

Հաստատում եմ՝

ՀՀ ԳԱԱ Ֆիզիկական հետազոտությունների  
ինստիտուտի տնօրեն, ՀՀ ԳԱԱ թղթակից անդամ,  
Ֆիզ. մաթ. գիտ. դոկտոր՝

Ա.Վ. Պապոյան \_\_\_\_\_

«18» դեկտեմբերի 2023 թ.



### ԱՌԱՋԱՏԱՐ ԿԱԶՄԱԿԵՐՊՈՒԹՅԱՆ ԿԱՐԾԻՔ

Մենք Արթուրի Մկրտչյանի «Քվանտային կետերում մի քանի մասնիկային համակարգերի թերմոդինամիկական և օպտիկական հատկությունների ուսումնասիրումը» թեմայով, Ա.04.10 - «Կիսահաղորդիչների ֆիզիկա» մասնագիտությամբ ֆիզիկամաթեմատիկական գիտությունների թեկնածուի գիտական աստիճանի հայցման համար ներկայացված ատենախոսության վերաբերյալ:

#### Թեմայի արդիականությունը

Ժամանակակից կիսահաղորդչային նանոտեխնոլոգիաների թռիչքաձև զարգացումը հնարավորություն է տվել ստեղծել տարբեր տեսակի նանոկառուցվածքներ, որոնք ունեն մի քանի կամ մի քանի տասնյակ նանոմետր չափեր: Ի լրումն՝ այդպիսի նանոկառուցվածքները կարող են լինել տարբեր երկրաչափության՝ պարզ (գունդ, զլան և այլն), ինչպես նաև բարդ (պրիզմա, ոսպնյակ, և այլն): Մյուս կողմից, վերջին տարիներին փորձնականորեն ստացվել են էլիպսարդային և ոսպնյակաձև քվանտային կետեր, մասնավորապես, խիստ սեղմված ոսպնյակաձև կամ խիստ ձգված էլիպսարդային քվանտային կետեր:

Նանոկառուցվածքների ֆիզիկայի կարևոր ոլորտներից է մի քանի մասնիկային ֆիզիկան, քանի որ նրանք հատուկ դեր են խաղում կիսահաղորդչային կառուցվածքների օպտիկական և թերմոդինամիկական հատկությունների մեջ: Ընդհանուր դեպքում քվանտային կետերում մի քանի մասնիկային համակարգերի վիճակների նկարագրության խնդիրը դառնում է բավականին բարդ: Միննույն ժամանակ կան ճշգրիտ լուծելի մի քանի մասնիկային համակարգերի օրինակներ, որոնք տեղայնացված են պարաբոլիկ փոսի մեջ՝

մասնիկների միջև գույգ փոխազդեցությամբ: Այդպիսի մոդելներից է Մոշինսկու ատոմային մոդելը:

Ի լրումն՝ մի քանի մասնիկային վիճակների դասական կիրառություններին ավելացել են նաև կիրառության նոր ոլորտներ, որոնցից են քվանտային ինֆորմատիկան և քվանտային օպտիկան: Այս բարդ կառուցվածքներն ինտենսիվ հետազոտության առարկա են՝ իրենց բարդ հատկությունների շնորհիվ:

Աշխատանքի արդյունքները կարող են լայն կիրառություններ գտնել ոչ միայն քվանտային ինֆորմատիկայում, այնպես էլ այլ բնագավառներում: Այսպիսով՝ աշխատանքի արդիականությունը կասկած չի հարուցում:

Հաշվի առնելով վերը նշվածը՝ բարդ երկրաչափություն ունեցող քվանտային նանոկառուցվածքների մեկ և մի քանի մասնիկային օպտիկական և թերմոդինամիկական հատկությունների տեսական ուսումնասիրության խնդիրը (խիստ սեղմված ոսպնյակաձև կամ խիստ ձգված էլիպսարդային քվանտային կետերում) հրատապ խնդիր է:

Ատենախոսությունը, որի ծավալը 101 էջ է, բաղկացած է ներածությունից, 3 գլխից, եզրակացությունից և գրականության ցանկից:

**Ներածության մեջ** բերված է մեկ և մի քանի մասնիկային ֆիզիկայի ժամանակակից հետազոտությունների մասին տեղեկատվությունը և օգտագործված գրականության ակնարկը: Ձևակերպված են թեզի հիմնական նպատակները և ընդհանուր դրույթները:

