

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

Վարդանյան Արշակ Լյուդվիգի

**ԿԻՍԱՀԱՂՈՐԴՉԱՅԻՆ ՆԱՆՈԿԱՌՈՒՑՎԱԾՔՆԵՐՈՒՄ
ԷԼԵԿՏՐՈՆ-ՖՈՆՈՆԱՅԻՆ ՓՈԽԱԶԴԵՑՈՒԹՅԱՆ ԱՌԱՆՁՆԱՀԱՏԿՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ
ՏԵՍԱԿԱՆ ՈՒՍՈՒՄՆԱՍԻՐՈՒՄ**

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

ՍԵՂՍԱԳԻՐ

ԵՐԵՎԱՆ 2013

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

Вартанян Аршак Людвигович

**ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ ЭЛЕКТРОН-
-ФОНОННОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ В ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ
НАНОСТРУКТУРАХ**

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 2013

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 թղթ. անդամ, ֆիզ. մաթ. գիտ. դոկտոր, պրոֆեսոր Ս.Գ. Պետրոսյան (ՌՀ(Մ)Հ)
ֆիզ. մաթ. գիտ. դոկտոր, պրոֆեսոր Ա.Ս. Սահակյան (ՀՊՃՀ),
ֆիզ. մաթ. գիտ. դոկտոր, պրոֆեսոր Հ.Ռ. Մինասյան (ԱԱԳԼ հիմնադրամ)

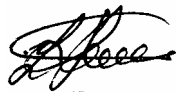
Առաջատար կազմակերպություն՝ Ռուս-Հայկական (Սլավոնական) համալսարան

Պաշտպանությունը տեղի կունենա 2013թ. հունիսի 29-ին, ժամը 11⁰⁰ -ին
Երևանի պետական համալսարանի ֆիզիկայի 049 մասնագիտական խորհրդի նիստում:
Հասցեն՝ Երևան 0025, Ալեք Մանուկյան 1

Ատենախոսությանը կարելի է ծանոթանալ ԵՊՀ գրադարանում:

Սեղմագիրը ցրված է 2013թ. մայիսի 29-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 (ЕГУ)

Официальные оппоненты: член-кор. НАН РА, доктор физ. мат. наук,
профессор С.Г. Петросян (РА(С)У),
доктор физ. мат. наук, профессор
А. С. Саакян (ГИУА),
доктор физ. мат. наук, профессор
Г.Р. Минасян (Фонд ННЛА)

Ведущая организация: Российско-Армянский (Славянский) университет

Защита состоится 29-го июня 2013г. в 11⁰⁰ 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 29-го мая 2013 г.

Ученый секретарь
специализированного совета



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

ԱՇԽԱՏԱՆՔԻ ԸՆԴՀԱՆՈՒՐ ԲՆՈՒԹԱԳԻՐԸ

ՈՒՍՈՒՄՆԱՍԻՐՈՒԹՅԱՆ ԱՐԳԻԱԿԱՆՈՒԹՅՈՒՆԸ

Նանոտեխնոլոգիան` XXI դարի սկզբում մարդկային հասարակության գիտական եւ կիրառական գործունեության ամենաարագ զարգացող ոլորտը, անշեղորեն ընդլայնում է իր ընդգրկման տիրույթի սահմանները շնորհիվ գիտական ավանդական բնագավառների հիմնարար վերափոխման եւ նոր գիտական ուղղությունների առաջացման: Նանոֆիզիկայում եւ ժամանակակից էլեկտրոնային արդյունաբերության մեջ, որը ներառում է կապի, տեղեկատվության, համակարգչային եւ այլ արդյունաբերական ենթաճյուղեր, կիսահաղորդչներն ունեն անկյունաքարային նշանակություն, եւ այս բնագավառներում դրանք լայնորեն օգտագործվում են սկսած կիսահաղորդչային տրանզիստորի հայտնագործումից: Վերջին կես դարում գիտատեխնիկական առաջընթացի գերագույն խնդիրն այս բնագավառում կիսահաղորդչային կառուցվածքների մանրաչափացումն է, որը հնարավորություն է տալիս մեծացնելու կիսահաղորդչային տարրերի եւ դրանց վրա հիմնված տարաբնույթ սարքերի ինտեգրացման աստիճանը, ընդլայնելու գործառնության տիրույթը եւ հասնելու առավելագույն էներգախնայողության: Այդ կառուցվածքների վրա հիմնված տրանզիստորների, մեծ եւ գերմեծ ինտեգրալային սխեմաների, լազերների, տվիչների եւ այլ սարքերի [1-6] օգտագործմամբ ստեղծվում են փորձարարական գիտության մեջ, տեխնիկայում եւ կենցաղում կիրառվող հզոր եւ բազմագործառնական սարքեր եւ այնպիսի միջոցներ, որոնց կիրառմամբ ստացվում, կուտակվում, մշակվում, փոխանցվում եւ ցուցադրվում է տեղեկության մեծ քանակություն:

Այսպիսով, կիսահաղորդչային նանոկառուցվածքներում նյութերի բաղադրության, կառուցվածքի ձեւի եւ չափերի ընտրությամբ, ինչպես նաեւ արտաքին ազդակների եւ կառավարելի լեզիրման միջոցով կարելի է ստեղծել նախապես տրված հատկություններով քվազիմասնիկային համակարգեր եւ կառավարել դրանց փոխազդեցությունը, հնարավորություն ընձեռելով լուծելու գործող օպտոէլեկտրոնային սարքերի բնութագրերի կառավարման կարեւորագույն խնդիրը: Ասվածի համոզիչ վկայությունն է ենթակարմիր քվանտային կասկադային լազերների, կիսահաղորդչային քվանտային փոսերի եւ կիսահաղորդչային քվանտային կետերի (ԿԶԿ) վրա կառուցված, բարելավված բնութագրերով կիսահաղորդչային լազերների, քվազիերկչափ եւ քվազիմիաչափ էլեկտրոնային գազով տրանզիստորների, ռեզոնանսաթունելային դիոդների, դիմադրության գերճզգրիտ ստանդարտների, էլեկտրակլամման երեսույթի վրա հիմնված սարքերի, մոդուլման մեծ գործակցով էլեկտրաօպտիկական մոդուլարարների, ենթակարմիր ֆոտոդետեկտորների եւ բազմաթիվ այլ սարքերի ստեղծումը [1]: Ներկայումս մեծ ջանքեր են գործադրվում նաեւ նանոկառուցվածքներում էլեկտրոնի սպինի կառավարման միջոցով քվանտային հաշվարկիչների ստեղծման, ինչպես նաեւ քվանտային տեղեկատվության բնագավառում դրանց կիրառման ուղղությամբ [6]:

Պինդ մարմիններում եւ պինդմարմնային նանոկառուցվածքներում տարբեր քվազիմասնիկների փոխազդեցությունը ֆոնոնային մոդերի հետ ունի վճռորոշ դեր դրանց էլեկտ-

րական, ջերմային, օպտիկական, մագնիսական եւ այլ հատկությունների ձեւավորման մեջ եւ ներկայումս տեսական եւ փորձարարական ինտենսիվ հետազոտության առարկա է: Նանուկառուցվածքների տարածական սահմանափակվածությունը հանգեցնում է դրանցում տարբեր տիպի քվազիմասնիկների դիսպերսային օրենքների էական փոփոխության [7-10], որը ցայտունորեն արտահայտվում է, մասնավորապես, ազատ կայանած, ինչպես նաեւ ակտիվ միջավայրի նկատմամբ օպտիկական եւ ձայնային բնութագրերով կտրուկ տարբերվող նյութերից կառուցված նանոհամակարգերում: Որոշ կիրառություններում այդպիսի փոփոխությունը կարող է լինել ցանկալի, այլ դեպքերում՝ ոչ: Դիսպերսիայի փոփոխության հետեւանքով փոխում են ֆոնոնների հատկությունները (խմբային արագություն, բեռնացում, վիճակների խտություն), որոնք ազդում են ինչպես միմյանց հետ, այնպես էլ արատների եւ էլեկտրոնների հետ ֆոնոնների փոխազդեցության վրա [9,10]: Այդպիսի փոփոխություններն ստեղծում են ֆոնոնային սպեկտրի արհեստական ձեւավորման միջոցով նանուկառուցվածքների էլեկտրական, ջերմային եւ այլ հատկությունների կառավարման հնարավորություն: Ֆոնոնային ճարտարագիտությամբ զբաղվող նանոֆիզիկայի այս նոր բնագավառը ստացել է “ֆոնոնիկա” անունը [9]: Նանուկառուցվածքներում ֆոնոնների դիսպերսիայի կառավարման հայեցակարգն ունի նույնպիսի հզորության ներուժ, ինչպիսին էլեկտրոնային արդյունաբերությունը հեղաշրջած գոտիական սպեկտրի կառավարումը՝ էլեկտրոնների համար: Վերջերս առաջ են քաշվել ֆոնոնային մի շարք սարքերի (ջերմային դիոդներ (thermal diodes), տրանզիստորներ, տրանսբանական փականներ, հիշողության սարքեր, համակարգիչներ, լազերներ [11,12]) ստեղծման սկզբունքային նոր սխեմաներ:

Վերջին երկու տասնամյակում մեծ ուշադրության են արժանանում կիսահաղորդչային նանուկառուցվածքներում ֆոնոնային սպեկտրների տեսական եւ փորձարարական ուսումնասիրությունները [13]: Տեսական առումով, բացի ֆոնոնային մոդերի հետազոտման միկրոսկոպական մոդելներից [14], զգալի ջանքեր են գործադրվել նաեւ երկարալիքային երեւութաբանական մոդելներ մշակելու համար [13,15-18], որոնք, լինելով հարմար օգտագործման համար եւ համադրվելով փորձառական տվյալների եւ հաշվարկման համար ավելի մեծ ջանքեր պահանջող միկրոսկոպական մոդելների հետ, ապահովում են հուսալի արդյունքներ: Իրականում այդ մակրոսկոպական մոդելները բացահայտում են տարբեր ֆոնոնային մոդերի բոլոր առանձնահատկությունները կիսահաղորդչային հետերոկառուցվածքներում:

Կատարված հետազոտությունները ցույց են տալիս, որ կիսահաղորդչային նանուկառուցվածքներում առկա են այսպես կոչված սահմանափակված ֆոնոնային մոդեր, որոնք տեղայնացված են կառուցվածքի որեւէ շերտում [19-21], ինչպես նաեւ մերձմակերեւութային մոդեր, որոնց լայնություններն ունեն առավելագույն արժեքներ միջավայրերի բաժանման սահմանների վրա եւ արագ նվազում են դրանցից հեռանալիս [22]: Ասվածի վկայությունն է այն, որ փորձում դիտվող ֆոնոնային հաճախություններն արգելված են կամ հետերոկառուցվածքի բաղադրիչ շերտերից որեւէ մեկում (սահմանափակված մոդեր) կամ երկուսում էլ (մերձմակերեւութային մոդեր):

Կիսահաղորդչային նանոֆիզիկայի արդի փուլում առաջնակարգ կարևորություն ունեն ֆոնոնային սահմանափակման երեւոյթի հաշվառմամբ լիցքակիրների շարժունության, տաք քվազիմասնիկների էներգիական ռելաքսացիայի, ինչպես նաեւ քվազիմասնիկների էներգիական սպեկտրի փոփոխության ուսումնասիրությունները: Լիցքակիրների շարժունությունն ունի վճռորոշ դեր այնպիսի սարքային կիրառություններում, ինչպիսիք են “մետաղ-օքսիդ-կիսահաղորդիչ” դաշտային տրանզիստորները, հիշողության սարքերը, քիմիական եւ կենսաքիմիական սենսորները: Այդպիսի սարքերում լիցքակիրների մեծ շարժունութունը եւ, հետեւաբար, հոսընթացի մեծ արագությունն արագագործ եւ բարձրհաճախային գործառնութների իրականացման հիմնական գրավականն է: Շարժունութունը, որոշելով լիցքակիրների արագութունը, բնականաբար, որոշում է նաեւ դաշտային տրանզիստորների միացման եւ անջատման արագութունները: Լինելով նաեւ հաղորդականութային փոփոխության չափը մեկ լիցքակրի հաշվով, շարժունութունը որոշում է նաեւ մեկէլեկտրոնային սարքերի զգայնութունը:

Մեզոմասշտաբային սարքերի չափերի փոքրացման հետ ազատ լիցքակիրների շարժունութունն աճում է, որի հետեւանքով լիցքակիրների տաքացման երեւոյթները եւ, հետեւաբար, լիցքակրային ջերմաչափութունը (carrier thermometry) դառնում են մեծապես կարեւոր ցածր չափային կիսահաղորդչային ֆիզիկայի տարբեր տեսանկյուններից: Այդ կարեւորութունը պայմանավորված է երկու գործոնով, որոնցից մեկը կապված է տեղափոխական հատկութունների վրա քվանտային սահմանափակման ազդեցութայան, իսկ մյուսը՝ ենթամիկրոնային չափերով սարքերի աշխատանքային ընթացքի վրա լիցքակիրների անխուսափելի տաքացման երեւոյթների ազդեցութայան հետ:

Սարքային կիրառությունների եւ հիմնարար գիտութայան համար հետաքրքրութուններ կայացնող կիսահաղորդչային նանոկառուցվածքները սովորաբար պատրաստվում են բեւեռային կիսահաղորդչային եւ դիէլեկտրական նյութերից: Այդպիսի նյութերում ֆրյոլիխյան փոխազդեցութայամբ պայմանավորված պոլարոնային երեւոյթները տեսական եւ փորձարարական մեծ հետաքրքրութուն են ներկայացնում [23]: Ֆրյոլիխյան փոխազդեցութայամբ են պայմանավորված նաեւ բեւեռային բյուրեղներում ազատ լիցքակիրների ցրումը, ֆոնոնային հաճախութունների վերանորմավորումը եւ լիցքակիրների փոխազդեցութայան էկրանավորումը [23-25]: Թեւեւ պոլարոնի գերխնդիրն իր առաջադրման պահից սկսած (Լանդաու, 1933թ. [26]) եղել է ակտիվ ուսումնասիրութայան առարկա, այն դեռեւս այդպիսին մնում է նաեւ այսօր՝ պայմանավորված այն առանցքային դերով, որ ունի ֆիզիկայի բուռն զարգացող երեք բնագավառներում, այն է՝ բարձրջերմաստիճանային գերհաղորդականութունում [27], կենսաֆիզիկայում [28] եւ կիսահաղորդչային նանոկառուցվածքների ֆիզիկայում:

Ներկայումս ուսումնասիրվող կիսահաղորդչային շատ նանոկառուցվածքներ հիմնականում պատրաստվում են թույլ բեւեռայնութայամբ A_3B_5 կամ A_2B_6 կիսահաղորդչային միացութունների (GaAs-AlGaAs, InAs-GaSb, PbTe-PbSnTe, HgTe-CdTe, InGaAs-InP եւ այլն) հենքի վրա: Կիսահաղորդչային քվանտային լարերում (ԿՔԼ) լիցքակիրների շարժման երկչափ, իսկ կիսահաղորդչային քվանտային կետերում (ԿՔԿ) եռաչափ սահմանափակման հետե-

ԱՇԽԱՏԱՆՔԻ ՆՊԱՏԱԿԸ

1. Հետազոտել “դիլեկտրական շերտ-կիսահաղորդիչ” բաժանման սահմանի մոտ առաջացող քվազիերկչափ էլեկտրոնային գազում (ինվերսային շերտում) լիցքակիրների շարժունությունը ձայնային ֆոնոնների հետ փոխազդեցության դեպքում:
2. Համասեռ հաղորդիչների եւ կիսահաղորդիչների կինետիկական բնութագրերի հաշվարկման համար կիրառվող էներգիական կորուստների մեթոդը զարգացնել կիսահաղորդչային նանոկառուցվածքների համար եւ ուսումնասիրել քվազիերկչափ լիցքակիրների շարժունությունը լիցքավորված խառնուկների, բաժանման սահմանների մակերեսութային անհարթությունների եւ համաձուլվածքային անկարգավորվածությունների վրա ցրման դեպքում:
3. Ուսումնասիրել քվանտային լարերում բեւեռային օպտիկական ֆոնոնների վրա քվազիմիաչափ էլեկտրոնի ցրման առանձնահատկությունները եւ ֆոնոնային սահմանափակման երեսույթի հաշվառմամբ հաշվարկել լիցքակիրների ցրման արագությունը եւ շարժունությունը:
4. Հետազոտել քվազիերկչափ եւ քվազիմիաչափ տաք էլեկտրոնների էներգիական ռե-լաքսացիան ֆոնոնային սահմանափակման երեսույթի հաշվառմամբ:
5. Ուսումնասիրել էլեկտրոնի՝ բեւեռային օպտիկական ֆոնոնների հետ փոխազդեցությամբ պայմանավորված կալանումը կոլոիդային քվանտային կետի գրգռված վիճակում եւ Օժե-ցրման հետեւանքով դրա հաջորդական անցումը քվանտային կետի հիմնական վիճակ:
6. Ֆոնոնային սահմանափակման երեսույթի անտեսմամբ եւ դրա հաշվառմամբ հաշվարկել բեւեռային կիսահաղորդչային քվանտային լարով նանոկառուցվածքում էլեկտրոնային պոլարոնի սեփական էներգիան, արդյունաբար զանգվածը եւ էլեկտրոնի շարժմանն ուղեկցող ֆոնոնների միջին թիվը եւ հետազոտել նշված բնութագրերի վրա արտաքին էլեկտրական եւ մագնիսական դաշտերի ազդեցությունը:
7. Լանդաու-Պեկարի փոփոխակային մեթոդի շրջանակներում ուսումնասիրել քվանտային լարերում ջրածնանման խառնուկին կապված պոլարոնային վիճակները եւ այդ վիճակներում պոլարոնի կապի էներգիաները էլեկտրական դաշտում:

8. Հաշվարկել քվանտային լարում ջրածնանման խառնուկին կապված պոլարոնի առաջին մի քանի գրգռված վիճակների էներգիաները եւ հետագոտել հիմնական վիճակից այդ վիճակներ անցման էներգիաների պոլարոնային շեղումների կախումը կիրառված էլեկտրական դաշտի լարվածությունից:
9. Ֆոնոնային սահմանափակման երեւոյթի հաշվառմամբ ուսումնասիրել գլանային քվանտային լարում ջրածնանման խառնուկին կապված պոլարոնի եւ էքսիտոնային պոլարոնի հիմնական վիճակները:
10. Հաշվարկել բեւեռային կիսահաղորդչային քվանտային կետերով նանոկառուցվածքում ջրածնանման խառնուկին կապված պոլարոնի կապի էներգիան եւ հետագոտել կապի էներգիայի պոլարոնային շեղման կախումը կիրառված էլեկտրական դաշտի լարվածությունից եւ մագնիսական դաշտի ինդուկցիայից:
11. Ֆոնոնային սահմանափակման երեւոյթի եւ արժեքական գոտու բարդ կառուցվածքի հաշվառմամբ ուսումնասիրել գնդային քվանտային կետում էլեկտրոնային, խոռոչային եւ էքսիտոնային պոլարոնների հիմնական վիճակները:

ԳԻՏԱԿԱՆ ՆՈՐՈՒԹՅՈՒՆԸ

1. Առաջին անգամ, տարբեր առաձգական հաստատուններով “շերտ-կիսատարածություն” հոծ միջավայրի մոդելի շրջանակներում հաշվառելով “վակուում-դիէլեկտրական շերտ” ազատ մակերեւոյթի եւ “դիէլեկտրական շերտ-կիսահաղորդիչ” բաժանման մակերեւոյթի ազդեցությունը ձայնային ֆոնոնային մոդերի ձեւավորման վրա ջերմաստիճանային տարբեր տիրույթներում՝ ուսումնասիրվել է ինվերսային շերտում քվազիերկչափ էլեկտրոնի ցրման արագությունը եւ շարժունությունը ձայնային ֆոնոնային մոդերի վրա ցրման դեպքում:
2. Կինետիկ գործակիցների հաշվարկման էներգիական կորուստների մեթոդը զարգացվել է քվազիերկչափ էլեկտրոնային գազով կիսահաղորդչային նանոկառուցվածքների համար եւ հաշվարկվել է էլեկտրոնի շարժունությունը կուլոնյան խառնուկների եւ միջավայրերի բաժանման սահմանների մակերեւոյթային անհարթությունների վրա ցրման դեպքում:
3. Առաջին անգամ տարբեր առաձգական հաստատուններով “շերտ-կիսատարածություն” հոծ միջավայրի մոդելի շրջանակներում ուսումնասիրվել է քվազիերկչափ տաք էլեկտրոնային համակարգի էներգիական ռելաքսացիան ձայնային ֆոնոնների վրա ցրման դեպքում:
4. Ֆոնոնային սահմանափակման երեւոյթի հաշվառմամբ հաշվարկվել է քվազիմիաչափ տաք էլեկտրոնային համակարգի էներգիական ռելաքսացիան բեւեռային օպտիկական ֆոնոնների վրա ցրման դեպքում:

5. Առաջարկվել է կիսահաղորդչային քվանտային կետերով կառուցվածքներում եռաչափ արգելքի տիրույթում ֆոտոգեներացված էլեկտրոնների ռելաքսացիայի ընթացուղի՝ նախ բեռնային օպտիկական ֆոնոնների առաքմամբ քվանտային կետի գրգռված մակարդակում էլեկտրոնի կալանման եւ ապա՝ էլեկտրոն-էլեկտրոն Օժե-ցրման միջոցով:
6. Խոտորումների տեսության օգտագործմամբ մշակվել է տեսական նոր մեթոդ, որը հնարավորություն է տալիս Լի-Լոու-Փայնսի տեսության շրջանակներում քվազիմիաչափ պոլարոնի հիմնական բնութագրերում հաշվարկել եւ գնահատել էլեկտրոնի միջենթագոտիական անցումների ներդրումը:
7. Առաջին անգամ ֆոնոնային սահմանափակման երեւոյթի հաշվառմամբ ուսումնասիրվել են պոլարոնի սեփական էներգիան եւ արդյունաբար զանգվածը գլանային լարի առանցքով ուղղված մագնիսական դաշտի եւ առանցքին ուղղահայաց էլեկտրական դաշտի առկայությամբ:
8. Անվերջ խոր եւ վերջավոր խորությամբ պոտենցիալային փոսի մոդելների շրջանակներում ուսումնասիրվել են ջրածնանման խառնուկին կապված պոլարոնային վիճակները դիէլեկտրական շրջապատով բեռնային կիսահաղորդչային քվանտային լարում՝ լարի առանցքին ուղղահայաց էլեկտրական դաշտում:
9. Ֆոնոնային սահմանափակման երեւոյթի հաշվառմամբ ուսումնասիրվել են խառնուկային եւ էքսիտոնային պոլարոնային վիճակները գլանային քվանտային լարում: Առանձին-առանձին հաշվարկվել են սահմանափակված եւ մերձմակերեւութային ֆոնոնների ներդրումները կապի էներգիաներում:
10. Հետազոտվել են ջրածնանման խառնուկին կապված պոլարոնային վիճակները դիէլեկտրական շրջապատով բեռնային կիսահաղորդչային գլանային քվանտային կետում գլանի առանցքին ուղղահայաց էլեկտրական եւ առանցքով ուղղված մագնիսական դաշտերում:
11. Առաջին անգամ ֆոնոնային սահմանափակման երեւոյթի եւ էներգիական գոտու բարդ կառուցվածքի հաշվառմամբ ուսումնասիրվել են էլեկտրոնային, խոռոչային եւ էքսիտոնային պոլարոնային վիճակները կիսահաղորդչային գնդային քվանտային կետում :

ԳՈՐԾՆԱԿԱՆ ԱՐԺԵՔԸ

Ստացված արդյունքները կարելու է նշ միայն կիսահաղորդչային նանոկառուցվածքների ֆիզիկայի հիմնարար հարցերի ավելի խոր ընկալման, այլ նաեւ օպտոէլեկտրոնային սարքերի նախագծման եւ մշակման տեսանկյունից: Հիմնարար ֆիզիկայի առումով հատկապես արժեւորվում են կիսահաղորդչային նանոկառուցվածքներում կինետիկական գործակիցների հաշվարկման էներգիական կորուստների մեթոդի եւ պոլարոնային երեւոյթների ուսումնասիրման համար Լի-Լոու-Փայնսի եւ խոտորումների տեսությունների համատեղ

կիրառմամբ գործող մեթոդի մշակումները: Ստացված արդյունքները կարող են օգտագործվել առկա փորձարարական արդյունքների մեկնաբանման համար: Դրանք կարելի է կարելի է նաև քվանտային հետերոկառուցվածքների ֆիզիկական հատկությունների ուսումնասիրության նոր փորձարարական հետազոտություններում: Սարքային կիրառություններում լիցքակիրների շարժունության ուսումնասիրումը կարելի է դաշտային տրանզիստորների, հիշողության սարքերի, քիմիական եւ կենսաքիմիական սենսորների կատարելագործման տեսանկյունից, իսկ տաք լիցքակիրներով պայմանավորված ռելաքսային երեւոյթների հետազոտումը կարող է օգտագործվել ցածր չափայնությամբ էլեկտրոնային համակարգերով մեզոսկոպական կիսահաղորդչային սարքերի բնութագրերի բարելավման համար:

ՊԱՇՏՊԱՆՈՒԹՅԱՆ ՆԵՐԿԱՅԱՑՎՈՂ ՀԻՄՆԱԿԱՆ ԴՐՈՒՅԹՆԵՐԸ

1. Տարբեր առաձգական հաստատուններով “շերտ-կիսատարածություն” հոծ միջավայրի մոդելը հնարավորություն է տալիս հաշվառելու “վակուում-դիէլեկտրական շերտ” ազատ մակերեւոյթի եւ “դիէլեկտրական շերտ-կիսահաղորդիչ” բաժանման մակերեւոյթի ազդեցությունը ձայնային ֆոնոնային մոդերի ձեւավորման վրա: Այս մոդելի շրջանակներում էլեկտրոն-ձայնային ֆոնոն փոխազդեցության դիտարկումն էականորեն փոխում է ինվերսային շերտում քվազիերկչափ էլեկտրոնի միջին իմպուլսի ռելաքսացիայի եւ շարժունության արժեքները, հանգեցնելով տեսության եւ հայտնի փորձարարական արդյունքների լավագույն համընկնման:
2. Կինետիկ գործակիցների որոշման էներգիական կորուստների համապարփակ մեթոդը կարելի է օգտագործել քվանտային թաղանթով եռաշերտ կառուցվածքների կինետիկ գործակիցների հաշվարկման համար, միաժամանակ հաշվի առնելով էլեկտրոնների կուլոնյան եւ փոխանակային կոռելյացիան, դինամիկ էկրանավորումը եւ պլազմային երեւոյթները, ինչպես նաև կիսահաղորդչի իրական գոտիական կառուցվածքը եւ արտաքին դաշտերի ազդեցությունը: Այս մեթոդի կիրառմամբ քվազիերկչափ էլեկտրոնի շարժունության հաշվարկը եւ դրա ջերմաստիճանային կախման ուսումնասիրումը բացահայտում են փորձարարական տվյալների հետ բավարար համընկնում:
3. Բեւեռային դիէլեկտրական միջավայրում տեղակայված գլանային քվանտային լարում բեւեռային օպտիկական ֆոնոնների վրա քվազիմիաչափ էլեկտրոնի ցրման արագության եւ շարժունության հաշվարկներում անհրաժեշտ է սահմանափակված եւ մերձմակերեւոյթային բեւեռային օպտիկական ֆոնոնային մոդերի հաշվառումը:
4. “Դիէլեկտրական շերտ-ծավալային կիսահաղորդիչ” համակարգում ձայնային ֆոնոնային մոդերի առանձնահատկությունները հանգեցնում են ինվերսային շերտերում քվազիերկչափ տաք էլեկտրոնների էներգիայի ռելաքսացիայի արագության զգալի փոփոխության:
5. Բեւեռային կիսահաղորդչային գլանային քվանտային լարում բեւեռային օպտիկական եւ ձայնային ֆոնոնային մոդերի սահմանափակման երեւոյթի եւ տաք ֆոնոնային

համակարգի առաջացման հաշվառումը հանգեցնում են քվազիմիաչափ էլեկտրոնի էներգիական ռելաքսացիայի արագության նվազման:

6. Յածր ջերմաստիճանների տիրույթում ազատ կայանած գլանային քվանտային լարում քվազիմիաչափ տաք լիցքակիրների համակարգի էներգիական կորուստների միջին արագության փորձարարական տվյալների հետ տեսական արդյունքների բավարար համընկնման համար անհրաժեշտ է ֆոնոնային սահմանափակման երեւոյթի հաշվառումը:
7. Գնդային կոլիդային կիսահաղորդչային քվանտային կետերով կառուցվածքներում եռաչափ արգելքի տիրույթում ֆոտոգեներացված էլեկտրոնների ներգոտիական ռելաքսացիան կարող է ընթանալ նախ՝ բեւեռային օպտիկական ֆոնոնների առաքման հետեւանքով քվանտային կետի գրգռված մակարդակում էլեկտրոնի կալանման եւ ապա՝ էլեկտրոն-էլեկտրոն Օժե-ցրման ընթացուղիով:
8. Քվազիմիաչափ պոլարոնի հիմնական բնութագրերի հաշվարկման համար զարգացվել է Լի-Լոու-Փայնսի եւ խոտորումների տեսությունների համատեղ կիրառման վրա հիմնված նոր տեսություն էլեկտրական եւ մագնիսական դաշտերում միջենթագոտիական անցումների հաշվառմամբ բեւեռային կիսահաղորդչային քվանտային լարում:
9. Բեւեռային կիսահաղորդչային քվանտային լարում քվազիմիաչափ պոլարոնի հիմնական բնութագրերի ձեւավորման մեջ որոշիչ դեր ունեն ոչ թե տարածական, շտարկյան եւ մագնիսական դաշտով պայմանավորված առանձին սահմանափակումները, այլ այն արդյունարար սահմանափակումը, որը հաստատվում է նշված գործոնների մրցակցությամբ:
10. Ֆոնոնային սահմանափակման երեւոյթի հաշվառմամբ բեւեռային օպտիկական ֆոնոնային մոդերի հետ էլեկտրոնի փոխազդեցությունը պոլարոնային հիմնական բնութագրերում հանդես է գալիս որպես սահմանափակված եւ մերձմակերեւութային ֆոնոնային մոդերի ներդրումների գումար, հնարավորություն ընձեռելով պոլարոնի հետ միաժամանակ որպես առանձին քվազիմասնիկներ դիտարկելու սահմանափակված պոլարոնը եւ մերձմակերեւութային պոլարոնը:
11. Քվանտային լարում էլեկտրոնի շտարկյան տեղայնացումը հանգեցնում է ֆոնոնային համակարգի հետ նրա ավելի արդյունավետ փոխազդեցության, մեծացնելով ջրածնանման խառնուկին կապված պոլարոնի կապի էներգիայում պոլարոնային շեղումները:
12. Էլեկտրոն-բեւեռային օպտիկական ֆոնոն փոխազդեցությունը մեծացնում է հիմնական վիճակից $2p_y$ - , $2p_z$ - եւ $2s$ -անման գրգռված վիճակներ անցման էներգիաները, ընդ որում, այդ փոխազդեցության ներդրումն ավելի էական է ուժեղ էլեկտրական դաշտում:
13. Ջրածնանման խառնուկի կապի էներգիայի պոլարոնային շեղման մեծությունը որոշում են ոչ թե առանձին կուլոնյան, տարածական, շտարկյան եւ մագնիսական սահմանափակումները, այլ դրանց մրցակցությամբ հաստատված արդյունարար սահմանափակումը:

14. Կիսահաղորդչային գնդային քվանտային կետում տարածական սահմանափակման ազդեցությունը ֆոնոնային սպեկտրի վրա հանգեցնում է էլեկտրոնի, խոռոչի եւ էքսիտոնի էներգիաների պոլարոնային շեղումների էական մեծացման, ընդ որում արժեքական գոտու բարդ կառուցվածքի հաշվառմամբ այդ քվազիմասնիկների էներգիաների պոլարոնային շեղումները մեծանում են քվանտային կետի շառավղին հակադարձ համեմատական:
15. Արժեքական գոտու բարդ կառուցվածքի հաշվառման դեպքում էլեկտրոնի եւ խոռոչի էներգիաների պոլարոնային շեղումների փոխադարձ համակշռման հետեւանքով քվանտային կետում էքսիտոնի էներգիայի պոլարոնային շեղումը կարգով փոքր է էլեկտրոնի եւ խոռոչի էներգիաների պոլարոնային շեղումներից: Վերջինս արժեքական գոտու այլասերման անտեսման դեպքում չի դրսևորվում:

ԱՇԽԱՏԱՆՔԻ ՓՈՐՉԱՀԱՎԱՆՈՒԹՅՈՒՆԸ

Ատենախոսության հիմնական արդյունքները քննարկվել են Երևանի պետական համալսարանի պինդ մարմնի ֆիզիկայի ամբիոնի եւ Ռուս-հայկական (սլավոնական) համալսարանի ընդհանուր եւ տեսական ֆիզիկայի ամբիոնի սեմինարներում եւ զեկուցվել “Surface Waves in Solids and Layered Structures” II միջազգային սիմպոզիումում (Varna, Bulgaria, 1989), “Shallow-Level Centers in Semiconductors” միջազգային գիտաժողովում (Montpellier, France, 1998), “Extended Defects in Semiconductors” միջազգային գիտաժողովում (Bologna, Italy, 2002), “College on Physics of Nano-Devices” միջազգային գիտաժողովում (ICTP, Trieste, Italy, 2006), “Electronic Properties of Two-dimensional Systems and Modulated Semiconductor Structures” միջազգային գիտաժողովներում (EP2DS-17, Genova, Italy, 2007; EP2DS-18, Kobe, Japan, 2009), ինչպես նաեւ Հայաստանի Հանրապետությունում անցկացված միջազգային եւ հանրապետական գիտաժողովներում՝ “New Technologies for development of heterosemiconductors for device applications” (Yerevan, 2006), “Optics and its Applications” (Yerevan, 2011), “Semiconductor Micro- and Nanoelectronics” (Դիլիջան, 1997; Դիլիջան, 1999; Սեւան, 2001; Աղվերան, 2005; Երեւան, 2011), “Laser Physics” (Աշտարակ, 2004; Աշտարակ, 2005; Աշտարակ, 2006):

ՀՐԱՊԱՐԱԿՈՒՄՆԵՐԸ

Ատենախոսության հիմնական արդյունքները տպագրված են 47 հոդվածում, որոնց ցուցակը ներկայացված է սեղմագրի վերջում:

ԱՇԽԱՏԱՆՔԻ ԿԱՌՈՒՅՎԱԾՔԸ

Ատենախոսությունը բաղկացած է ներածությունից, երեք մասից (յոթ գլուխ), եզրակացությունից, հապավումների եւ գրականության ցուցակներից: Յուրաքանչյուր գլուխ սկսվում է այդ գլխում քննարկվող հարցերին վերաբերող գրականության համառոտ ակնարկով:

Ատենախոսության ծավալը 281 էջ է, այն պարունակում է 73 նկար, 6 աղյուսակ եւ գրականության ցանկ՝ 399 հղումով:

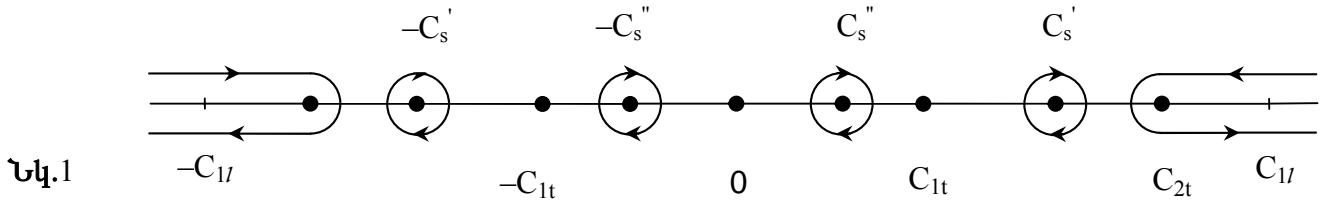
ԱՇԽԱՏԱՆՔԻ ԲՈՎԱՆԴԱԿՈՒԹՅՈՒՆԸ

Ատենախոսության առաջին մասը նվիրված է ցրման տարբեր մեխանիզմների դեպքում քվազիերկչափ եւ քվազիմիաչափ էլեկտրոնի շարժունության հաշվարկին: **Առաջին գլխի §1.1.**-ում ներկայացված են ինվերսային շերտում քվազիերկչափ էլեկտրոնների ցրման հիմնական մեխանիզմները՝ ցրում ֆոնոնների, լիցքավորված խառնուկների, բաժանման սահմանների մակերեսությանին անհարթությունների եւ համաձուլվածքային անկարգավորվածությունների վրա: Չայնային ֆոնոնների առանձնահատկությունները դիէլեկտրական շերտով կիսանվերջ համասեռ կիսահաղորդչում կոնտինուումային մոտավորությամբ ներկայացված են **§1.2.**-ում: Օգտագործելով ինվերսային շերտի համար Բոռնի մոտավորությամբ եւ դեֆորմացիոն պոտենցիալի շրջանակներում էլեկտրոն-ֆոնոնային փոխազդեցության դեպքում անցման հավանականության արտահայտությունը (**§1.3.**), **§1.4.**-ում քվազիերկչափ լիցքակրի իմպուլսի ռելաքսացիայի միջին ժամանակի համար ստացվել է ընդհանուր բանաձեւ՝

$$\frac{1}{\tau} = \frac{\kappa^2 g (k_B T)^{-1}}{16\pi^2 \rho_2 n_s} \int_0^\infty d\varepsilon \int_{\Gamma_{P-SV}} \frac{dc}{c^2} \left[\int \frac{q^3 (\varepsilon_q - \hbar cq) N_{qc} [J_1(q, c) + J_2(q, c)]}{\sqrt{4\varepsilon\varepsilon_q - (\varepsilon_q - \hbar cq)^2}} [1 - f(\varepsilon + \hbar cq)] dq + \right. \\ \left. + \int \frac{q^3 (\varepsilon_q + \hbar cq) (N_{qc} + 1)}{\sqrt{4\varepsilon\varepsilon_q - (\varepsilon_q + \hbar cq)^2}} [J_1(q, c) + J_2(q, c)] [1 - f(\varepsilon - \hbar cq)] dq \right] f(\varepsilon) \quad , \quad (1)$$

որտեղ ըստ q -ի ինտեգրման տիրույթները որոշվում են ենթաարմատային արտահայտությունների դրական լինելու պայմանից, κ -ն դեֆորմային պոտենցիալի հաստատունն է, f -ը՝ Ֆերմի-Դիրակի բաշխման ֆունկցիան, $\varepsilon_q = \hbar^2 q^2 / 2m$, g -ն՝ երկչափ վիճակների խտությունը, n_s -ը՝ էլեկտրոնների մակերեսությանին կոնցենտրացիան, ρ_2 -ը՝ կիսահաղորդչի խտությունը, m -ը՝ էլեկտրոնի զանգվածը, $J_1(q, c)$ -ը պայմանավորված է ծավալային ֆոնոնների հետ երկչափ լիցքակիրների փոխազդեցությամբ, իսկ $J_2(q, c)$ -ը՝ “վակուում-դիէլեկտրական շերտ”, “դիէլեկտրական շերտ-կիսահաղորդիչ” բաժանման սահմանների առկայությամբ: Γ_{P-SV} կոնտուրը պատկերված է **Նկ.1**-ում:

Չայնային ֆոնոնների հետ քվազիերկչափ լիցքակիրների փոխազդեցության կինեմատիկայի հիմնական օրինաչափությունների ուսումնասիրումը [29] հնարավորություն է տալիս ջերմաստիճանային երեք տարբեր տիրույթներում գնահատելու միջավայրերի բաժանման սահմանների ներդրումը τ -ի մեջ: Մասնավորապես ցույց է տրվել, որ փոքրանկյունային ցրման տիրույթում այդ ներդրման հաշվառումը վերացնում է փորձի եւ տեսության արդ-



յունքների միջեւ հայտնի անհամաձայնությունը [30]: §1.5.-ում քվազիէրկչափ էլէկտրոնային համակարգերի կինետիկական բնութագրերի հաշվարկման համար մեր զարգացրած էներգիական կորուստների մեթոդի [31] կիրառմամբ հաշվարկվել է էլէկտրոնի շարժունությունը լիցքավորված խառնուկների, բաժանման սահմանների մակերեւութային անհարթությունների եւ համաձուլվածքային անկարգավորվածությունների վրա ցրման դեպքում: Մասնավորապես, L միջին հաստությամբ քվանտային թաղանթի մակերեւութային անհարթությունների վրա ցրման դեպքում էլէկտրոնի շարժունության համար ստացվել է հետեւյալ բանաձեւը՝

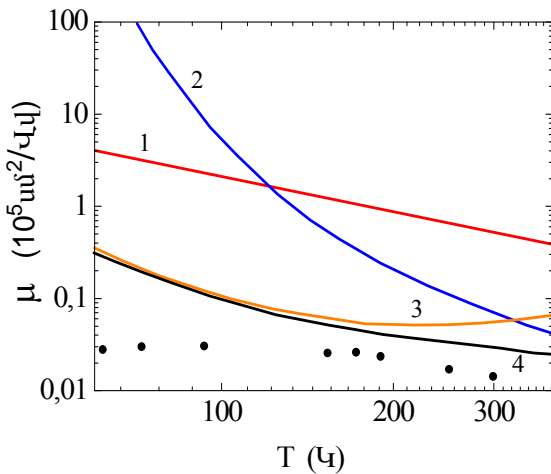
$$\mu_{IR} = \frac{eL^6}{4\pi^{9/2}\hbar\Delta^2\lambda^2} \left[\int_0^1 \frac{x^4 \exp[-x^2(1+k_T^2\lambda^2)] dx}{[x + p_0 A_0 (2k_T Lx)]^2} \right]^{-1}, \quad (2)$$

որտեղ Δ -ն հաստության շեղման միջին արժեքն է, λ -ն՝ այդ շեղման միջին երկայնական չափը, իսկ k_T -ն, p_0 -ն եւ A_0 -ն հայտնի արտահայտություններ են: (2) բանաձեւը Մ. Դրեմելի եւ համահեղինակների կողմից ավելի ուշ օգտագործվել է ստացված փորձարարական արդյունքները մեկնաբանելու համար [32]: Նկ.2-ում փորձի տվյալների հետ [33] ներկայացված են էլէկտրոնի վերոնշյալ ցրումների դեպքում հաշվարկված շարժունության ջերմաստիճանային կախման արդյունքները, ինչպես նաեւ լրիվ շարժունությունն ըստ

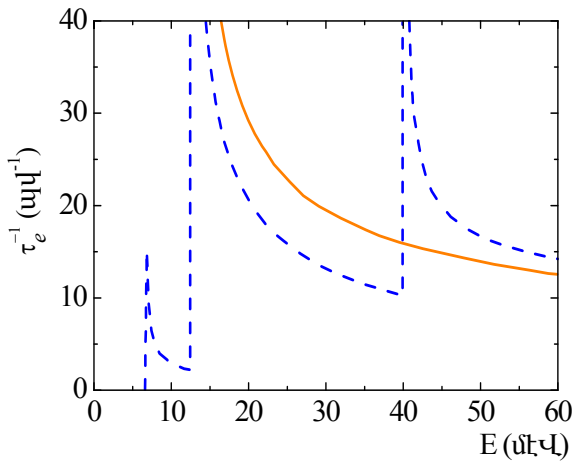
Մատիսենի կանոնի՝ $\mu_{tot}^{-1} = \mu_{ac}^{-1} + \mu_{po}^{-1} + \mu_{IR}^{-1}$:

Ինչպես տեսնում ենք, ցրումը մակերեւութային անհարթությունների վրա հիմնական մեխանիզմներից մեկն է ջերմաստիճանային լայն տիրություն՝ ընդհուպ մինչեւ սենյակային ջերմաստիճաններ:

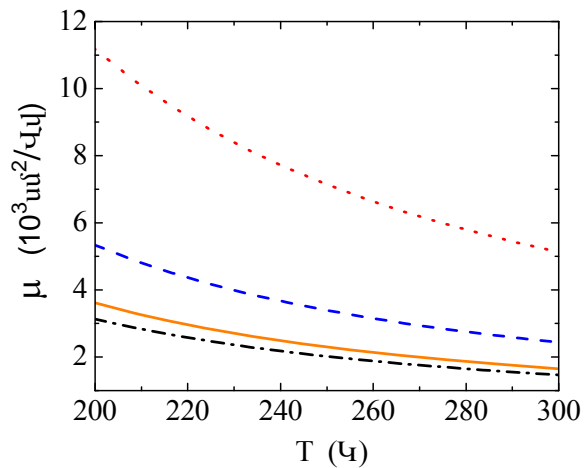
Ատենախոսության երկրորդ գլուխը նվիրված է կիսահաղորդչային քվանտային լարում ֆոնոնային սահմանափակման երեւոյթի հաշվառմամբ բեւեռային օպտիկական ֆոնոնների վրա էլէկտրոնի ցրման եւ շարժունության հաշվարկին: §2.1.-ում ներկայացված են բեւեռային օպտիկական տատանումների առանձնահատկությունները կիսահաղորդչային քվանտային լարում: §2.2.-ում հաշվարկվել է կիսահաղորդչային քվանտային լարում սահմանափակ-



Նկ.2 Քվանտային փոսում μ -ի կախումը T -ից ձայնային ֆոնոնների (1), օպտիկական ֆոնոնների (2), մակերեւութային անհարթությունների (3) վրա ցրման դեպքում: (4) կորով ներկայացված է $\mu_{tot}^{-1} = \mu_{ac}^{-1} + \mu_{po}^{-1} + \mu_{IR}^{-1}$, իսկ կետերով՝ փորձարարական տվյալները:



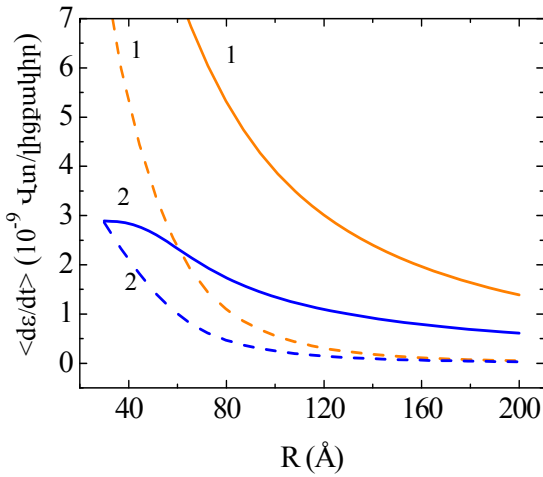
Նկ.3. Բեւեռային օպտիկական ֆոնոնների վրա ցրման արագության կախումն էլեկտրոնի էներգիայից ներենթագոտիական ցրման դեպքում՝ ֆոնոնային սահմանափակման երեւոյթի հաշվառմամբ (զծիկային կոր) եւ դրա անտեսմամբ (հոծ կոր) ($R = 50 \text{ \AA}$, $T = 300 \text{ Կ}$):



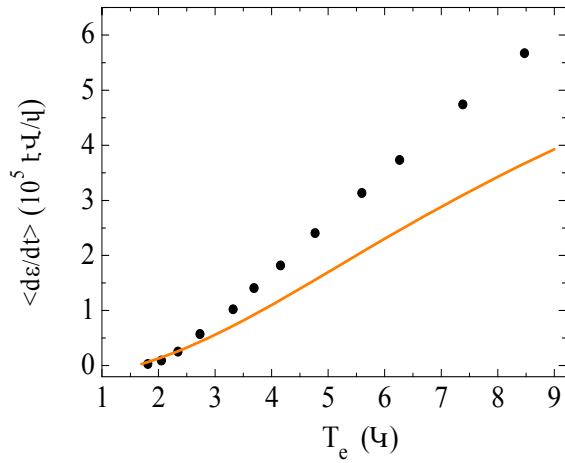
Նկ.4 μ -ի կախումը T -ից $\text{Cd}_{0,35}\text{Zn}_{0,65}\text{Se}$ ԿԶԼ-ում ($R=30 \text{ \AA}$, $N=5 \cdot 10^5 \text{ cm}^{-1}$): Կետային (զծիկային) կորերը ներկայացնում են մերձ-մակերեւութային (սահմանափակված) ֆոնոններով, իսկ հոծ (կետ-զծիկային) կորերը՝ արդյունաբար (ծավալային ֆոնոններով որոշվող) շարժունությունը:

ված բեւեռային օպտիկական ֆոնոնների վրա էլեկտրոնի ցրման արագությունը: §2.3.-ում այդ հաշվարկը կատարվել է մերձակերեւութային բեւեռային օպտիկական ֆոնոնների վրա էլեկտրոնի ցրման դեպքում: Նկ.3-ում ներկայացված է ներենթագոտիական ցրման արագության կախումն էլեկտրոնի էներգիայից ինչպես ֆոնոնային սահմանափակման երեւոյթի հաշվառմամբ, այնպես էլ դրա անտեսմամբ [34]: Ակնհայտ է, որ E -ի փոքր արժեքների դեպքում առկա է էլեկտրոնի ցրման արագության արմատական փոփոխություն՝ կախված էներգիայից: Դա պայմանավորված է սահմանափակման երեւոյթի ազդեցությամբ՝ կապված լարի շառավղի փոքր արժեքների տիրույթում ֆոնոնի էներգիայի էական փոփոխության հետ: §2.4.-ում հաշվարկվել է էլեկտրոնի շարժունությունը գլանային կիսահաղորդչային քվանտային լարում բեւեռային օպտիկական ֆոնոնների վրա ցրման դեպքում: Նկ.4-ում ներկայացված արդյունքների համաձայն՝ ջերմաստիճանի փոփոխության ամբողջ տիրույթում ֆոնոնային սպեկտրի վրա նմուշի սահմանափակության ազդեցության հաշվառումը հանգեցնում է էլեկտրոնի շարժունության՝ ծավալային ֆոնոններին համապատասխանող արժեքների համեմատությամբ, աճի [34]: Մասնավորապես, երբ ջերմաստիճանն աճում է 200Կ-ից մինչեւ 300Կ, շարժունության աճը կազմում է 22-27%:

Ատենախոսության երկրորդ մասում ուսումնասիրվել է տաք լիցքակիրների էներգիական ռելաքսացիան ցածր չափայնությամբ էլեկտրոնային համակարգերով կիսահաղորդչային նանոկառուցվածքներում: **Երրորդ գլուխը** նվիրված է ֆոնոնային սահմանափակման երեւոյթի հաշվառմամբ քվազիերկչափ եւ քվազիմիաչափ էլեկտրոնի էներգիական ռելաքսացիայի ուսումնասիրմանը: §3.1.-ում ներկայացված են կիսահաղորդչային նանոկառուցվածքներում տաք լիցքակիրների համակարգի հիմնական բնութագրերը եւ դրանց միջեւ կապը: §3.2.-ում ֆոնոնային սահմանափակման երեւոյթի հաշվառմամբ ուսումնասիրվել է



Նկ.5 $\langle d\varepsilon/dt \rangle$ -ի կախումը R -ից Cd_{0.35}Zn_{0.65}Se լարում: Հոծ (զծիկային) կորերը վերաբերում են սահմանափակված (մերձմակերեսային) ֆոնոնների վրա ցրմանը: 1 կորերը վերաբերում են տաք ֆոնոնային երեսույթի անտեսման, իսկ 2 կորերը՝ այդ երեսույթի հաշվառման դեպքերին:

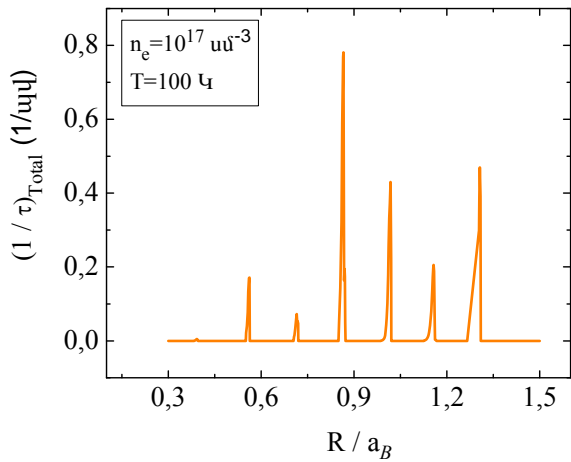


Նկ.6 $\langle d\varepsilon/dt \rangle$ -ի կախումը T_e -ից ազատ կայանած In_{0.53}Ga_{0.47}As ԿՔԼ-ում: Հոծ կորը վերաբերում են մեր ստացած տեսական, իսկ հոծ կետերը՝ փորձարարական տվյալներին [35]:

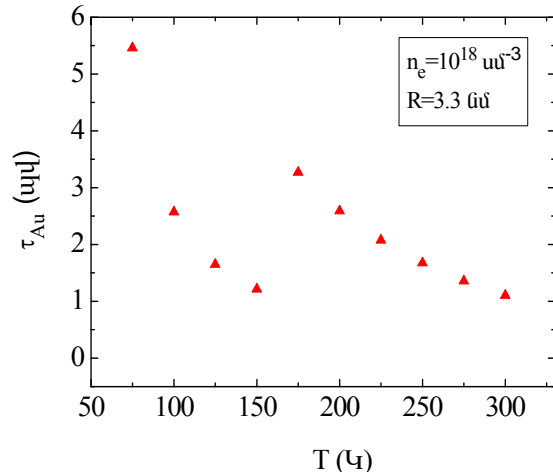
քվազիերկչափ տաք էլեկտրոնների էներգիայի ռելաքսացիան ինվերսային շերտում՝ պայմանավորված ձայնային ֆոնոնների հետ էլեկտրոնների փոխազդեցությամբ: Ձայնային ֆոնոնային մոդերը հաշվարկվել են “շերտ-կիսատարածություն” մոդելի շրջանակներում, եւ տաք լիցքակիրների համակարգի էներգիական կորուստների միջին արագության համար ստացվել է ընդհանուր բանաձեւ՝

$$\begin{aligned} \left\langle \frac{d\varepsilon}{dt} \right\rangle = & \frac{\kappa^2 \hbar g}{8\pi^2 n_s \rho_2} \int_0^\infty d\varepsilon \int_{\Gamma_{P-SV}} \frac{dc}{c} \left[\int \frac{q^4 [\exp(\beta - \beta_e) \hbar c q - 1] N_{qc} J(q, c) [1 - f_{T_e}(\varepsilon + \hbar c q)] dq - \right. \\ & \left. - \int \frac{q^4 [\exp(\beta_e - \beta) \hbar c q - 1] (N_{qc} + 1) J(q, c) [1 - f_{T_e}(\varepsilon - \hbar c q)] dq}{\sqrt{4\varepsilon\varepsilon_q - (\varepsilon_q + \hbar c q)^2}} \right] f_{T_e}(\varepsilon), \end{aligned} \quad (3)$$

որտեղ $J(q, c) = J_1(q, c) + J_2(q, c)$, T_e -ն էլեկտրոնային ջերմաստիճանն է, f_{T_e} -ն՝ Ֆերմի-Դիրակի բաշխման ֆունկցիան T_e ջերմաստիճանում, $\beta = 1/k_B T$, $\beta_e = 1/k_B T_e$: Ինչպես եւ քվազիերկչափ լիցքակրի իմպուլսի ռելաքսացիայի միջին ժամանակը հաշվարկելիս, երեք տարբեր ջերմաստիճանային տիրույթներում գնահատել է միջավայրերի բաժանման սահմանների ներդրումը: Մասնավորապես, ցույց է տրվել, որ ցրման մասնակի առաձգականության տիրույթում Si-ի եւ SiO₂-ի բնութագրական արժեքների դեպքում միջավայրերի բաժանման սահմանների ներդրման հաշվառումը հանգեցնում է էներգիական կորուստների արագության նվազման շուրջ 25 %-ով, որը, ինչպես եւ τ^{-1} -ի դեպքում, պայմանավորված է SiO₂ տիրույթում



ՆԿ.7 էլեկտրոնի կալանման արագության կախումը CdSe ԿԶԿ-ի շառավիղից ինչպես սահմանափակված, այնպես էլ մերձակերելության ֆոնոնների վրա ցրվելիս:



ՆԿ.8 CdSe կողիդային ԿԶԿ-ում էլեկտրոնի Օժե-ռելաքսացիայի ժամանակի կախումն էլեկտրոնային ջերմաստիճանից, $R = 3.3$ նմ, $n_e = 10^{18}$ սմ⁻³ :

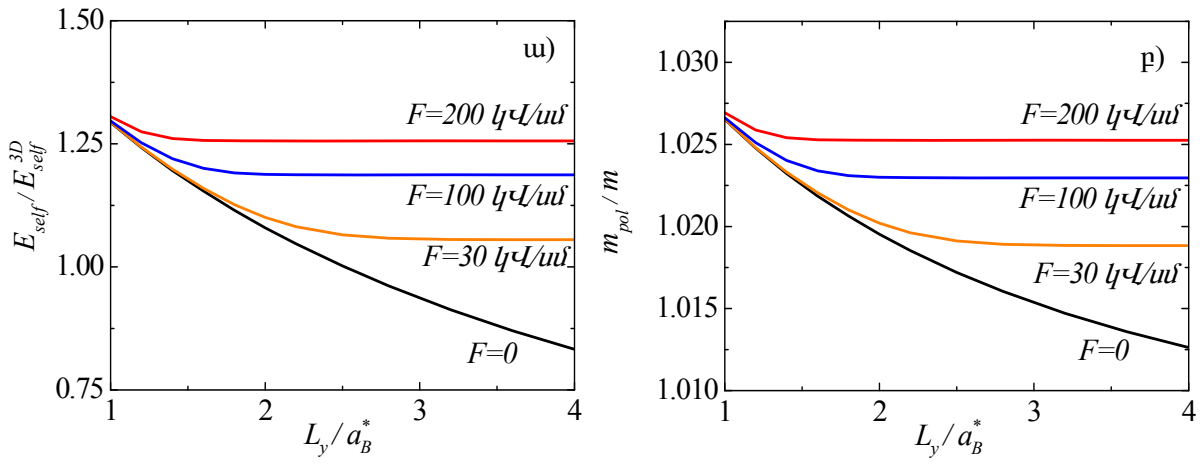
քվազիերկչափ լիցքակիրների հետ փոխազդող ալիքների լայնության փոքրացմամբ [35]: §3.3.-ում ուսումնասիրվել է քվազիմիաչափ էլեկտրոնի էներգիական ռելաքսացիան սահմանափակված եւ մերձակերելության բեռնային օպտիկական ֆոնոնների վրա ցրման դեպքում, եւ էլեկտրոնների էներգիական կորուստների արագության կախումը համակարգի պարամետրերից (լարի շառավիղ, էլեկտրոնների կոնցենտրացիա, էլեկտրոնային ջերմաստիճան) ներկայացված է §3.4.-ում: Մասնավորապես, ՆԿ.5-ում պատկերված է տաք ֆոնոնային համակարգի գոյության անտեսմամբ եւ այդ համակարգի առկայության հաշվառմամբ էլեկտրոնի էներգիական կորուստների արագության կախումը քվանտային լարի շառավիղից: Թվային հաշվարկը ցույց է տալիս, որ տաք ֆոնոնային երելության հաշվառմամբ էներգիական կորուստների արդյունարար արագության հարաբերությունն այդ մեծությանը՝ հաշվարկված վերոնշյալ երելության անտեսմամբ, նվազում է 22,5%-ով, երբ $Cd_{0.35}Zn_{0.65}Se$ լարի շառավիղը $R = 30 \text{ \AA}$ -ից մեծացվում է մինչեւ $R = 200 \text{ \AA}$: §3.5.-ում ներկայացված են սահմանափակված ձայնային ֆոնոնային մոդերի դիսպերսային առանձնահատկություններն ազատ կայանած գլանային քվանտային լարում: Քվազիմիաչափ էլեկտրոնի էներգիական ռելաքսացիան սահմանափակված ձայնային ֆոնոնների վրա ցրման դեպքում ուսումնասիրվել է §3.6.-ում: Այդ պրոցեսում քվազիմիաչափ տաք լիցքակիրների համակարգում մեկ էլեկտրոնին բաժին ընկնող էներգիական կորուստների միջին արագությունը՝ կախված T_e էլեկտրոնային ջերմաստիճանից, պատկերված է ՆԿ.6-ում: Ինչպես եւ սպասվում էր, այդ արագությունն էլեկտրոնային ջերմաստիճանի բարձրացման հետ աճում է: Այդ նկարում ներկայացված է մեր տեսական արդյունքի եւ S. Սուգայայի ու համահեղինակների [36]՝ 25նմ շառավիղով InGaAs լարի համար ստացած փորձարարական արդյունքների համեմատությունը, երբ $T_L = 1.6$ Կ, իսկ $n_L = 3 \cdot 10^5$ սմ⁻¹: Ինչպես տեսնում ենք, ցածր էլեկտրոնային

ջերմաստիճաններում ($T_e < 4\text{ Կ}$) առկա է փորձի արդյունքների հետ լավ համընկնում, սակայն այդ ջերմաստիճանի հետագա բարձրացումը (մինչեւ 8.5 Կ), տեսական եւ փորձնական արդյունքների միջեւ ի հայտ է բերում թույլ տարամիտում: Այդ տարամիտումը կարող է պայմանավորված լինել ինչպես պիեզոճայնային եւ բեւեռային օպտիկական ֆոնոնների վրա ցրման, այնպես էլ միջենթագոտիական անցումների անտեսմամբ:

Ատենախոսության **չորրորդ գլուխը** նվիրված է գնդային կոլոիդային ԿԶԿ-երով կառուցվածքում եռաչափ արգելքի տիրույթում ֆոտոգեներացված էլեկտրոնների ներկետային ռելաքսացիայի ուսումնասիրմանը, հաշվի առնելով տարածական սահմանափակման ազդեցությունը բեւեռային օպտիկական ֆոնոնային սպեկտրի վրա: **§4.1.-**ում ներկայացված են կիսահաղորդչային քվանտային կետերում էլեկտրոնի էներգիական ռելաքսացիայի հիմնական մեխանիզմները: Թրջող շերտ չունեցող քվանտային կետերում էլեկտրոնների էներգիական ռելաքսացիայի վերաբերյալ փորձարարական արդյունքների [37] մեկնաբանման նպատակով ուսումնասիրվել է քվանտային կետի եռաչափ արգելքի տիրույթում ֆոտոգեներացված էլեկտրոնների ռելաքսացիայի այնպիսի ընթացուղի, որը ենթադրում է նախ սահմանափակված կամ մերձակերելության բեւեռային օպտիկական ֆոնոնի առաքմամբ էլեկտրոնի կալանում քվանտային կետի որեւէ գրգռված մակարդակում եւ ապա Օժե-ցրման հետեւանքով անցում քվանտային կետի հիմնական մակարդակ: Քվանտային կետի գրգռված մակարդակում էլեկտրոնի կալանումն ուսումնասիրվել է **§4.2.-**ում: **Նկ.7-**ում պատկերված է CdSe կոլոիդային ԿԶԿ-ում էլեկտրոնի կալանման արագության կախումը ԿԶԿ-ի շառավղից, երբ էլեկտրոնային ջերմաստիճանը՝ $T_e = 100\text{ Կ}$: Ինչպես տեսնում ենք, առաջանում են եռաչափ արգելքային կոնտինուումից ԿԶԿ-ի գրգռված մակարդակ էլեկտրոնային անցումների հստակ արտահայտված պիկեր ինչպես սահմանափակված, այնպես էլ մերձակերելության ֆոնոնների վրա ցրվելիս: Պիկերը համապատասխանում են ԿԶԿ-ի այն գրգռված մակարդակներին, որոնց համար ուղեծրային քվանտային թիվն ընդունում է 1,2,3, 4,5, 6,7 արժեքները: **§4.3.-**ում հաշվարկվել է էլեկտրոնի ներենթագոտիական Օժե-ցրման արագությունը կոլոիդային քվանտային կետում: էլեկտրոնի նախ՝ կալանման եւ ապա՝ Օժե-ցրմամբ քվանտային կետի հիմնական մակարդակ անցման ժամանակի կախումն էլեկտրոնային ջերմաստիճանից պատկերված է **Նկ.8-**ում: Ակնհայտ է, որ էլեկտրոնային ջերմաստիճանի փոփոխման լայն տիրույթում Օժե-ցրման ժամանակը փոխվում է մի քանի ավ ընդգրկող տիրույթում, որը բավարար չափով համընկնում է փորձի արդյունքների հետ [37]:

Ատենախոսության **երրորդ մասը** նվիրված է բեւեռային կիսահաղորդչային նանոկառուցվածքներում պոլարոնային տարբեր վիճակների վրա ֆոնոնային սահմանափակման երեւոյթի եւ արտաքին դաշտերի ազդեցության ուսումնասիրմանը:

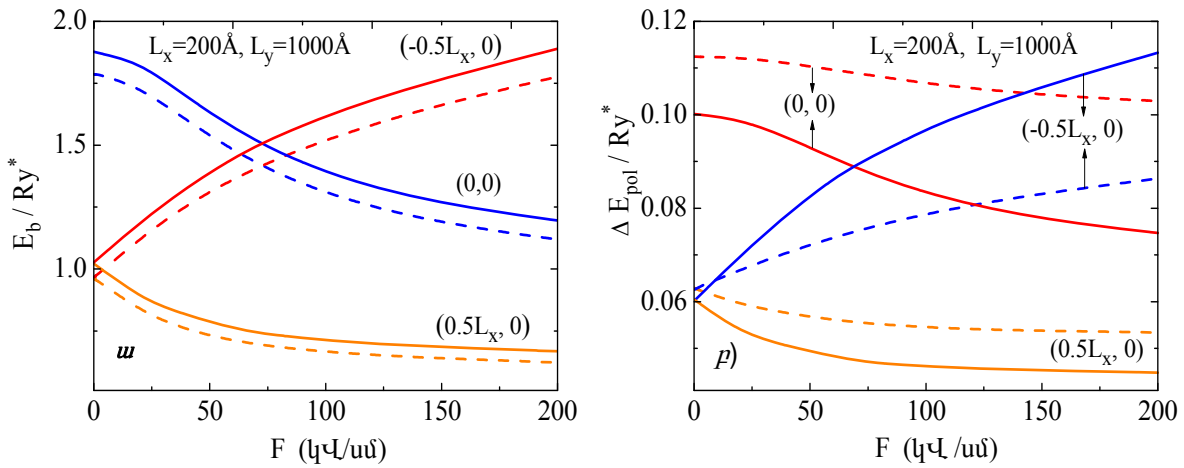
Ատենախոսության **հինգերորդ գլխում** ուսումնասիրված է բեւեռային կիսահաղորդչային ԿԶԼ-ով նանոկառուցվածքներում արտաքին էլեկտրական եւ մագնիսական դաշտերում էլեկտրոնային պոլարոնի հիմնական բնութագրերը՝ սեփական էներգիան, արդյունաբար զանգվածը եւ էլեկտրոնի շարժման ուղեկցող ֆոնոնների միջին թիվը ինչպես ֆոնոնային սահմանափակման երեւոյթի անտեսմամբ, այնպես էլ դրա հաշվառմամբ: **§5.1.-**ում



Նկ.9 Պոլարոնի սեփական էներգիայի (ա) և արդյունաբար զանգվածի (բ) կախումները Ly/a_B^* -ի հաստոթյունից:

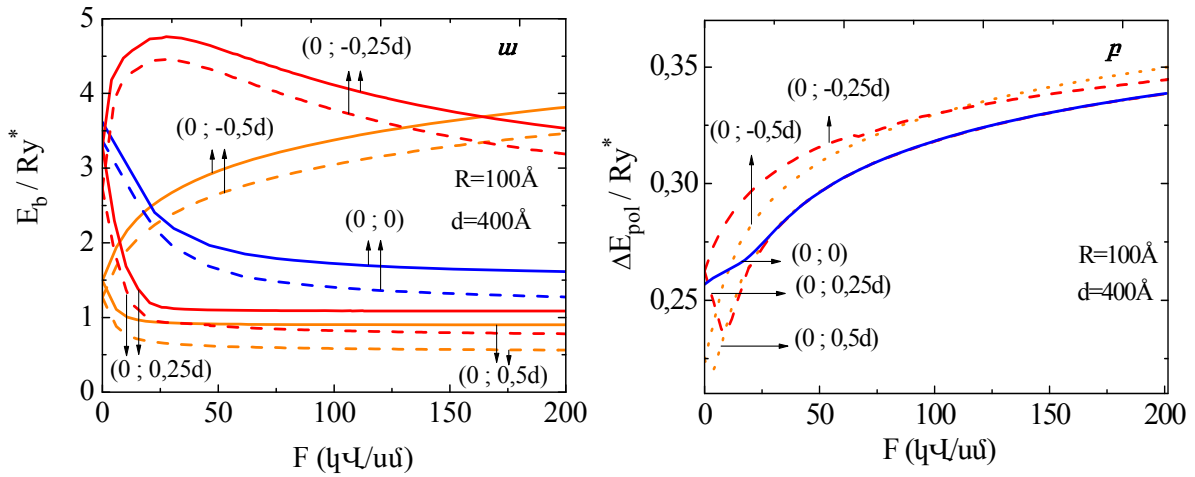
քննարկված են կիսահաղորդչային նանոկառուցվածքներում ազատ պոլարոնի վարքի ուսումնասիրման հիմնական արդյունքները: Էլեկտրական դաշտում քվազիմիաչափ պոլարոնի հիմնական բնութագրերը Լի-Լոու-Փայնսի տեսության շրջանակներում ներենթագոտիական էլեկտրոն-բՕ ֆոնոն փոխազդեցության մոտավորությամբ ուսումնասիրվել են §5.2.-ում: Օգտագործելով նաև խտտորումների տեսությունը, զարգացվել է մի մեթոդ (§5.3.), որը հնարավորություն է տալիս Լի-Լոու-Փայնսի տեսության շրջանակներում հաշվառելու էլեկտրոնի միջենթագոտիական ֆոնոնային ցրումների ներդրումը պոլարոնային հիմնական բնութագրերում: §5.4.-ում ուսումնասիրվել է քվազիմիաչափ պոլարոնի հիմնական բնութագրերի կախումը Ly/a_B^* -ի չափերից և էլեկտրական դաշտի լարվածությունից: Նկ.9-ում ներկայացված են էլեկտրական դաշտի լարվածության տարբեր արժեքների դեպքում պոլարոնի սեփական էներգիայի և արդյունաբար զանգվածի կախումները լարի L_x չափից: Նշենք, որ էլեկտրական դաշտը կիրառված է x ուղղությամբ: Թվային հաշվարկներն իրականացնելիս հաշվի են առնվել ոչ միայն էլեկտրոնի ներենթագոտիական ցրումներն էլեկտրոն-բՕֆ փոխազդեցության հետևանքով, այլ նաև անցումները հիմնական ենթագոտուց առաջին գրգռված ենթագոտիներ: Ինչպես տեսնում ենք, պոլարոնային հիմնական բնութագրերի կորերը դրսևորում են միաձուլման և հագեցման վարք, որոնք վկայում են, համապատասխանաբար, տարածաչափային և շտարկյան սահմանափակումների փոխադարձ գերակայությունների մասին: §5.5.-ում ֆոնոնային սահմանափակման երեւոյթի հաշվառմամբ ուսումնասիրվել է պոլարոնային հիմնական բնութագրերի վրա էլեկտրական և մագնիսական դաշտերի ազդեցությունը: Պոլարոնի հիմնական բնութագրերի համար ստացված վերլուծական արտահայտությունները ցույց են տալիս, որ սահմանափակված և մերձմակերեւութային օպտիկական ֆոնոնային ենթահամակարգերը պոլարոնի խնդրում անկախ են և, հետևաբար, կարող են դիտարկվել իրարից անջատ: Սահմանափակված և մերձմակերեւութային պոլարոնների հիմնական բնութագրերի կախումը զլանային քվանտային լարի շառավղից և արտաքին դաշտերի ուժգնությունից ուսումնասիրվել է §5.6.-ում:

Ատենախտության վեցերորդ գլուխը նվիրված է կիսահաղորդչային քվանտային լարում խառնուկային և էքսիտոնային պոլարոնային վիճակների ուսումնասիրմանը: §6.1.-ում



Նկ.10 Ջրածնանման խառնուկի կապի էներգիայի (*w*) և պոլարոնային շեղման (*p*) կախումներն էլեկտրական դաշտի լարվածությունից խառնուկի տարբեր դիրքերի դեպքում: (*w*) նկարում հոծ կորերը ստացվել են էլեկտրոն-ֆոնոն փոխազդեցության հաշվառմամբ, իսկ կետային կորերը՝ դրա անտեսմամբ: (*p*) նկարում հոծ կորերը ստացվել են վերջավոր, իսկ կետային կորերը՝ անվերջ խոր փոսի մոտավորությամբ:

ներկայացված են ջրածնանման խառնուկին կապված վիճակները կիսահաղորդչային քվանտային լարում: Էլեկտրոնային վիճակներն ուղղանկյուն հատույթով քվանտային լարում՝ արտաքին համասեռ էլեկտրական դաշտում վերջավոր ուղղանկյուն պոտենցիալային փոսի մոտավորությամբ ուսումնասիրվել են §6.2.-ում: §6.3.-ում Լանդաու-Պեկարի տեսության շրջանակներում լարի առանցքին ուղղահայաց էլեկտրական դաշտում ստացվել է վերլուծական արտահայտություն ջրածնանման խառնուկին կապված պոլարոնի էներգիայի համար և հաշվարկվել է խառնուկի հետ կապի էներգիան և դրա պոլարոնային շեղումը: Նկ.10-ում ԿԲԼ-ում խառնուկի տարբեր դիրքերի համար պատկերված են ջրածնանման խառնուկին կապված պոլարոնի կապի էներգիայի (Նկ.10ա, հոծ կորեր) և պոլարոնային շեղման (Նկ.10բ, հոծ կորեր) կախումներն էլեկտրական դաշտի լարվածությունից՝ հաշվարկված վերջավոր փոսի մոդելում: Նկ.10ա-ում համեմատության համար պատկերված են նաև էլեկտրոնի կապի էներգիայի այն կորերը, որոնք հաշվարկվել են էլեկտրոն-ԲՕՖ փոխազդեցության անտեսմամբ (գծիկային կորեր), իսկ Նկ.10բ-ում՝ պոլարոնային շեղման կորերը՝ ստացված անվերջ խոր փոսի մոտավորությամբ (գծիկային կորեր): Այն դեպքում, երբ էլեկտրական դաշտի լարվածության մեծացման հետ պոլարոնի կապի էներգիան մեծանում է (փոքրանում է), էլեկտրոն-ԲՕՖ փոխազդեցության ներդրումը դաշտից կախված փոքրանում է (մեծանում է): Սա պայմանավորված է այն հանգամանքով, որ կապի էներգիան էլեկտրոն-ԲՕՖ փոխազդեցության ներդրման համեմատությամբ էլեկտրական դաշտի լարվածությունից կախված ավելի արագ է աճում կամ նվազում: §6.4.-ում ուսումնասիրվել է արտաքին էլեկտրական դաշտի ազդեցությունն ուղղանկյուն հատույթով ԿԲԼ-ում ջրածնանման խառնուկին կապված պոլարոնի առաջին մի քանի գրգռված վիճակների վրա: Պոլարոնային այդ վիճակների էներգիայի համար ստացվել է վերլուծական արտահայտություն: Խառնուկային վիճակների միջև անցման էներգիաներն էլեկտրական դաշտի առկայությամբ և այդ անցումներում էլեկտրոն-ֆոնոն փոխազդեցության ներդրումներն



Նկ.11 Խառնուկի տարբեր դիրքերում էլեկտրոնի կապի էներգիան (w) եւ պոլարոնային շեղումը (p)՝ կախված գլանային ԿԶԿ-ի առանցքով ուղղված համասեռ էլեկտրական դաշտի լարվածությունից: (w) նկարում գծիկային կորերը վերաբերում են էլեկտրոն-ԲՕՖ փոխազդեցության անտեսմանը, հոծ կորերը՝ հաշվառմանը:

ուսումնասիրվել են §6.5.-ում: §6.6.-ում ուսումնասիրվել է ջրածնանման խառնուկին կապված պոլարոնի հիմնական վիճակի կապի էներգիան ԿԶԼ-ում՝ ֆոնոնային սահմանափակման երեւոյթի հաշվառմամբ: Լի-Լոու-Փայնսի տեսության շրջանակներում էքսիտոնային պոլարոնի հիմնական վիճակի կապի էներգիան ԿԶԼ-ում՝ ֆոնոնային սահմանափակման երեւոյթի հաշվառմամբ ուսումնասիրվել է §6.7.-ում: ԿԶԼ-ում սահմանափակված եւ մերձակերեւոյթային ԲՕՖ մոդերի ներդրումներն էքսիտոնային պոլարոնի կապի էներգիայում թվային հաշվարկմամբ հետազոտվել են, համապատասխանաբար, §6.8.-ում եւ §6.9.-ում:

Ատենախոսության յոթերորդ գլուխը նվիրված է բեւեռային կիսահաղորդչային քվանտային կետով նանոկառուցվածքում տարբեր պոլարոնային կապված վիճակների եւ դրանց վրա միայն էլեկտրական, ինչպես նաեւ էլեկտրական եւ մագնիսական դաշտերի միաժամանակյա ազդեցության ուսումնասիրմանը: Ինչպես նախորդ գլխում, այս դեպքում եւս էլեկտրոն-ԲՕՖ փոխազդեցությունը հաշվարկվել է Լանդաու-Պեկարի փոփոխակային մեթոդի կիրառմամբ, նկատի առնելով էլեկտրոնի կատարյալ տեղայնացումը դիտարկված իրավիճակում: §7.1.-ը նվիրված է կիսահաղորդչային քվանտային կետում պոլարոնային կապված վիճակների քննարկմանը: §7.2.-ում ծավալային բեւեռային օպտիկական ֆոնոնների մոտավորությամբ ուսումնասիրվել է էլեկտրական եւ մագնիսական դաշտերի ազդեցությունը գլանային ԿԶԿ-ում կուլոնյան խառնուկին կապված պոլարոնային վիճակների վրա: Կիսահաղորդչային քվանտային կետում ջրածնանման խառնուկին կապված պոլարոնի հիմնական վիճակի կապի էներգիայի կախումը համակարգի երկրաչափական պարամետրերից թվային հաշվարկմամբ ուսումնասիրվել է §7.3.-ում: Խառնուկին կապված պոլարոնի հիմնական վիճակի կապի էներգիայի եւ դրա պոլարոնային շեղման կախումներն արտաքին դաշտերի ուժգնությունից հետազոտվել է §7.4.-ում: Նկ.11-ում, GaAs գլանային ԿԶԿ-ում խառնուկի տարբեր համաչափ դիրքերի դեպքում պատկերված են ինչպես հիմնական վիճակի կապի էներգիան՝ էլեկտրոն-ԲՕՖ փոխազդեցության անտեսմամբ եւ հաշվառմամբ, այնպես էլ

կապի էներգիայի պոլարոնային շեղումը՝ կախված էլեկտրական դաշտի լարվածությունից: Խառնուկի (0, 0.25 d) եւ (0, 0.5 d) դիրքերում կապի էներգիայի պոլարոնային շեղումն ունի մինիմումներ, որոնց առաջացումը հետեւանք է այն բանի, որ թույլ էլեկտրական դաշտն էլեկտրոնային լիցքը հեռացնելով խառնուկից՝ թուլացնում է կուլոնյան փոխազդեցությունը եւ, հետեւաբար՝ կուլոնյան սահմանափակումն ավելի շատ, քան աճում է շտարկյանը: Արդյունքում, արդյունաբար սահմանափակումը թուլանում է, որի հետեւանքով պոլարոնային շեղումը նվազում է: Էլեկտրական դաշտի աճն ուժեղացնում է շտարկյան, հետեւաբար՝ նաեւ արդյունաբար սահմանափակումը, որն էլ հանգեցնում է պոլարոնային շեղման աճի: Էլեկտրոնային, խոռոչային եւ էքսիտոնային վիճակները գնդային ԿԲԿ-ում արժեքական գոտու բարդ կառուցվածքի հաշվառմամբ ուսումնասիրվել են §7.5.-ում: Քվազիմասնիկ-ԲՕՖ փոխազդեցությունը ԿԲԿ-ում ֆոնոնային սահմանափակման երեսույթի հաշվառմամբ ներկայացվել է §7.6.-ում, իսկ §7.7.-ում ստացվել են վերլուծական արտահայտություններ էլեկտրոնային, խոռոչային եւ էքսիտոնային պոլարոնների կապի էներգիաների պոլարոնային շեղումների համար:

ԵԶՐԱԿԱՅՈՒԹՅՈՒՆ

1. “Շերտ-կիսատարածություն” մոդելի շրջանակներում լուծվել է առաձգական ալիքային դաշտի քվանտացման խնդիրը ձայնային տարբեր բնութագրերով վերջավոր հաստությամբ շերտից եւ կիսաանվերջ միջավայրից կազմված առաձգականորեն անհամասեռ համակարգի համար եւ ստացվել է վերլուծական արտահայտություն ինվերսային շերտում ձայնային ֆոնոնային տարբեր մոդերի հետ փոխազդեցության հետեւանքով քվազիերկչափ էլեկտրոնի ցրման լրիվ հավանականության համար՝ կախված ինվերսային շերտի մակերեսույթի նկատմամբ համաէներգիական էլիպսարդների կողմնորոշումից:
2. Քվազիերկչափ լիցքակիրների փոքրանկյունային ցրման տիրույթում (ցածր ջերմաստիճանների տիրույթ՝ $k_B T \ll \sqrt{8ms^2 E_F}$) ոչ առաձգական փոխազդեցության ենթադրությամբ իմպուլսի ռելաքսացիայի միջին ժամանակի հաշվարկը “վակուում-դիէլեկտրական շերտ”, “դիէլեկտրական շերտ-կիսահաղորդիչ” բաժանման սահմանների ազդեցության հաշվառումը հանգեցնում է միջին իմպուլսի ռելաքսացիայի արագության տեսական արժեքի 5.32 անգամ մեծացման՝ “վակուում-կիսահաղորդիչ” մոդելի շրջանակներում ստացված արժեքի համեմատ՝ վերացնելով տեսության ու փորձի միջեւ անհամաձայնությունը:
3. Քվազիերկչափ լիցքակիրների ցրման մասնակի առաձգականության տիրույթում (միջանկյալ ջերմաստիճանների տիրույթ՝ $\sqrt{8ms^2 \bar{E}} \ll k_B T \ll \sqrt{8ms^2 W}$, որտեղ $W = \hbar^2 \pi^2 / 2md^2$ -ն լիցքակրի տեղայնացման էներգիան է, \bar{E} -ը՝ էլեկտրոնի միջին էներգիան) ռելաքսացիայի միջին ժամանակի համար ստացվել են վերլուծական արտահայտություններ, որոնցում առանձին գումարելիների տեսքով ներկայացված են ծավալային

ֆոնոնների հետ փոխազդեցությամբ եւ “վակուում-դիէլեկտրական շերտ”, “դիէլեկտրական շերտ-կիսահաղորդիչ” բաժանման սահմանների առկայությամբ պայմանավորված ներդրումները: Յույց է տրվել, որ դիտարկվող ջերմաստիճանային տիրույթում “հաստ դիէլեկտրական շերտի մոտավորությամբ” առաձգական միջավայրի անհամասեռության ներդրումը պայմանավորված է քվազիերկչափ լիցքակիրների հետ փոխազդող երկայնական ալիքների՝ բաժանման սահմանից եւ ազատ մակերեսային անդրադարձումներով: Յույց է տրվել նաեւ, որ միայն կիսահաղորդչի ազատ մակերեսային ազդեցության հաշվառումը (“գրոյական դիէլեկտրական շերտի մոտավորություն”) փոխվում է ռելաքսացիայի ժամանակի կախումները ջերմաստիճանից եւ լիցքակիրների կոնցենտրացիայից:

4. Բարձրջերմաստիճանային տիրույթում՝ $k_B T \gg \sqrt{8ms^2W}$, երբ քվազիերկչափ լիցքակիրների հետ փոխազդող ֆոնոնի հաճախությունը որոշվում է լիցքակրի տեղայնացման տիրույթի չափով, գնահատվել է առաձգական միջավայրի անհամասեռության ներդրումը ռելաքսացիայի միջին ժամանակում առանց դիէլեկտրական շերտի, ինչպես նաեւ “հաստ” դիէլեկտրական շերտով կառուցվածքների համար: Յույց է տրվել, որ դիէլեկտրական շերտի բացակայությամբ առաձգական միջավայրի անհամասեռության հաշվառումը Si(100) ինվերսային շերտում հանգեցնում է τ^{-1} -ի մեծացման շուրջ 13%-ով, իսկ $L \gg d/4\pi$ հաստությամբ SiO₂ շերտի առկայությամբ՝ շուրջ 5.5% մեծացման: Գնահատումները ցույց են տալիս, որ երբ լիցքակրի ազատ շարժման էներգիան գերազանցում է տեղայնացման էներգիայի 1%-ը, առաձգական միջավայրի անհամասեռության ներդրումը ռելաքսացիայի միջին ժամանակում զգալի մեծանում է եւ այն չի կարելի անտեսել:
5. Համասեռ կիսահաղորդիչներում կինետիկ գործակիցների ուսումնասիրության էներգիական կորուստների համապարփակ մեթոդը զարգացվել է քվանտային թաղանթով եռաշերտ կառուցվածքներում ցրման տարբեր մեխանիզմների դեպքում կինետիկ գործակիցների հաշվարկման համար: Մասնավորապես, քվազիերկչափ լիցքակիրների շարժունության համար ստացվել է հաշվարկային բանաձեւ՝ կախված ցրող պոտենցիալի երկչափ ֆուրյե-պատկերից, ցրող կենտրոնների բաշխումից եւ էկրանավորման պարամետրից:
6. Ֆերմի-Դիրակի եւ Բոլցմանի վիճակագրությունների դեպքում հաշվարկվել է քվազիերկչափ էլեկտրոնի շարժունությունը՝ պայմանավորված լիցքավորված խառնուկների վրա ցրումով, ինչպես կիսահաղորդչային թաղանթի եւ դիէլեկտրական շրջապատի դիէլեկտրական հաստատունների տարբեր հարաբերակցությունների, այնպես էլ խառնուկների տարբեր բաշխումների դեպքում: Յույց է տրվել, որ երկչափ լիցքակիրների չայլասերված գազում, անկախ թաղանթի եւ դիէլեկտրական հաստատունների միջեւ գործող առնչություններից եւ ցրող կենտրոնների բաշխումներից, լիցքակիրների ջերմաստիճանային կախումն ունի մինիմում, որից ցածր ջերմաստիճաններում շարժունության ջերմաստիճա-

նային կախման որակական բնույթը որոշվում է էկրանավորմամբ, իսկ բարձր ջերմաստիճաններում՝ լիցքակիրների միջին արագությամբ:

7. Չափային քվանտացված թաղանթում մակերեւութային անհարթությունների եւ համաձուլվածքային անկարգավորվածությունների վրա ցրումների դեպքում ստացվել են քվազիերկչափ լիցքակիրների շարժունության վերլուծական արտահայտություններ: Ցույց է տրվել, որ $T \leq 100$ Կ տիրույթում, երբ AlAs/GaAs/AlAs քվանտային փոսում գերակայում է քվազիերկչափ լիցքակիրների ցրումը մակերեւութային անհարթությունների վրա, տեղի ունի տեսության եւ փորձի արդյունքների բավարար համընկնում: Սակայն $T > 100$ Կ ջերմաստիճանային տիրույթում շարժունության ջերմաստիճանային կախման տեսական կորի ընթացքը կտրուկ տարբերվում է փորձում դիտվածից, որը բացատրվում է ջերմասկտիվացվող պրոցեսների ազդեցությամբ՝ առաջին հերթին ֆոնոնային ցրումով եւ AlAs տիրույթում փոքր շարժունությամբ էլեկտրոնների զուգահեռ հարողականությամբ:
8. Ուսումնասիրվել է էլեկտրոնի ցրումը դիէլեկտրական միջավայրում տեղակայված գլանային քվանտային լարում, հաշվի առնելով տարածական սահմանափակման ազդեցությունը բեռնային օպտիկական ֆոնոնային սպեկտրի վրա: Միջենթագոտային անցումների հաշվառմամբ ստացվել են արտահայտություններ սահմանափակված եւ մերձմակերեւութային բեռնային օպտիկական ֆոնոնների վրա էլեկտրոնի ցրման արագության համար: Ներենթագոտիական ցրման դեպքում ներկայացվել են էլեկտրոնի ցրման արագության մեջ մերձմակերեւութային եւ սահմանափակված ֆոնոնային մոդերի գերակայության տիրույթները՝ կախված լարի շառավղից եւ էլեկտրոնի E էներգիայից: Ցույց է տրվել, որ $E < \hbar\omega_{T1}$ եւ $\hbar\omega_{L1} < E < \hbar\omega_{L2}$ տիրույթներում, երբ հնարավոր են միայն ֆոնոնի կլանմամբ անցումներ, սահմանափակված ֆոնոնների վրա ցրումը գերակայում է գործնականում լարի շառավղի բոլոր արժեքների դեպքում: $\hbar\omega_{T1} < E < \hbar\omega_{L1}$ եւ $E > \hbar\omega_{L2}$ տիրույթներում փոքր շառավղով ($R < 50 \text{ \AA}$) լարերում գերակայում է մերձմակերեւութային ֆոնոնների վրա ցրումը, ընդ որում, վերջին ($E > \hbar\omega_{L2}$) տիրույթն էլեկտրոնի էներգիայի մեծացմանը զուգընթաց դանդաղ ընդլայնվում է:
9. Ֆոնոնային սպեկտրի վրա տարածական սահմանափակման ազդեցության եւ ցրման ոչ առաձգականության հաշվառմամբ ուսումնասիրվել է էլեկտրոնի շարժունությունը կիսահաղորդչային քվանտային լարում՝ բեռնային օպտիկական ֆոնոնների վրա ցրման դեպքում: Ստացված արդյունքների համաձայն՝ $T > 200$ Կ ջերմաստիճանային տիրույթում ֆոնոնային սպեկտրի վրա նմուշի սահմանափակության ազդեցության հաշվառումը հանգեցնում է էլեկտրոնի շարժունության՝ ծավալային ֆոնոններին համապատասխանող արժեքների համեմատությամբ ավելի քան 20% աճի: GaAs եւ $\text{Cd}_{0.35}\text{Zn}_{0.65}\text{Se}$ քվանտային լարերի համար ստացված արդյունքները համեմատությունը ցույց է տալիս, որ $\text{Cd}_{0.35}\text{Zn}_{0.65}\text{Se}$ լարում շարժունության արժեքները GaAs ԿՔԼ-ի համապատասխան արժեքների համեմատ կարգով փոքր են, որը GaAs/ $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ կառուցվածքի համեմատությամբ

