan A.Kh., Barseghyan M.G., Kirakosyan A.A., Laroze D., Duque C.A., Effects of applied lateral electric field and hydrostatic pressure on the intraband optical transitions in a GaAs-Ga_{1-x}Al_xAs quantum ring. **Physica E** **60**, 95-99 (2014).
 22. Baghramyany H.M., Barseghyan M.G., Kirakosyan A.A., Laroze D., Duque C.A., Donor-impurity related photoionization cross section in GaAs/Ga_{1-x}Al_xAs concentric double quantum rings: Effects of geometry and hydrostatic pressure. **Physica B** **449**, 193-198 (2014).
 23. Radu A., Kirakosyan A.A., Laroze D., Baghramyany H.M., Barseghyan M.G., Electronic and intraband optical properties of single quantum rings under intense laser field radiation. **Journal of Applied Physics** **116**, 093101 (6 pages) (2014).
 24. Radu A., Kirakosyan A.A., Laroze D., Barseghyan M.G., The effects of the intense laser and homogeneous electric fields on the electronic and intraband optical properties of a GaAs/Ga_{0.7}Al_{0.3}As quantum ring. **Semicond. Sci. Technol.** **30**, 045006 (9 pages) (2015).
 25. Barseghyan M.G., Baghramyany H.M., Laroze D., Bragard J., Kirakosyan A.A., Impurity-related intraband absorption in coupled quantum dot-ring structure under lateral electric field. **Physica E** **74**, 421-425 (2015).
 26. Barseghyan M.G., Electronic states of coupled quantum dot-ring structure under lateral electric field with and without a hydrogenic donor impurity. **Physica E** **69**, 219-223 (2015).
 27. Barseghyan M.G., Manaselyan A.Kh., Laroze D., Kirakosyan A.A., Impurity-modulated Aharonov-Bohm oscillations and intraband optical absorption in quantum dot-ring nanostructures. **Physica E** **81**, 31-36 (2016).
 28. Baghramyany H.M., Barseghyan M.G., Laroze D., Kirakosyan A.A., Influence of lateral electric field on intraband optical absorption in concentric double quantum rings. **Physica E** **77**, 81-89 (2016).
 29. Barseghyan M.G., Donor impurity-related intraband optical absorption in a single quantum ring: Hydrostatic pressure and intense laser field effects. **European Physical Journal Plus** **131**: 361 (7 pages) (2016).

30. Laroze D., Barseghyan M.G., Radu A., Kirakosyan A.A., Laser driven impurity states in two-dimensional quantum dot and quantum ring. **Physica B** **501**, 1-4 (2016).
31. Barseghyan M.G., Energy levels and far-infrared optical absorption of impurity doped semiconductor nanorings: Intense laser and electric fields effects. **Chemical Physics** **479**, 1-4 (2016).
32. Barseghyan M.G., Intraband optical absorption in a single quantum ring: Hydrostatic pressure and intense laser field effects. **Optics Communications** **379**, 41-44 (2016).
33. Barseghyan M.G., Laser driven impurity states in two dimensional concentric quantum rings. **Proceedings of the Yerevan State University**, 51(1), pp. 89-92 (2017).
34. Barseghyan M.G., Kirakosyan A.A., Laroze D., Laser driven intraband optical transitions in two-dimensional quantum dots and quantum rings. **Optics Communications** **383**, 571-576 (2017).
35. Baghramyan H.M., Barseghyan M.G., Laroze D., Molecular spectrum of laterally coupled quantum rings under intense terahertz radiation. **Scientific Reports** **7**, 10485 (10 pages) (2017).
36. Baghramyan H.M., Barseghyan M.G., Kirakosyan A.A., Ojeda J.H., Bragard J., D. Laroze, Modeling of anisotropic properties of double quantum rings by the terahertz laser field, **Scientific Reports** **8**, 6145 (10 pages) (2018).
37. Chakraborty T., Manaselyan A., Barseghyan. M., Laroze D., Controllable continuous evolution of electronic states in a single quantum ring, **Phys. Rev. B** **97**, 041304(R) (5 pages) (2018).
38. Baghramyan H.M., Barseghyan M.G., Kirakosyan A.A., Laroze D., Intense Terahertz Radiation Effect on Electronic and Intraband Optical Properties of Semiconductor Quantum Rings. In: V. Fomin (eds) *Physics of Quantum Rings, NanoScience and Technology*. Springer, Cham, pp. 411-445 (2018).

БАРСЕГЯН МАНУК ГЕВОРГОВИЧ

ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ВНЕШНИХ ФАКТОРОВ НА
ЭЛЕКТРОННЫЕ И ОПТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ
НАНОСТРУКТУР

АННОТАЦИЯ

Диссертация посвящена теоретическому исследованию влияния внешних воздействий на электронные и примесные состояния, а также на оптические свойства полупроводниковых наноструктур.