**Ատենախոսության առաջին գլուխը** նվիրված է միջգոտիական և ներգոտիական օպտիկական անցումների ուսումնասիրությանը՝ խիստ սեղմված ոսպնյակաձև քվանտային կետերում արտաքին մագնիսական դաշտի առկայությանը: Բաժին 1.1-ում տրվում է գրականության ակնարկ, որը նվիրված է ոսպնյակաձև քվանտային կետերում մեկ մասնիկային վիճակների և օպտիկական էֆեկտների ուսումնասիրությանը: 1.2 բաժնում դիտարկվել են միջգոտիական օպտիկական անցումները խիստ սեղմված երկուռուցիկ ասիմետրիկ ոսպնյակաձև InAs քվանտային կետերում: Ստացվել են այդ կոմպլեքսների ալիքային ֆունկցիաները և էներգիական սպեկտրը: 1.3 բաժնում ուսումնասիրվել են միջգոտիական և ներգոտիական օպտիկական անցումները ոսպնյակաձև InAs քվանտային կետերում արտաքին առանցքային մագնիսական դաշտի առկայությանը: Բաժին 1.4-ում ուսումնասիրվել են ծանր խոռոչների ներգոտիական անցումները ոսպնյակաձև քվանտային Ge/Si կետերում:

**Ատենախոսության երկրորդ գլուխը** նվիրված է էլեկտրոնների և խոռոչային գազերի ուսումնասիրությանը՝ խիստ սեղմված ոսպնյակաձև կամ խիստ ձգված էլիպսարդային քվանտային կետերում: Բաժին 2.1-ում տրվում է գրականության ակնարկ, որը նվիրված է ոսպնյակաձև քվանտային կետերում էլեկտրոնների և խոռոչային գազերի վիճակների և օպտիկական էֆեկտների ուսումնասիրությանը: 2.2 բաժնում դիտարկվել է մի քանի մասնիկային գույգ փոխազդող էլեկտրոնային գազը խիստ ձգված էլիպսարդային քվանտային կետում. միջմասնիկային փոխազդեցությունը դիտարկվում է միայն առանցքային ուղղությամբ, քանի որ ճառագայթային ուղղությամբ չափերի քվանտացումը զգալիորեն ավելի ուժեղ է, քան միջմասնիկային փոխազդեցությունը: 2.3 բաժնում, նախորդ պարբերության անալոգիայի համաձայն, դիտարկվում է ծանր խոռոչային գազը խիստ ձգված էլիպսարդային քվանտային կետում: Բաժին 2.4-ում, ուսումնասիրվել է էլեկտրոնային գազը խիստ սեղմված ոսպնյակաձև քվանտային կետում: Նախորդ դեպքի համեմատությամբ փոխազդեցությունը դիտարկվում է Մոշինսկու ատոմի մոդելի հիման վրա (երկչափ փոխազդեցություն):

**Ատենախոսության երրորդ գլուխը** նվիրված է ծանր խոռոչային գազերի թերմոդինամիկական հատկությունների ուսումնասիրությանը: Այսպիսով, հաշվի են առնվել հետևյալը. ծանր խոռոչային գազի միջին էներգիան, ազատ էներգիան, էնտրոպիան և ջերմունակությունը: Բաժին 3.1-ում տրվում է գրականության ակնարկ, որը նվիրված է ոսպնյակաձև քվանտային կետերում էլեկտրոնների և խոռոչային գազերի թերմոդինամիկական հատկությունների ուսումնասիրությանը: 3.2 բաժնում դիտարկվել է ծանր խոռոչային մի քանի մասնիկային գազ՝ խիստ ձգված էլիպսարդային քվանտային կետում: Այս խնդրի լուծումներն արդեն տրվել են երկրորդ գլխում: Այստեղ հաշվարկված է վիճակագրական գումարը, միջին էներգիան, ազատ էներգիան, էնտրոպիան և ջերմունակությունը:

Դիտարկվել է մի քանի մասնիկային գույգ փոխազդող էլեկտրոնային գազը խիստ ձգված էլիպսարդային քվանտային կետում. միջմասնիկային փոխազդեցությունը դիտարկվում է միայն առանցքային ուղղությամբ, քանի որ ճառագայթային ուղղությամբ չափերի քվանտացումը զգալիորեն ավելի ուժեղ է, քան միջմասնիկային փոխազդեցությունը:

**Եզրակացության** մեջ ձևակերպված են աշխատանքում ստացված հիմնական արդյունքները, որոնք ունեն կիրառական նշանակություն:



Ատենախոսության շրջանակներում կատարված տեսական ուսումնասիրությունները նշանավորվել են մի շարք կարևոր արդյունքների ստացմամբ.