յամբ $Cd_xZn_{1-x}Se/ZnSe$ կառուցվածքի ավելի բարձր իոնայնության հետեւանք է: Յույց է տրվել նաեւ, որ եթե $GaAs$ լարում մերձակերելութային ֆոնոնների վրա ցրումը դառնում է գերակայող, երբ $R < 52 \text{ \AA}$, ապա $Cd_{0.35}Zn_{0.65}Se$ լարում այդ ցրումը գերակայող է, երբ $R < 45 \text{ \AA}$: $Cd_xZn_{1-x}Se/ZnSe$ կառուցվածքում միջենթագոտիական անցումների ներդրումն ավելի զգալի է, որը պայմանավորված է այդ կառուցվածքում էլեկտրոնի արդյունարար զանգվածի ավելի մեծ արժեքով: Էլեկտրոնի արդյունարար շարժունությունը շառավղից կախված ունի թույլ արտահայտված միմիում, որը միջենթագոտիական անցումների հաշվառման դեպքում պայմանավորված է վիճակների խտության ֆունկցիայի եզակիությանը: $GaAs/Al_xGa_{1-x}As$ կառուցվածքում Al կոնցենտրացիայից էլեկտրոնի շարժունության կախման ուսումնասիրությունը բացահայտել է մաքսիմումի առկայություն, որը ջերմաստիճանի նվազման հետ դառնում է ավելի արտահայտված:

10. Հոծ միջավայրի մոտավորությամբ “շերտ-կիսատարածություն” մոդելի շրջանակներում ուսումնասիրվել է քվազիերկչափ տաք էլեկտրոնների էներգիայի ռելաքսացիան ինվերսային շերտում, հաշվի առնելով “վակուում-դիէլեկտրական շերտ” եւ “դիէլեկտրական շերտ-կիսահաղորդիչ” բաժանման սահմանների ազդեցությունը ձայնային ֆոնոնային մոդերի վրա: Ստացվել են էներգիական կորուստների միջին արագության մեջ մեկ էլեկտրոնի բաժնի համար վերլուծական արտահայտություններ երեք ջերմաստիճանային տիրույթներում, որոնք որոշվում են քվազիերկչափ լիցքակիրների եւ ֆոնոնների փոխազդեցության կինեմատիկայի հիմնական օրինաչափությունների հաշվառմամբ:
11. Յույց է տրվել, որ քվազիերկչափ լիցքակիրների փոքրանկյունային ցրման տիրույթում (ցածր ջերմաստիճանների տիրույթ՝ $k_B T \ll \sqrt{8ms^2 E_F}$) ձայնային ծավալային ֆոնոնների հետ փոխազդեցության համեմատությամբ էլեկտրոնի էներգիական ռելաքսացիայի արագության զգալի մեծացումը պայմանավորված է մակերելութային ֆոնոնների հետ փոխազդեցությամբ: Պարզվել է, որ երբ էլեկտրոնային ջերմաստիճանը բարձր է ցանցային ջերմաստիճանից 10%-ով տոկոսով, էլեկտրոն-ֆոնոնային փոխազդեցության ոչ առաձգականության հաշվառումն էներգիական կորուստների արագությունը մեծացնում է շուրջ 6 անգամ:
12. Քվազիերկչափ լիցքակիրների ցրման մասնակի առաձգականության տիրույթում էներգիական կորուստների միջին արագության համար ստացվել է վերլուծական արտահայտություն, որում առանձին գումարելիների տեսքով ներկայացված են ծավալային ֆոնոնների հետ փոխազդեցությամբ եւ “վակուում-դիէլեկտրական շերտ”, “դիէլեկտրական շերտ-կիսահաղորդիչ” բաժանման սահմանների առկայությամբ պայմանավորված ներդրումները: Յույց է տրվել, որ SiO_2/Si ինվերսային շերտում առաձգական միջավայրի անհամասեռության հաշվառումը հանգեցնում է էներգիական կորուստների արագության նվազման շուրջ 25%-ով, որը պայմանավորված է SiO_2 տիրույթում քվազիերկչափ լիցքակիրների հետ փոխազդող ձայնային ֆոնոնների միջին թվի փոքրացմամբ:

13. Բարձրջերմաստիճանային տիրույթում՝ $k_B T \gg \sqrt{8ms^2W}$, ստացվել են վերլուծական արտահայտություններ տարբեր վիճակագրությունների դեպքում էներգիական կորուստների միջին արագության համար, երբ քվազիերկչափ լիցքակիրների հետ փոխազդող ֆոնոնի հաճախությունը որոշվում է լիցքակրի տեղայնացման տիրույթի չափով:
14. Ուսումնասիրվել է բեռնային դիէլեկտրական միջավայրում տեղակայված գլանային համաչափությամբ բեռնային կիսահաղորդչային քվանտային լարում T_e էլեկտրոնային ջերմաստիճանով քվազիմիաչափ տաք լիցքակիրների համակարգի էներգիական կորուստների միջին արագությունը՝ պայմանավորված բեռնային օպտիկական ֆոնոնների հետ փոխազդեցությամբ: Ուսումնասիրվել է ինչպես, ֆոնոնային սահմանափակման, այնպես էլ տաք ֆոնոնային համակարգի առկայության ազդեցությունը տաք լիցքակիրների համակարգի էներգիական կորուստների միջին արագության մեջ մեկ էլեկտրոնի բաժնի վրա: Յույց է տրվել, որ տաք ֆոնոնային համակարգի առկայության հաշվառումը հանգեցնում է էներգիական ռելաքսացիայի արագության նվազման:
15. Բեռնային օպտիկական ֆոնոնային մոդերի տարածական սահմանափակման երեւոյթի հաշվառմամբ ուսումնասիրվել է էներգիական կորուստների արագության կախումն էլեկտրոնային ջերմաստիճանից: Յույց է տրվել, որ տաք ֆոնոնային համակարգի գոյությունն անտեսելիս մերձակերեւութային ֆոնոնների ներդրումը էներգիական կորուստների արագության մեջ էլեկտրոնային ջերմաստիճանի բարձրացմանը զուգընթաց աճում է շատ դանդաղ: Համաձայն $\text{GaAs}/\text{Al}_{0.22}\text{Ga}_{0.78}\text{As}$ եւ $\text{Cd}_{0.35}\text{Zn}_{0.65}\text{Se}/\text{ZnSe}$ քվանտային լարերի համար ստացված արդյունքների, երբ T_e -ն 100Կ-ից բարձրացվում է մինչեւ 400Կ, մերձակերեւութային ֆոնոնների ներդրումը $\text{GaAs}/\text{Al}_{0.22}\text{Ga}_{0.78}\text{As}$ լարում 34.5%-ից դառնում է 38.5%, մինչդեռ $\text{ZnSe}/\text{Cd}_{0.35}\text{Zn}_{0.65}\text{Se}/\text{ZnSe}$ լարում այն փոխվում է 33.1%-ից մինչեւ 42,1%: Տաք ֆոնոնների առկայությամբ ջերմաստիճանների նշված միջակայքում վերոնշյալ ներդրումը $\text{GaAs}/\text{Al}_{0.22}\text{Ga}_{0.78}\text{As}$ քվանտային լարում համարյա չի փոխվում եւ կազմում է մոտավորապես 45%: Տաք ֆոնոնային երեւոյթի հաշվառմամբ մերձակերեւութային ֆոնոնների ներդրման աճը հետեւանք է այն բանի, որ մերձակերեւութային ֆոնոնների միջին թիվը եւ դրանց կլանման հավանականությունը փոքր են սահմանափակված տաք ֆոնոնների համապատասխան բնութագրերից:
16. Ուսումնասիրվել է էներգիական կորուստների արագության կախումը քվանտային լարի շառավղից եւ էլեկտրոնների կոնցենտրացիայից: Յույց է տրվել, որ տաք ֆոնոնային երեւոյթի հաշվառմամբ լարի շառավղի աճին զուգընթաց էներգիական կորուստների արդյունարար արագության նվազումը հետեւանք է՝ ա) շառավղի աճի հետ մերձակերեւութային ֆոնոնների դերի նվազման, քանի որ տաք ֆոնոնային երեւոյթն էական է հատկապես մերձակերեւութային ֆոնոնների միջոցով ընթացող էներգիական ռելաքսացիայի դեպքում, բ) տաք “ֆոնոնային խցանման” երեւոյթի, քանի որ շառավղի աճը հանգեցնում է խցանման թուլացման եւ, հետեւաբար, տաք ֆոնոնների միջին թվի նվազման:

17. Գեֆորմացիոն մոդելի շրջանակներում ֆոնոնային սահմանափակման երեւոյթի հաշվառմամբ ուսումնասիրվել է քվազիմիաչափ տաք լիցքակիրների համակարգի էներգիական կորուստների միջին արագութունն ազատ կայանած գլանային քվանտային լարում՝ պայմանավորված ձայնային ֆոնոնային մոդերի հետ փոխազդեցութայամբ եւ գնահատվել է այդ մոդերի դերն էներգիական ռելաքսացիայում: Որոշվել է քվազիմիաչափ էլեկտրոնի էներգիական կորուստների արագության կախումը քվանտային լարի շառավղից, տարբեր LA-սահմանափակված մոդերի վրա ցրումների դեպքում: Յույց է տրվել, որ լարի շառավղի մեծացմանը զուգընթաց էներգիական կորուստների արագության նվազումը պայմանավորված է էլեկտրոնի վիճակների խտության ֆունկցիայի վարքով: Մեր ստացած այս արդյունքով են մեկնաբանվել վերջերս ստացված փորձարարական տվյալները [38]:
18. Չայնային ֆոնոնների վրա ցրման դեպքում ուսումնասիրվել է էներգիական կորուստների արագության կախումն էլեկտրոնների կոնցենտրացիայից եւ էլեկտրոնային ջերմաստիճանից: Յույց է տրվել, որ էլեկտրոնային կոնցենտրացիայի աճը հանգեցնում է էներգիական կորուստների արագության նվազման: Քվազիմիաչափ տաք լիցքակիրների համակարգում մեկ էլեկտրոնին բաժին ընկնող էներգիական կորուստների միջին արագությունն էլեկտրոնային ջերմաստիճանի բարձրացման հետ աճում է: Յաճոր էլեկտրոնային ջերմաստիճաններում ($T_e < 4\text{ Կ}$) առկա է փորձի տվյալների հետ մեր ստացած արդյունքների լավ համընկում, սակայն ջերմաստիճանը բարձրացնելիս ի հայտ է գալիս տեսական եւ փորձնական արդյունքների միջեւ թույլ տարամիտում՝ պայմանավորված ինչպես պիեզոձայնային եւ բեւեռային օպտիկական ֆոնոնների վրա ցրումների, այնպես էլ միջենթագոտիական անցումների անտեսմամբ:
19. Ուսումնասիրվել է գնդային կոլիդային կիսահաղորդչային քվանտային կետերով կառուցվածքում եռաչափ արգելքի տիրոյթում ֆոտոգեներացված էլեկտրոնների ներգոտիական ռելաքսացիան ֆոնոնային սպեկտրի վրա տարածական սահմանափակման ազդեցության հաշվառմամբ: Քվանտային կետի գրգռված մակարդակում էլեկտրոնի կալանման արագության համար ստացվել է վերլուծական արտահայտություն: CdSe կոլիդային քվանտային կետում էլեկտրոնի կալանման արագության կախումը կետի շառավղից բացահայտում է եռաչափ արգելքային կոնտինուումից քվանտային կետի գրգռված մակարդակ էլեկտրոնային անցումների հստակ արտահայտված պիկերի շարք՝ եւ՝ սահմանափակված, եւ՝ մակերեւութային ֆոնոնների վրա ցրվելիս: Հաշվարկները ցույց են տալիս, որ կալանման արագությունը՝ պայմանավորված մակերեւութային ֆոնոնային մոդերով, ջերմաստիճանի բարձրացմանը զուգընթաց մեծանում է, իսկ սահմանափակված ֆոնոնային մոդերով պայմանավորված կալանման արագությունը ցուցադրում է ոչ մոնոտոն ջերմաստիճանային վարք:
20. Ուսումնասիրվել է քվանտային կետում Օժե-ռելաքսացիայի էլեկտրոն-էլեկտրոն ցրման մեխանիզմն այն ենթադրութայամբ, որ կոլիդային քվանտային կետի գրգռված մակարդակում կալանված էլեկտրոնը կամ արգելքի տիրոյթի որեւէ էլեկտրոնի, կամ քվանտա-

յին կետի որեւէ գրգռված մակարդակում տեղայնացված այլ էլեկտրոնի հետ կուլոնյան փոխազդեցության հետեւանքով անցնում է քվանտային կետի հիմնական մակարդակ՝ իր ավելցուկային էներգիան փոխանցելով մյուս էլեկտրոնին: Ստացվել է էլեկտրոն-էլեկտրոն ցրման արագության կախումն էլեկտրոնային ջերմաստիճանից, որը բավարար չափով համընկնում է փորձի արդյունքների հետ [37]:

21. Լի-Լոու-Փայնսի տեսության շրջանակներում ուսումնասիրվել է բեւեռային դիէլեկտրական շրջապատով բեւեռային կիսահաղորդչային քվանտային լարում քվազիմիաչափ պոլարոնի հիմնական բնութագրերի վրա արտաքին համասեռ էլեկտրական եւ մագնիսական դաշտերի ազդեցությունը: Ներենթագոտիական անցումների մոտավորությամբ ստացվել են վերլուծական արտահայտություններ քվազիմիաչափ պոլարոնի սեփական էներգիայի, արդյունարար զանգվածի եւ էլեկտրոնի շարժումն ուղեկցող ֆոնոնների միջին թվի համար՝ կախված էլեկտրական դաշտի լարվածությունից եւ մագնիսական դաշտի ինդուկցիայից: Ջարգացվել է նոր տեսություն այդ բնութագրերում միջենթագոտիական անցումների հաշվառման համար, որը հիմնված է Լի-Լոու-Փայնսի եւ խոտորումների տեսությունների համատեղ կիրառման վրա:
22. Ուսումնասիրվել են էլեկտրական դաշտում պոլարոնի սեփական էներգիայի, արդյունարար զանգվածի եւ էլեկտրոնի շարժումն ուղեկցող ֆոնոնների միջին թվի կախումներն ուղղանկյուն հատույթով քվանտային լարի չափերից, եւ պարզվել է, որ այդ հիմնական բնութագրերի կորերը դրսեւորում են միաձուլման եւ հագեցման վարք: Կորերի միաձուլումը ցույց է տալիս, որ լարի հաստության որոշակի արժեքից մեծ արժեքների համար էլեկտրոնի տարածական սահմանափակումը գերակայում է էլեկտրական դաշտով պայմանավորված շտարկյան սահմանափակման համեմատությամբ, իսկ կորերի հագեցումային վարքը վկայում է հակառակ երեւոյթի մասին: Պոլարոնի հիմնական բնութագրերը ներկայացնող համապատասխան կորերի միաձուլման եւ հագեցման վարքերը դիտվում են էլեկտրական դաշտի լարվածությամբ եւ լարի հաստության միեւնույն արժեքների դեպքում, որը վկայում է պոլարոնային երեւոյթներում էլեկտրոնի արդյունարար սահմանափակման (եւ ոչ առանձին-առանձին չափային եւ շտարկյան սահմանափակումների) որոշիչ դերի մասին:
23. Անվերջ խոր եւ վերջավոր խորությամբ փոսի մոդելների շրջանակներում եւ ֆոնոնային սահմանափակման երեւոյթի հաշվառմամբ հաշվարկվել են պոլարոնի սեփական էներգիան եւ արդյունարար զանգվածը գլանային լարի առանցքով ուղղված մագնիսական դաշտի եւ առանցքին ուղղահայաց էլեկտրական դաշտի առկայությամբ: Յույց է տրվել, որ ֆոնոնային սահմանափակման երեւոյթի հաշվառմամբ սահմանափակված եւ մերձմակերեւութային բեւեռային օպտիկական ֆոնոնների հետ էլեկտրոնի փոխազդեցությունները պոլարոնային հիմնական բնութագրերում հանդես են գալիս այդ փոխազդեցությունների ներդրումների գումարի տեսքով, որը հնարավորություն է տալիս պոլարոնի հետ միաժամանակ որպէս առանձին քվազիմասնիկներ դիտարկել սահմանափակված պոլարոնը եւ մերձմակերեւութային պոլարոնը:

24. Սահմանափակված եւ մերձմակերեսութային պոլարոնների հիմնական բնութագրերի՝ գլանային քվանտային լարի շառավղից եւ արտաքին դաշտերի ուժգնությունից կախումներն ուսումնասիրելիս պարզվել է, որ լարի շառավիղը փոքրացնելիս, էլեկտրոն-սահմանափակված ֆոնոն փոխազդեցության թուլացմանը զուգընթաց, էլեկտրոն-մերձմակերեսութային ֆոնոն փոխազդեցության ուժգնացումը հանգեցնում է պոլարոնային հիմնական բնութագրերի մեծացման: Միաժամանակ, էլեկտրական դաշտի լարվածության աճը դանդաղ մեծացնում է պոլարոնի՝ մերձմակերեսութային ֆոնոնների հետ փոխազդեցությամբ որոշվող սեփական էներգիան եւ արդյունաբար զանգվածը, սակայն այդ դեպքում սահմանափակված ֆոնոններով որոշվող համապատասխան արժեքները զգալիորեն նվազում են, այնպես, որ պոլարոնի գումարային սեփական էներգիան եւ արդյունաբար զանգվածը նույնպես նվազում են: Մագնիսական դաշտի ինդուկցիայի մեծացմանը զուգընթաց էլեկտրոն-սահմանափակված ֆոնոն փոխազդեցության արդյունավետությունը մեծանում է ավելի զգալի, քան թուլանում է էլեկտրոն-մերձմակերեսութային ԲՕՖ փոխազդեցության արդյունավետությունը, ուստի երկու փոխազդեցությունների գումարային ներդրումը պոլարոնային բնութագրերում մեծանում է:
25. Լանդաու-Պեկարի փոփոխակային մեթոդի կիրառմամբ անվերջ խոր եւ վերջավոր խորությամբ պոտենցիալային փոսի մոդելների շրջանակներում ուսումնասիրվել են ջրածնանման խառնուկին կապված պոլարոնային վիճակները դիէլեկտրական շրջապատով բեռնային կիսահաղորդչային քվանտային լարում՝ լարի առանցքին ուղղահայաց էլեկտրական դաշտում: Պոլարոնի կապի էներգիայի համար ստացվել են վերլուծական արտահայտություններ՝ կախված լարի չափերից, էլեկտրական դաշտի լարվածությունից, ինչպես նաեւ լարում խառնուկի դիրքից: Ուսումնասիրվել է նաեւ արտաքին էլեկտրական դաշտում լարում եւ դրա դիէլեկտրական շրջապատում էլեկտրոնի արդյունաբար զանգվածի արժեքների տարբերության ազդեցությունը խառնուկի կապի էներգիայի վրա եւ ցույց է տրվել, որ էլեկտրոնի շտարկյան տեղայնացումը հանգեցնում է նաեւ ֆոնոնային համակարգի հետ ավելի արդյունավետ փոխազդեցության, որի հետեւանքով պոլարոնային շեղումներն էլեկտրական դաշտի առկայությամբ ավելի մեծ են, քան դաշտի բացակայությամբ: Պարզվել է նաեւ, որ կախված խառնուկի դիրքից նրա կապի էներգիան եւ պոլարոնային շեղումն էլեկտրական դաշտի լարվածության մեծացմանը զուգընթաց կարող են ինչպես մեծանալ, այնպես էլ փոքրանալ, ընդ որում, էլեկտրական դաշտի բացակայությամբ համաչափ դիրքերին հատուկ այլասերումն առկա է նաև էլեկտրոն-ԲՕՖ փոխազդեցության հաշվառմամբ:
26. Որսումնասիրվել է արտաքին էլեկտրական դաշտի ազդեցությունն ուղղանկյուն հատույթով քվանտային լարում ջրածնանման խառնուկին կապված պոլարոնի գրգռված վիճակների վրա, որոնց էներգիաների համար ստացվել են վերլուծական արտահայտություններ: Խառնուկի տարբեր դիրքերի հ ուսումնասիրվել են $2p_y$ -անման, $2p_z$ -անման եւ $2s$ -անման պոլարոնային վիճակների կապի էներգիաների եւ դրանց պոլարոնային շեղումների կախումներն էլեկտրական դաշտի լարվածությունից եւ լարի լայնական չա-

փից: Ուսումնասիրվել է նաև $1s \rightarrow 2p_y$ եւ $1s \rightarrow 2p_z$ անցման էներգիաների կախումներն էլեկտրական դաշտի լարվածությունից: Ցույց է տրվել, որ էլեկտրոն-ԲՕՖ փոխազդեցությունը մեծացնում է հիմնական վիճակից գրգռված վիճակ անցման էներգիան, իսկ դրա ներդրումն ավելի զգալի է ուժեղ էլեկտրական դաշտում:

27. Ֆոնոնային սահմանափակման երեսույթի հաշվառմամբ եւ Լանդաու-Պեկարի եւ Լի-Լոու-Փայնսի փոփոխակային մեթոդների կիրառմամբ ուսումնասիրվել են խառնուկային եւ էքսիտոնային պոլարոնային վիճակները գլանային քվանտային լարում: Առանձին-առանձին հաշվարկվել են սահմանափակված եւ մերձմակերեսային ֆոնոնների ներդրումները կապի էներգիաներում: Ինչպես ծանր, այնպես էլ թեթև խոռոչով էքսիտոնային պոլարոնի կապի էներգիան եւ դրա պոլարոնային շեղումն ուսումնասիրվել են տարբեր իոնայնությամբ քվանտային լարերում: Ցույց է տրվել, որ էքսիտոնի կապի էներգիան եւ պոլարոնային շեղումը լարի շառավղի աճին զուգընթաց նվազում են, եւ CdSe/ZnSe քվանտային լարում, միջավայրերի մեծ իոնայնության հետեւանքով, ընդունում ավելի մեծ արժեք, քան GaAs/AlAs լարում:

28. Լանդաու-Պեկարի փոփոխակային մեթոդի կիրառմամբ ուսումնասիրվել են ջրածնանման խառնուկին կապված պոլարոնային վիճակները դիէլեկտրական շրջապատով բեռնային կիսահաղորդչային գլանային քվանտային կետում գլանի առանցքին ուղղահայաց էլեկտրական եւ առանցքով ուղղված մագնիսական դաշտերում: Պոլարոնի էներգիայի համար ընդհանուր դեպքում ստացվել է վերլուծական արտահայտություն: Խառնուկի տարբեր դիրքերում որոշվել են կապի էներգիայի եւ դրա պոլարոնային շեղման կախումները գլանի շառավղից եւ կիրառված դաշտերի ուժգնությունից: Ստացված արդյունքների համաձայն՝ կապի էներգիայում պոլարոնային ներդրումը կարող է լինել զգալի մեծ՝ կախված գլանային քվանտային կետի չափերից, խառնուկի դիրքից, էլեկտրական եւ մագնիսական դաշտերի ուժգնությունից: Կապի էներգիայի պոլարոնային շեղման վարքը դիտարկվել է չափային, կուլոնյան, շտարկյան եւ մագնիսական դաշտով պայմանավորված սահմանափակումների մրցակցության տեսանկյունից: Հաստատվել է, որ անկախ նշված առանձին սահմանափակումների վարքից, կապի էներգիայի պոլարոնային շեղումը մեծանում կամ փոքրանում է արդյունաբար սահմանափակման ուժգնացման կամ թուլացման հետ:

29. Ուսումնասիրվել են էլեկտրոնային, խոռոչային եւ էքսիտոնային պոլարոնային վիճակները կիսահաղորդչային գնդային քվանտային կետում՝ ֆոնոնային սահմանափակման երեսույթի եւ էներգիական գոտու բարդ կառուցվածքի հաշվառմամբ: Նշված քվազիմասնիկների հիմնական վիճակների էներգիաների պոլարոնային շեղումների համար ստացվել են վերլուծական արտահայտություններ, էքսիտոնային վիճակը դիտարկելով ուժեղ սահմանափակման մոտավորությամբ: Ցույց է տրվել, որ քվանտային կետի շառավղի փոքրացմանը զուգընթաց քվազիմասնիկի (էլեկտրոն, խոռոչ, էքսիտոն) հիմնական վիճակի էներգիայի պոլարոնային շեղումը մեծանում է շառավղին հակադարձ համեմատականորեն, իսկ էքսիտոնի հիմնական վիճակի էներգիայի պոլարոնային շեղումը՝ պայ-

մանավորված մերձակերեութային ֆոնոնների հետ փոխազդեցությամբ, համընկնում է խոռոչի էներգիայի պոլարոնային շեղման հետ, քանի որ հիմնական վիճակում էլեկտրոնը փոխազդում է միայն սահմանափակված ֆոնոնների հետ: Յույց է տրվել, որ տարածական սահմանափակման ազդեցությունը ֆոնոնային սպեկտրի վրա հանգեցնում է դիտարկվող քվազիմասնիկների էներգիաների պոլարոնային շեղման մեծացման 2.3 անգամ, իսկ խոռոչի, հետեւաբար՝ նաեւ էքսիտոնի համար արժեքական գոտու ալյասերումը հանգեցնում է պոլարոնային շեղման կախվածության թեթեւեւ ծանր խոռոչների զանգվածների հարաբերությունից: Հաշվարկների համաձայն՝ էքսիտոնի էներգիայի պոլարոնային շեղումը կարգով փոքր է էլեկտրոնի եւ խոռոչի էներգիաների պոլարոնային շեղումներից ինչպես ֆոնոնային սահմանափակության հաշվառման, այնպես էլ վերջինիս անտեսման դեպքում, որը հետեւանք է հակադիր նշանի լիցքերով էլեկտրոնի եւ խոռոչի պոլարոնային շեղումների փոխադարձ համակշռման: Ընդ որում, արժեքական գոտու ալյասերման անտեսման դեպքում էքսիտոնային պոլարոնային շեղում չի դրսևորվում:

ՀՂՎԱԾ ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅՈՒՆ

1. Sakaki H., *J. Cryst. Growth* **251**, 9 (2003).
2. Алферов Ж.И., *ФТП* **32**, 3 (1998).
3. Goldren L.A., Corzine S.W., Diode lasers and photonic integrated circuits. *N.Y., J W & S*, 1995.
4. Skolnick M.S., Mowbray D.J., *Annu.Rev. Mater.Res.*, **34**, 181 (2004).
5. Stiff A.D., et al, *IEEE J. Quantum Electr.*, **37**, 1412 (2001).
6. Kroutvar M., et al, *Nature* **432**, 81 (2004).
7. Balandin A., Wang K.L., *J. Appl. Phys.* **84**, 6149 (1998).
8. Balandin A., Wang K. L., *Phys. Rev. B* **58**, 1544 (1998).
9. Balandin A.A., *J. of Nanoscience and Nanotechn.* **5**, 1015 (2005).
10. Balandin A.A., Pokatilov E.P., Nika D.L., *J. Nanoelect. Optoelect.* **2**, 140 (2007).
11. Li N., Ren J., Wang L., Zhang G., Hänggi P., Li B., *Rev. Mod. Phys.* **84**, 1045 (2012).
12. Först M., et al, *Nature Physics* **7**, 854 (2011).
13. Velasco V. R., Garcia-Moliner F., *Surface Science Reports* **28**, 123-176 (1997).
14. Confined electrons and phonons, Eds. E.Burstein and C. Weissbuch (*Plenum, NY, 1995*) p.161.
15. Huang K., Zhu B., *Phys. Rev. B* **38**, 13377 (1988).
16. Enderlein R., *Phys. Rev. B* **47**, 2162 (1993).
17. Klein M.C., Hache F., Richard D., Flytzanis C., *Phys. Rev. B* **42**, 11123 (1990).
18. Nomura S., Kobayashi T., *Phys. Rev. B* **45**, 1305 (1992).
19. Zucker J.E., et al, *Phys. Rev. Let.* **53**, 1280 (1984).
20. Klein M.V., *IEEE J. Quantum Electron.* **22**, 1760 (1986).
21. Foreman B.A., *Phys. Rev. B* **52**, 12260 (1995).
22. Mowbray D.J., Cardona M., Ploog K., *Phys. Rev. B* **43**, 1598 (1991).

23. Polarons in Ionic Crystals and Polar Semiconductors, EDT J.T. Devreese (*N. H., Amst.*) 1972.
24. Пекар С.И., *УФН*, **LX**, 191 (1956).
25. Боголюбов Н.Н., Боголюбов Н.Н.(мл.), Аспекты теории полярона. М.: ФМЛ (2004), 176с.
26. Поляроны. Под ред. Ю.А. Фирсова, Изд., Наука, (1975) 424с.
27. Ranninger J., *Z. Phys. B* **84**, 167 (1991).
28. Barvik I., Warns C., Neidlinger T., Reineker P., *Chem. Phys.* **240**, 173-189 (1999).
29. Карпус В., *ФТП* **20**, 12 (1986).
30. Kawaguchi Y., *Surface Science* **98**, 211 (1980).
31. Vartanian A.L., Kirakosian A.A. *Phys. Stat. Sol. B* **133**, 389 (1986).
32. Dremel M., et al, *Journ. of Appl. Phys.* **93**, 6142 (2003).
33. Sakaki H., et al, *Appl. Phys. Lett.*, **51**, 1934 (1987).
34. Constantinou N.C., Ridley B.K. *J. Phys.: Condens. Matter*, **1**, 2283 (1989).
35. Бреховских Л.М., Волны в слоистых средах, Изд-во Наука , 1973, 343 с.
36. Sugaya T., et al, *Appl. Phys. Lett.* **81**, 727 (2002).
37. Guyot-Sionnest-1 P., Shim M., Matranga C., Hines M., *Phys. Rev. B* **60**, R2181 (1999).
38. Matthews J., et al, *Phys. Rev. B* **86**, 174302 (2012).

ՀՐԱՏԱՐԱԿՎԱԾ ԱՇԽԱՏԱՆՔՆԵՐԻ ՑՈՒՑԱԿ

1. **Vartanian A.L.**, Kirakosian A.A., Calculation of the charge carrier mobility of a size quantized semiconductor film by the energy-loss method. **Physica Status Solidi B** **133**, 389-394 (1986).
2. Kirakosian A.A., **Vartanian A.L.**, Effect of quasi-two-dimensionality of electron gas on charged impurity center field in surface layer of semiconductor. **Studies in Surface Science and Catalysis** **40**, 306-308 (1988).
3. **Вартанян А.Л.**, Киракосян А.А., Влияние неоднородности упругой среды на фоновый механизм релаксации двумерных носителей заряда. **ФТП** **23**, 1851-1858, 1989.
4. A.L. Asatrian, **Vartanian A.L.**, Kirakosian A.A., Mobility calculation of quasi-two-dimensional electron gas by the energy loss method. **Physica Status Solidi B** **203**, 169-178 (1997).
5. **Vartanian A.L.**, Asatrian A.L., Confined and Interface Phonon-Induced Shift in Shallow Donor Binding Energy of Quantum Wires. **Physica Status Solidi B** **210**, 711-715 (1998).
6. **Vartanian A.L.**, Asatryan A.L., Kirakosyan A.A., The polaronic shift of exciton binding energy in quantum dots with a degenerate valence band. **Journal of Physics: Condensed Matter** **14**, 13357-13365 (2002).

7. **Vartanian A.L.**, Asatryan A.L., Kirakosyan A.A., Electron interaction with confined and interface polar optical phonons and electron mobility in quantum wires. **Physica E** **16**, 230-236 (2003).
8. **Vartanian A.L.**, Yeranosyan M.A., Kirakosyan A.A., The polaron effect on the binding energy of a shallow donor impurity in quantum-well wires in an electric field. **Physica E** **27**, 447-456 (2005).
9. **Vartanian A.L.**, Asatryan A.L., Kirakosyan A.A., The energy-loss rate via polar-optical phonon scattering in quantum wires. **Physica E** **28**, 545-551 (2005).
10. **Vartanian A.L.**, Confined and interface polar optical phonon-limited electron mobility in quantum wires. **Physica Status Solidi B** **242**, 1482-1490 (2005).
11. **Vartanian A.L.**, Polar-optical phonon-limited electron mobility in quantum wires. **Int. Journ. Mod. Phys. B** **20**, 3015-3025 (2006).
12. **Vartanian A.L.**, Asatryan A.L., Kirakosyan A.A., Hot electron energy-loss rate via PO-phonon scattering in CdZnSe/ZnSe quantum wire. **Physica B** **389**, 258-262 (2007).
13. **Vartanian A.L.**, Yeranosyan M.A., Kirakosyan A.A., Electron-phonon effect on the ground-state binding energy of hydrogenic impurity in quantum-well wire in presence of an electric field. **Physica B** **390**, 256-262 (2007).
14. **Vartanian A.L.**, Vardanyan L.A., Kazaryan E.M., Hydrogenic impurity bound polaron in a cylindrical quantum dot in an electric field. **Physics Lett. A** **360**, 649-654 (2007).
15. **Vartanian A.L.**, Vardanyan L.A., Kazaryan E.M., Effect of electric and magnetic fields on the binding energy of the Coulomb impurity bound polaron in a quantum dot. **Physica E** **40**, 1513-1516 (2008).
16. **Vartanian A.L.**, Vardanyan L. A., Kazaryan E.M., Effect of electric and magnetic fields on the binding energy of a Coulomb impurity bound polaron in a cylindrical quantum dot. **Phys. Stat. Sol. B** **245**, 123-131 (2008).
17. **Vartanian A.L.**, Asatryan A.L., Kirakosyan A.A., Hot-electron energy-loss rate via LA-phonon scattering in InGaAs quantum wire. **Physica Status Solidi B** **245**, 963-966 (2008).
18. **Vartanian A.L.**, Vardanyan L.A., The effect of an applied electric field on the polaron basic parameters in a quantum well wire. **Physica E** **41**, 1417-1422 (2009).
19. **Vartanian A.L.**, The polaron properties in GaAs and CdSe quantum-well wires under an applied electric field. **Physica Status Solidi B** **246**, 2279-2286 (2009).
20. **Vartanian A.L.**, Electron capture and intra-band relaxation by means of Auger processes in colloidal semiconductor nanocrystals. **Physica B** **406**, 331-334 (2011).