Впервые проведено изучение влияния внешнего электрического поля, гидростатического давления и температуры на электронные состояния, энергию связи и сечение фотоионизации (СФИ) водородоподобной донорной примеси в квантовой яме с ограничивающим потенциалом Пешля-Теллера. Показано, что энергия основного состояния электрона с ростом напряженности электрического поля и температуры увеличивается, а с ростом гидростатического давления уменьшается. При этом, сильная

асимметрия ограничивающего потенциала приводит к увеличению энергии основного состояния. В зависимости от выбранных параметров квантовой ямы энергия связи основного состояния может либо увеличиваться, либо уменьшаться с увеличением напряженности электрического поля, в то время как она является возрастающей (убывающей) функцией гидростатического давления (температуры). Доказано, что можно эффективно контролировать спектром фотоионизации не только с помощью вышеупомянутых факторов, но и посредством изменения направления поляризации света.

Проведено детальное исследование энергии связи и СФИ водородоподобной донорной примеси в цилиндрической квантовой проволоке во внешнем магнитном поле. В случае параллельной относительно оси проволоки вектора поляризации света разрешены переходы из основного примесного состояния в основное состояние. В случае перпендикулярной поляризации разрешены переходы из основного примесного состояния в состояния с $\Delta l = \pm 1$ (где l - азимутальное квантовое число). Когда система находится под воздействием взаимно перпендикулярных электрического и магнитного полей, характер зависимостей СФИ от положения примеси, напряженности электрического поля и индукции магнитного поля может существенно меняться в обоих случаях поляризации.

Впервые проведено комплексное исследование влияния геометрии, гидростатического давления, температуры и концентрации алюминия на энергию связи водородоподобной донорной примеси и СФИ в двойных концентрических квантовых кольцах (ДККК). С учетом поведения энергии связи показано, что увеличение ширины потенциального барьера между кольцами может привести как к красному, так и к голубому смещению в спектре фотоионизации. Найдено, что увеличение радиальной координаты примеси приводит к красному смещению в спектре фотоионизации, а при увеличении гидростатического давления и концентрации алюминия наблюдается голубое смещение.

Впервые исследовано совместное влияние спин-орбитального взаимодействия Рашбы и гидростатического давления на внутризонное линейное и нелинейное поглощение света в одиночном квантовом кольце (КК). Обнаружено, что оно может привести и к синему, и к красному смещению в спектре поглощения, в то время как под влиянием гидростатического давления имеет место только красное смещение.

Проведено изучение влияния поперечного электрического поля на внутризонное оптическое поглощение ДККК. Исследование совместного влияния электрического поля и изменения ограничивающего потенциала показало, что увеличение напряженности поля приводит только к голубому смещению в спектре поглощения, а усиление ограничения приводит к красному смещению. Такое поведение поглощения наблюдается также при повороте вектора поляризации от направления оси x к оси y .

Впервые исследовано влияние донорной примеси на осцилляции Ааронова-Бома энергетических уровней и внутризонное оптическое поглощение в наносистемах “квантовая точка-кольцо”. Показано, что локализация электрона внутри системы полностью контролируема, кроме основного состояния, в котором электрон в основном локализован в квантовой точке, а присутствие магнитного поля приводит к расщеплению максимума кривой поглощения.

Впервые детально исследовано влияние интенсивного лазерного излучения (ИЛИ) и электрического поля на электронные состояния и внутризонное оптическое поглощение в двумерном КК. Из полученного аналитического выражения для эффективного ограничивающего потенциала при наличии внешних полей следует, что изменение поляризации, в зависимости от энергии кванта падающего света, может приводить к голубому или красному смещению в спектре внутризонного поглощения. Кроме того, установлено, что голубое и красное смещения индуцируются одновременным воздействием ИЛИ и поперечного электрического поля.

Доказано, что с помощью ИЛИ можно реализовать переход от одной формы ДККК к другой, что, в свою очередь, позволяет манипулировать электронными и оптическими свойствами образца, а путем изменения интенсивности или частоты терагерцового лазерного поля можно создавать новый набор вырожденных уровней в ДККК и контролировать распределение заряда в нем. Кроме того, показано, что в зависимости от направления дополнительного внешнего электрического поля, имеют место линейный и квадратичный эффекты Штарка.

Впервые систематично исследованы примесные состояния и внутризонное оптическое поглощение в двумерной квантовой точке и КК в поле терагерцового лазерного поля. Случайное вырождение примесных состояний наблюдается для разных положений примеси и различных значений параметра ИЛИ. Доказано, что из-за вырождения имеет место пересечение кривых зависимостей пороговых энергий и дипольных матричных элементов от параметра ИЛИ, а в спектре поглощения может наблюдаться либо синее, либо красное смещение в зависимости от положения примеси, значения параметра ИЛИ и направления поляризации света. Исследование совместного воздействия гидростатического давления и ИЛИ на энергетический спектр и внутризонное оптическое поглощение в КК показало, что поведение пороговой энергии, а также положение максимума коэффициента поглощения можно эффективно контролировать изменением гидростатического давления и параметра ИЛИ.