Աղիաբատական մոտավորության շրջանակներում կառուցվել է միջգոտիական և ներգոտիական մագնիսական կլանումների տեսությունը խիստ սեղմված երկուռուցիկ ուսպնյակաձև քվանտային կետում: Ստացվել են մեկմասնիկային վիճակների ալիքային ֆունկցիաների և էներգիական սպեկտրի վերլուծական տեսքերը, ինչպես նաև դուրս են բերվել միջգոտիական և ներգոտիական անցումների համար ջոկման կանոնները: Ուսումնասիրվել են նաև միջգոտիական և ներգոտիական կլանման գործակիցների ջերմաստիճանային կախվածությունները:

Ուսումնասիրվել են երկրորդ և երրորդ հարմոնիկի գեներացիայի գործակիցները՝ կախված ընկնող լույսի էներգիայից: Հաշվարկներն արվել են արտաքին մագնիսական դաշտի և քվանտային կետի չափերի տարբեր արժեքների համար:

Ուսումնասիրվել են էլեկտրոնային գազը և ծանր խոռոչների գազը խիստ ձգված էլիպսարդային և խիստ սեղմված ուսպնյակաձև քվանտային կետերում: Գազի միջմասնիկային փոխազդեցությունը հաշվի է առնվել Մոշինսկու աստմի մոդելի շրջանակում, երբ միջմասնիկային փոխազդեցությունը դիտարկվում է որպես զույգ և օսցիյատորային:

Ցույց է տրված, որ ինչպես միջմասնիկային փոխազդեցության առկայության, այնպես էլ դրա բացակայության դեպքում երկարալիքային ճառագայթման ազդեցության տակ ի հայտ են գալիս դիպոլային անցումներ, որոնք որոշվում են նույն հաճախությամբ, ինչը համարվում է Կոնի ընդհանրացված թեորեմի իրականացման ապացույց:

Դիտարկվել են խոռոչային գազի թերմոդինամիկական բնութագրերը խիստ ձգված էլիպսարդային և խիստ սեղմված ուսպնյակաձև քվանտային կետերում: Ուսումնասիրվել են գազի միջին էներգիայի, ազատ էներգիայի, էնտրոպիայի և ջերմունակության ջերմաստիճանային կախվածությունները:

Ատենախոսությունն ամբողջությամբ թողնում է դրական տպավորություն՝ հետևյալ կարևոր թերություններով հանդերձ.

1. Ատենախոսության առաջին գլխում քննարկված է միջգոտիական և ներգոտիական օպտիկական անցումների ուսումնասիրությունը խիստ սեղմված ուսպնյակաձև

քվանտային կետերում՝ արտաքին մագնիսական դաշտի առկայությամբ: Ցանկալի կլիներ հետազոտել նաև ֆոնոնի էֆեկտները և դրանց ներդրումը միջգոտիական և ներգոտիական օպտիկական անցումներում:

2. Ատենախոսության երկրորդ գլխում, երբ երկար ալիքային ճառագայթման ժամանակ ուսումնասիրվում է բազմամասնիկ կլանումը, բացի անցման էներգիայից անհրաժեշտ է նշել նաև անկման ալիքի երկարությունը և կլանման հաճախականության միջակայքը:
3. Ցանկալի կլիներ ավելի խորը ներկայացնել տեսական մոդելի և տեսական արդյունքների կապը փորձարարական արդյունքների հետ: Մասնավորապես՝ համառոտ ներկայացնել աշխատանքում դիտարկված քվանտային կետերի աճեցնելու եղանակները և իրականացվող փորձերում պարամետրերի, մասնավորապես՝ կիրառված մագնիսական դաշտի, արժեքները՝ դրանք համեմատելով տեսությունում օգտագործվող արժեքների հետ:
4. Ատենախոսության հիմնական գիտական դրույթների համար գլուխ երկրորդում նշվում է, որ դիտարկվել են ոսպնյականման Ge/Si քվանտային կետեր, որոնց համար ապացուցվել է Կոնի ընդհանրացված թեորեմը, այնինչ ատենախոսությունում դիտարկվել են միայն ոսպնյականման GaAs քվանտային կետեր, որոնց համար և ապացուցվել է Կոնի ընդհանրացված թեորեմը:

Նշված դիտողությունները սկզբունքորեն չեն վերաբերվում պաշտպանությանը ներկայացված հիմնական դրույթներին և աշխատանքի հիմնական արդյունքներին, ուստի չեն նսեմացնում աշխատանքի արժեքն ու դրա վերաբերյալ դրական կարծիքը: Աշխատանքում ստացված արդյունքների հավաստիությունը կասկած չի հարուցում:

Ատենախոսությունն իր արդիականությամբ, ծավալով, գիտական նորությամբ, և արդյունքների կարևորությամբ համապատասխանում է ՀՀ ԿԳՄՄՆ Բարձրագույն կրթության և գիտության կոմիտեի կողմից թեկնածուական ատենախոսություններին ներկայացվող պահանջներին:

Ատենախոսության հիմնական դրույթները հրապարակվել են հեղինակի 7 գիտական աշխատանքներում: Սեղմագիրն ամբողջովին համապատասխանում է ատենախոսությանը և արտացոլում է դրա հիմնական դրույթները:

Եզրակացություն

Միեր Արթուրի Մկրտչյանի «Քվանտային կետերում մի քանի մասնիկային համակարգերի թերմոդինամիկական և օպտիկական հատկությունների ուսումնասիրումը» թեմայով թեկնածուական ատենախոսությունն ավարտուն աշխատանք է, որը կատարված է պատշաճ գիտական մակարդակով: Իր ծավալով և գիտական մակարդակով այն լիովին համապատասխանում է ՀՀ ԿԳՄՄՆ Բարձրագույն կրթության և գիտության կոմիտեի կողմից թեկնածուական ատենախոսություններին ներկայացվող պահանջներին, իսկ նրա հեղինակն արժանի է Ա.04.10 - «Կիսահաղորդիչների ֆիզիկա» մասնագիտությամբ ֆիզիկամաթեմատիկական գիտությունների թեկնածուի գիտական աստիճանի շնորհմանը:

Հեղինակն աշխատանքը ներկայացրել է ՀՀ ԳԱԱ Ֆիզիկական հետազոտությունների ինստիտուտի ընդհանուր սեմինարին՝ 2023 թ.-ի դեկտեմբերի 18-ին: Աշխատանքի քննարկմանը մասնակցել են ֆիզիկամաթեմատիկական գիտությունների դոկտորներ Ա. Պապոյանը, Հ. Սարգսյանը, Դ. Սարգսյանը, Ա. Պետրոսյանը, ֆիզիկամաթեմատիկական գիտությունների թեկնածուներ Պ. Մուժիկյանը, Լ. Ծառուկյանը, Մ. Խանբեկյանը, Է. Գազազյանը, Գ. Պետրոսյանը, Ա. Սարգսյանը, Ս. Շմավոնյանը և ուրիշները:

ՀՀ ԳԱԱ Ֆիզիկական հետազոտությունների ինստիտուտի  
Ատոմային սպեկտրասկոպիայի լաբորատորիայի վարիչ՝  
ֆիզ.մաթ. գիտ. դոկտոր Դ.Հ. Սարգսյան

ՀՀ ԳԱԱ Ֆիզիկական հետազոտությունների ինստիտուտի  
Քվանտային օպտիկական համակարգերը սենսորի և հաղորդակցության համար  
ժամանակավոր կոլեկտիվի ղեկավար,  
ֆիզ.մաթ. գիտ. թեկնածու Մ.Ա. Խանբեկյան

« 18 » դեկտեմբերի, 2023 թ.

Դ.Հ. Սարգսյանի և Մ.Ա. Խանբեկյանի ստորագրությունները հաստատում են՝  
ՀՀ ԳԱԱ Ֆիզիկական հետազոտությունների ինստիտուտի  
գլխավոր տնօրեն ֆիզ.մաթ. գիտ. թեկնածու Լ.Ս. Ծառուկյան