21. **Vartanian A.L.**, Confined and interface polarons in cylindrical nanowires in an electric field, **European Physical Journal B 83**, 481-486 (2011).
22. **Vartanian A.L.**, Asatryan A.L., Vardanyan L.A., Arzumanyan V.Y., Phonon confinement effect on the polaron basic parameters in nanowires in the presence of external fields. **Journal of Physics: Conference Series 350**, 012022 (2012).
23. **Vartanian A.L.**, Asatryan A.L., Vardanyan L.A., Influence of both electric and magnetic fields on the polaron properties in a finite-potential quantum well wire. **Physica E 47**, 134-140 (2013).
24. **Вартанян А.Л.**, Киракосян А.А., Диэлектрическая проницаемость и экранирование поля заряженного центра в тонкой пленке. **Известия АН Арм. ССР, Физика 21**, 129-133 (1986).
25. Киракосян А.А., **Вартанян А.Л.**, Квантование упругих волн в системе “пленка-подложка”. Межвузовский сборник научных трудов. “**Физика**” 8-9, 234-240 (1987).
26. Асатрян А.Л., **Вартанян А.Л.**, Киракосян А.А., Расчет подвижности квазидвумерных носителей заряда в полупроводниковых структурах методом энергетических потерь. I. Рассеяние на заряженных примесях. **Известия НАН Армении, Физика 29**, 101-109 (1994).
27. Асатрян А.Л., **Вартанян А.Л.**, Киракосян А.А., Расчет подвижности квазидвумерных носителей заряда в полупроводниковых структурах методом энергетических потерь. II. Рассеяние на поверхностных шероховатостях и сплавных неупорядоченностях квантовой ямы. **Известия НАН Армении, Физика 30**, 149-155 (1995).
28. **Вартанян А.Л.**, Ераносян М.А., Киракосян А.А., Поляронный сдвиг энергии связи экситона Ванье-Мотта в квантовой проволоке с учетом эффекта фононного ограничения. **Известия НАН Армении, Физика 42**, 348-354 (2007).
29. **Вартанян А.Л.**, Варданян Л.А., Казарян Э.М., Влияние электрического поля на собственную энергию и эффективную массу полярона в полупроводниковой квантовой проволоке. **Уч. Записки ЕГУ 2(216)**, 49-52 (2008).
30. **Vartanian A.L.**, Confined and interface polarons in cylindrical nanowires in an electric field, **Proc. of the Yerevan State University 2(225)**, 55-62 (2011).
31. Kirakosian A.A., **Vartanian A.L.**, The effect of interfaces on the phonon relaxation mechanism of two-dimensional charge carriers. **Proceedings of the II International Symposium “Surface Waves in Solids and Layered Structures”, v.2**, 345-347, Varna, Bulgaria (1989).
32. Асатрян А.Л., **Вартанян А.Л.**, Рассеяние электронов в квантовой проволоке. I. Взаимодействие с полярными ограниченными LO-фононами. **Материалы I**

- национальной конференции “Полупроводниковая микроэлектроника”, Дилижан, 21-23 (1997).
33. Վարդանյան Ա.Լ., Ասատրյան Ա.Լ., Էլեկտրոնի շարժունակությունը կիսահաղորդչային քվանտային լարում պայմանավորված բևեռային օպտիկական ֆոնոնների վրա ցրումով: «Կիսահաղորդչային միկրոէլեկտրոնիկա» II ազգային գիտաժողովի նյութեր, Գիլիջան, 16-19 (1999):
 34. Vartanian A.L., Asatryan A.L., Kirakosyan A.A., Confined and interface phonon-induced shift in exciton binding energy in quantum wire. **Proc. III Nat. Conf. “Semiconductor Microelectronics”**, Sevan, 22-26 (2001).
 35. Асатрян А.Л., Вартанян А.Л., Рассеяние электронов в квантовой проволоке. 2. Взаимодействие с полярными межповерхностными LO-фононами. **Материалы I национальной конференции “Полупроводниковая микроэлектроника”**, Дилижан, 24-26 (1997).
 36. Vartanian A.L., Yeranosyan M.A., Kirakosyan A.A., The polaronic shift of the ground state binding energy of a shallow donor impurity in quantum-well wires in an electric field. **Сборник трудов конференции “Лазерная физика-2004”**, Аштарак, 68-71 (2004).
 37. Vartanian A.L., Yeranosyan M.A., Effect of applied electric field of the bound polaron energy spectrum in quantum-well wires. **Proc. V Int. Conf. “Semiconductor Micro- and nanoelectronics”**, Agveran, 157-160 (2005).
 38. Vartanian A.L., Asatryan A.L., Gasparyan Sh.G., Energy-loss rate via confined and interface PO-phonon scattering in CdZnSe quantum wire. **Proc. V Int. Conf. “Semiconductor Micro- and nanoelectronics”**, Agveran, 153-156 (2005).
 39. Vartanian A.L., Yeranosyan M.A., Kirakosyan A.A., The binding energy of a hydrogenic impurity in quantum-well wires in an electric field: The effective mass mismatch effect. **Сборник трудов конференции “Лазерная физика-2005”**, Аштарак, 73-76 (2005).
 40. Vartanian A.L., Asatryan A.L., Kirakosyan A.A., Hot electron temperature relaxation in $Cd_{0.35}Zn_{0.65}Se/ZnSe$ and GaAs/AlAs quantum wires. **Proc. of Conference on «Laser Physics 2006»**, Ashtarak, 169-172 (2006).
 41. Vartanian A.L., Yeranosyan M.A., Exciton-phonon interaction in GaAs/AlAs and CdSe/ZnSe quantum wires. **Proc. of Conference on «Laser Physics 2006»**, Ashtarak, 40-43 (2006).
 42. Vartanian A.L., Vardanyan L.A., Kazaryan E.M., Effect of electric and magnetic field on the hydrogenic impurity bound polaron binding energy in quantum dot. **Proc. of Conference on «Laser Physics 2006»**, Ashtarak, 177-180 (2006).

43. **Vartanian A.L.**, Yeranosyan M.A., The polaronic shift of the exciton binding energy in quantum well wires. **Պինդ մարմնի ֆիզիկայի ամբիոնի հիմնադրման 50-ամյակին նվիրված գիտաժողովի նյութեր**, ԵՊՀ հրատ., Երևան, 78-83 (2007):
44. **Vartanian A.L.**, Vardanyan L.A., Asatryan A.L., Kirakosyan A.A., Energy-loss rate of hot electrons via LA-phonon scattering in free standing quantum wire. **Պինդ մարմնի ֆիզիկայի ամբիոնի հիմնադրման 50-ամյակին նվիրված գիտաժողովի նյութեր**, ԵՊՀ հրատ., Երևան, 84-89 (2007):
45. **Vartanian A.L.**, Yeranosyan M.A., Kirakosyan A.A., Electron-phonon effect on the ground-state binding energy of hydrogenic impurity in parabolic quantum-well wire in presence of an electric and magnetic fields. **Proc. of the 18th International Symposium on Nanostructures: Physics and Technology**, Saint Petersburg, Academic University, 116-117 (2010).
46. **Vartanian A.L.**, Asatryan A.L., Vardanyan L.A., Arzumanyan V.Y., Confined and interface polarons in cylindrical quantum wire in perpendicular magnetic and electric fields. **Proc. 8th Int. Conf. "Semiconductor Micro- and Nanoelectronics"**, Yerevan, 163-166 (2011).
47. **Vartanian A.L.**, Free and bound polaron states in semiconductor nanostructures in the presence of external fields. **Актуальные вопросы физики низкоразмерных систем. Материалы конференции посвященной 70-летию академика НАН Армении Э.М. Казаряна**, Ереван, EDIT PRINT, 152-160 (2012).

ВАРТАНЯН АРШАК ЛЮДВИГОВИЧ

ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ ЭЛЕКТРОН-ФОНОННОГО
ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ В ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ НАНОСТРУКТУРАХ

АННОТАЦИЯ

Диссертация посвящена изучению роли электрон-фононного взаимодействия в различных электронных явлениях в полупроводниковых наноструктурах с учетом как эффекта размерного ограничения фононов, так и влияния внешних полей. Впервые изучен темп рассеяния и подвижность квазидвумерного электрона в инверсионном слое при рассеянии на акустических фононах в континуальном приближении в рамках модели "слой – полупространство" с различными упругими постоянными, с учетом влияния свободной поверхности "вакуум – диэлектрический слой" и поверхности раздела "диэлектрический слой – полупроводник" на формирование акустических фононных мод. Показано, что учет влияния границ раздела приводит к увеличению темпа релаксации среднего импульса в 5,32 раза по сравнению со значением, полученным в рамках модели "вакуум-полупроводник", и тем самым, устраняет разногласие между

теорией и экспериментом. Разработан метод энергетических потерь для изучения кинетических коэффициентов полупроводниковых наноструктур с квазидвумерным электронным газом, и вычислена подвижность электрона при рассеянии на кулоновских примесных центрах, на поверхностных шероховатостях и на сплавных неупорядоченностях наноструктуры. Показано, что при $T \leq 100$ К, когда доминирует рассеяние квазидвумерных носителей заряда на поверхностных шероховатостях, имеет место хорошее соответствие между теоретическими результатами и экспериментальными данными. Впервые изучена энергетическая релаксация горячей квазидвумерной электронной системы при рассеянии на акустических фононах в рамках континуальной модели «слой-полупространство» с различными упругими постоянными. С учетом размерного ограничения фононов изучена энергетическая релаксация квазиодномерных горячих электронов при рассеянии на акустических и полярных оптических фононах. Показано, что при низких электронных температурах ($T_e < 4$ К) имеет место хорошее соответствие между теоретическими результатами и экспериментальными данными. Рассмотрен канал релаксации электронов, фотогенерированных в трехмерных барьерных областях структуры с полупроводниковыми квантовыми точками, предполагающий захват электрона на возбужденный уровень квантовой точки с испусканием полярного оптического фонона и последующим переходом на основной уровень квантовой точки в результате Оже-рассеяния. Полученные для времени перехода зависимости от электронной температуры находятся в хорошем соответствии с экспериментальными данными. С использованием теории возмущений разработан новый теоретический метод, позволяющий при расчете основных характеристик квазиодномерного полярона в рамках теории Ли-Лоу-Пайнса учитывать вклад межподзонных переходов. Впервые с учетом эффекта размерного ограничения оптических фононов изучены собственная энергия и эффективная масса квазиодномерного полярона в присутствии магнитного поля, направленного вдоль оси цилиндрической квантовой проволоки и перпендикулярно направленного электрического поля. Показано, что при учете эффекта размерного ограничения фононов взаимодействия электрона с ограниченными и интерфейсными полярными оптическими фононами в основных поляронных характеристиках проявляются отдельно, что позволяет одновременно с поляроном рассматривать как отдельные квазичастицы также ограниченные и интерфейсные поляроны. С применением вариационного метода Ландау-Пекара, в рамках модели потенциальной ямы как бесконечной, так и конечной глубины, изучены связанные примесные состояния полярона в квантовой полярной полупроводниковой проволоке в

присутствии перпендикулярного к оси проволоки электрического поля. Изучена также зависимость энергии перехода полярона между основным и первыми возбужденными примесными состояниями от напряженности электрического поля. Показано, что взаимодействие электрона с полярными оптическими фононами увеличивает энергию перехода, а его вклад увеличивается с усилением электрического поля. С учетом эффекта размерного ограничения оптических фононов исследованы примесные и экситонные поляронные состояния в полярной полупроводниковой квантовой проволоке. Вычислены вклады ограниченных и интерфейсных фононов в их энергиях связи. Изучены водородоподобные примесные поляронные состояния в полярной полупроводниковой цилиндрической квантовой точке с диэлектрическим окружением при наличии перпендикулярного к оси квантовой точки электрического и параллельного магнитного полей. Показано, что поляронный вклад в энергию связи становится значительным в зависимости от размеров квантовой точки, положения примеси и напряженности электрического и магнитного полей. Поведение поляронного сдвига энергии связи рассмотрено в конкуренции с размерным, кулоновским, штарковским и магнитным ограничениями. Установлено, что, независимо от поведения вышеуказанных отдельных ограничений, поляронный сдвиг энергии связи увеличивается или уменьшается с усилением или ослаблением эффективного ограничения. Впервые исследованы электронные, дырочные и экситонные поляронные состояния в сферической полупроводниковой квантовой точке с учетом сложной структуры валентной зоны наноструктуры и эффекта размерного ограничения оптических фононов.

Ключевые слова: инверсионный слой, квантовая яма, квантовая проволока, квантовая точка, квазидвумерный электронный газ, квазиодномерный электронный газ, эффект размерного ограничения фононов, подвижность, энергетическая релаксация, Оже-рассеяние, полярон, дырочный полярон, экситонный полярон, электрическое поле, магнитное поле.

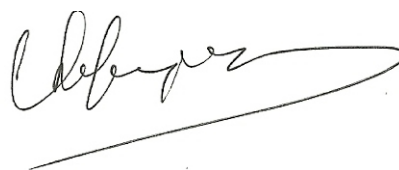
THEORETICAL INVESTIGATION OF PECULIARITIES OF ELECTRON-PHONON
INTERACTION IN SEMICONDUCTOR NANOSTRUCTURES

SUMMARY

The present dissertation is devoted to the study of the role of electron-phonon interaction in a various electronic phenomena in semiconductor nanostructures, taking into account both the phonon confinement effect and the influence of external fields. The quasi-two-dimensional electron scattering rate and the mobility due to electron-acoustic phonon interaction in inversion layer are studied for the first time by taking into account the phonon confinement effect in the framework of "dielectric layer – half space" model. It is shown that the influence of interfaces increases the relaxation rate of average momentum by 5.32 times compared with the value obtained in the framework of the model "vacuum–half space» and thereby eliminates the discrepancy between theory and experiment. An energy-loss-method for calculating kinetic coefficients in semiconductor nanostructures with quasi-two-dimensional gas of charge carriers is developed. Mobility expressions for electron scattering by Coulomb impurity centers, interface roughnesses and alloy disorders of nanostructure are obtained. It is shown that at $T \leq 100$ K when the interface roughness scattering dominates there is a good agreement between theoretical results and experimental data. In the framework of continuous model "layer-half space" with different elastic constants, the energy relaxation of the quasi-two-dimensional hot electron system by scattering of acoustic phonons is studied for the first time. Taking into account the phonon confinement effect the energy relaxation of quasi-one-dimensional hot electrons by scattering of acoustic and polar optical phonons is investigated. It is shown that at low electron temperatures ($T_e < 4$ K), there is a good agreement between the theoretical results and experimental data. The relaxation pathway for electrons photogenerated in three-dimensional barrier regions of semiconductor quantum dot structure is considered, assuming the electron capture to excited states of the quantum dot by emission of polar optical phonons and the subsequent transition to the quantum dot ground state due to Auger-scattering. The results obtained for the transition time as a function of the electron temperature are in good agreement with the experimental data. By using perturbation theory, a new theoretical method is developed allowing the calculation of the basic characteristics of quasi-one-dimensional polaron in the framework of the Lee-Low-Pines theory by taking into account the contribution of intersubband transitions. By taking into account the polar optical phonon confinement the self-energy and effective mass of a quasi-one-dimensional polaron in the presence of magnetic field parallel to the axis of the cylindrical quantum wire and the

electric field perpendicular to the wire axis are studied for the first time. It is shown that with allowance for the phonon confinement effect the electron interactions with confined and interface polar optical phonons are manifested separately which allows simultaneously with the polaron to consider confined and interface polarons as individual quasiparticles. The hydrogenic impurity binding energy in rectangular quantum well wire including both barriers of finite and infinite height is studied. The polaron effects on the ground-state binding energy in electric field are investigated by means of Landau-Pekar variation technique. The results for the binding energy as well as polaronic correction are obtained as a function of the size of the wire, the applied electric field intensity and the position of the impurity. It is found that the presence of optical phonons changes significantly the values of the impurity binding energies of the system. Taking into account the electron-LO phonon interaction the $1s \rightarrow 2p_y$ and $1s \rightarrow 2p_z$ transition energies are obtained. Our calculations are compared with previous results in quantum wires of comparable dimensions. Within the framework of the Li-Low-Pines theory the interaction of a Wannier-Mott exciton and hydrogenic impurity with polar optical phonons in a cylindrical quantum wire is studied, taking into account the phonon confinement effect. The binding energy polaronic shifts conditioned by both electron-confined-phonon and electron-interface-phonon interactions as a function of system parameters are obtained. The influence of electric and magnetic fields as well as electron-polar optical phonon interaction on an electron bound to a Coulomb impurity in a cylindrical quantum dot is studied. The interplay between the confinement effects due to applied fields, quantum-size confinements, and the electron-phonon coupling on the impurity binding energy is analyzed. Analytical expression for polaron energy has been obtained as a function of the quantum dot sizes, intensities of the electric and magnetic fields and the position of the impurity in the quantum dot. It is found that the corrections on impurity binding energy due to the LO phonons are very important and cannot be neglected. It is established that regardless of the behavior of the above mentioned separate restrictions the polaronic shift of the binding energy increases or decreases with increasing and decreasing the effective restriction. The polaronic shifts of the electron, hole and exciton ground state energies are studied by taking into account the interaction between single particles and both bulk- and interface-type LO phonons in spherical quantum dots with a degenerate valence band of nanostructure.

Key Words: inversion layer, quantum well, quantum wire, quantum dot, quasi-two-dimensional electron gas, quasi-one-dimensional electron gas, the phonon confinement effect, mobility, energy relaxation, Auger-scattering, polaron, hole polaron, excitonic polaron, electric field, magnetic field.

A handwritten signature in black ink, appearing to be 'C. Debye', with a long horizontal line underneath it.