THEORETICAL INVESTIGATION OF EXTERNAL FACTORS ON ELECTRONIC
AND OPTICAL PROPERTIES OF SEMICONDUCTOR NANOSTRUCTURES

SUMMARY

The present dissertation is devoted to the theoretical investigation of some external influences on the electronic and impurity states, as well as the optical properties of semiconductor nanostructures.

The study of the effect of external electric field, hydrostatic pressure and temperature on the electronic states, binding energy and photoionization cross-section (PCS) of a hydrogen-like donor impurity in a quantum well with Pöschl-Teller confinement potential is performed for the first time. It is shown that the ground state energy of an electron is an increasing function of electric field strength and temperature and a decreasing function of hydrostatic pressure. On the other hand, the increased asymmetry of the potential results in the augmentation of the ground state energy. Besides that, depending on the chosen parameters of the quantum well, the binding energy of the ground state can be an increasing or decreasing function of the electric field strength, while it is an increasing (decreasing) function of the hydrostatic pressure (temperature). It is proved that the spectrum of PCS can be effectively controlled not only by the abovementioned factors but also by the change of polarization direction of the light.

The detailed investigation of binding energy and PCS of a hydrogen-like donor impurity in the cylindrical quantum wire under the action of the magnetic field has been done. In the case of parallel polarization, the electron transitions from impurity ground state to the ground state in the quantum wire are allowed. Meanwhile, perpendicular polarization results in the allowed transitions from the impurity ground state to $\Delta l = \pm 1$ states (where l is the azimuthal quantum number). When the system is under the action of perpendicular electric and magnetic fields the dependence of PCS on the impurity position, electric field strength and magnetic field induction can be drastically changed for both cases of the light polarization.

The effect of geometry, hydrostatic pressure, temperature, and aluminum concentration on binding energy of hydrogen-like donor impurity and PCS in concentric double quantum rings (CDQRs) has been systematically investigated for the first time. Based on the behavior of the binding energy, it has been shown that the increase of the coupling barrier width between rings results in the redshift, or blueshift in the photionization spectrum. The increase of impurity radial position makes the redshift in the photionization spectrum. Additionally, the increments of hydrostatic pressure and aluminum concentration result in a blueshift in the photionization spectrum.

The combined effect of Rashba spin-orbit interaction and hydrostatic pressure on intraband linear and nonlinear absorption in a single quantum ring (QR) has been investigated for the first time. It is found that the Rashba interaction can lead to the blue and redshift of the absorption spectrum, while only the redshift is observed with the hydrostatic pressure variation.

The influence of the lateral electric field on intraband optical absorption of CDQR has been examined. The combined influence of electric field and change of the confinement potential strength shows that while the increment of the first one leads only to a blueshift of the absorption spectrum, the augment of the second one makes a redshift. It is demonstrated, that the absorption spectrum undergoes redshift by changing the polarization of the light from x - to y -axis.

For the first time the influence of the donor impurity on Aharonov-Bohm oscillations of the electron energy spectrum and intraband optical absorption is investigated in a quantum dot-ring nanostructure. It is shown that the electron localization inside the structure is fully controllable, excepted the ground state that is mostly dot-localized. Additionally, the presence of the applied magnetic field splits the maximum of the absorption curve.

For the first time the simultaneous influences of an intense laser field (ILF) and electric field on electronic states and intraband optical absorption are investigated in a two-dimensional QR. An analytical expression of the effective confinement potential in the presence of external fields is obtained. It is shown that the change in the incident light polarization leads to blue- or redshifts in the intraband optical absorption spectrum. Moreover, it is found out that the blueshift and redshift are induced by the simultaneous influences of an ILF and lateral electric field.

The rendering of different shapes of just a single sample of a CDQRs is demonstrated realizable with a THz ILF, that in its turn, allows the manipulation of electronic and intraband optical properties of a sample. It is shown that by changing the intensity or frequency of ILF, one can come to a new set of degenerated levels in double QRs and switch the charge distribution between the rings. Also, depending on the direction of an additional electric field, the linear and quadratic quantum confined Stark effects are observed.

The hydrogen-like donor impurity states and intraband optical absorption in two-dimensional quantum dots and QRs have been systematically investigated under the action of THz ILF. The accidental degeneracy of the impurity states is observed for different positions of the impurity and various values of the ILF parameter. Due to the degeneracy, crossings of the curves of the threshold energies and the dipole matrix element dependencies on ILF parameter are observed. It is shown that the absorption spectrum can exhibit either a blue- or redshift depending on the impurity position, values of the ILF parameter and direction of the incident light polarization. The combined effect of hydrostatic pressure and ILF on the energy spectrum and intraband optical absorption in a QR is carried out. The results show that the behavior of the threshold energy and the position of the absorption maximum strongly depend on the hydrostatic pressure and ILF parameter.

