

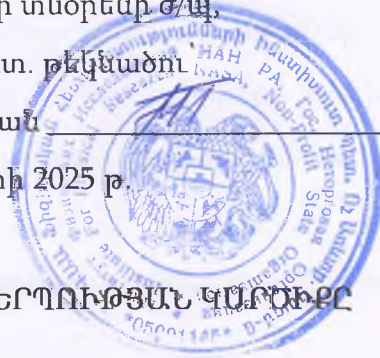
Հաստատում եմ՝

ՀՀ ԳԱԱ Ֆիզիկական հետազոտությունների  
ինստիտուտի տնօրենի ժ/պ,

Ֆիզ. մաթ. գիտ. թեկնածու

Պ.Հ. Մուժիկյան

«17» հունվարի 2025 թ.



**ԱՌԱՋԱՏԱՐ ԿԱԶՄԱԿԵՐՊՈՒԹՅԱՆ ԿԱՐԾԵՐ**

Պետրոս Արմենակի Պետրոսյանի «Մետաղական նանոմասնիկների համակարգերում որոշ պլազմոնային երևույթների ուսումնասիրությունը» թեմայով Ա.04.21 - «Լազերային ֆիզիկա» մասնագիտությամբ ֆիզիկամաթեմատիկական գիտությունների թեկնածուի գիտական աստիճանի հայցման համար ներկայացված ատենախոսության վերաբերյալ:

**Թեմայի արդիականությունը**

2011թ. Ֆիլադելֆիայի (ԱՄՆ) Դրեքսելի համալսարանի Նանոնյութերի ինստիտուտի լաբորատորիաներից մեկում սինթեզվել է 2D մի նոր նյութ, որն իրենից ներկայացնում է տիտանի կարբիդ, քիմիական բանաձևը՝  $Ti_3C_2$ : Շուտով պարզվեց, որ մաքսին (MXene) կոչված այդ նյութը օժտված է շատ յուրահատուկ հատկություններով: Օրինակ, լիցք կուտակելու նրա ունակությունը երկու անգամ գերազանցում է գրաֆենի նույն բնութագիրը: Բացի այդ մաքսինի հաղորդականությունը, որն ունի մետաղական բնույթ (ինչի մասին վկայում է դրա ձերմաստիճանային կախումը) ընդամենը մեկ կարգով է ցածր ազնիվ մետաղների հաղորդականությունից: Այնուհետև, մաքսինի օպտիկական հատկությունների փորձարարական ուսումնասիրման ժամանակ պարզվեց, որ դրանք էլ են հետաքրքրություն ներկայացնում, այս անգամ լազերային տեխնիկայի համար: Բանն այն է, որ տեսանելի և մոտիկ ինֆրակարմիր տիրույթներում մաքսինը ցուցաբերում է բավական ուժեղ կլանում և կարող է կիրառվել լազերային տեխնիկայում՝ գերկարճ լուսային իմպուլսներ գեներացնելու համար: Մյուս կողմից, մաքսինի դիմերների կլանման սպեկտրում Ֆանոյի ռեզոնանս է դիտվել, ինչը կարող է կիրառություն գտնել սենսորներ մշակման համար: Ատենախոսության մյուս գլխավոր թեման է մակերևույթով

ուժեղացված ռամանյան ցրումը (ՄՈՒՐՅ): Այդ պրոցեսում մաքսիմի նանոմասնիկները արդեն փորձարկվել են որպես տակդիրներ, ինչի արդյունքում ցրված ալիքի ուժեղացումը կազմել է  $10^5 - 10^7$ : Նշենք նաև այն շատ կարևոր բացահայտումը, որ քվադրուպոլային կլանման սպեկտրը բավականաչափ կայուն է մասնիկի չափերի և ձևի նկատմամբ, ինչը մեծ առավելությունը է այդ մասնիկները օպտիկական չափումներում որպես տակդիր օգտագործելու համար:

Այսպիսով, նկատի ունենալով վերը նշվածը՝ Պ.Պետրոսյանի ատենախոսության թեմայի արդիականությունը կասկած չի հարուցում:

Ատենախոսությունը, որի ծավալը 106 էջ է, բաղկացած է ներածությունից, 3 գլուխներից, եզրակացությունից և 140 միավոր պարունակող գրականության ցանկից:

Ներածության մեջ բերված են աշխատանքի խնդիրները և պաշտպանության ներկայացված դրույթները:

Ատենախոսության առաջին գլուխը նվիրված է մաքսիմի տարբեր չափեր և ձև ունեցող նանոմասնիկների և դրանց դիմերների կլանման սպեկտրներին: Առանձին ուշադրություն է դարձվում այդ սպեկտրներում Ֆանոյի ռեզոնանսի առաջացման պատճառներին: COMSOL Multiphysics ծրագրային փաթեթի կիրառմամբ մոդելավորվել են փորձերում ուսումնասիրված մասնիկները, կառուցվել են կլանման սպեկտրները, մակերևութային լիցքի բաշխումները ինչպես նաև էլեկտրական դաշտի քարտեզները գրեթե բոլոր վերլուծվող դեպքերի համար: Բոլոր դեպքերում նկատվել է չափումների և հաշվարկների արդյունքների համընկում: Դա թույլ է տվել Պ. Պետրոսյանին տպագրված փորձարարական որոշ աշխատանքներում հայտնաբերել ստացված արդյունքների իրականությանը հակասող մեկնաբանումներ: Մյուս կողմից, ցույց է տրվել, որ մաքսիմների կողմից լույսի կլանման մեխանիզմները դա միջգոտիական անցումներն են և պլազմոնային քվադրուպոլային տատանումները: Բացահայտված է նաև քվադրուպոլային պլազմոնների առաջացման պատճառը, ինչը լուսային ալիքի թեք անկումն է նանոմասնիկի մակերևույթի վրա: Ի դեպ՝ նանոմասնիկների դիմերների սպեկտրում Ֆանոյի ռեզոնանսը առաջանում է երկու քվադրուպոլային պլազմոնների փոխազդեցության շնորհիվ: Բացահայտվել է քվադրուպոլային տատանումների մի կարևոր հատկություն՝ դրանց սպեկտրը բավականաչափ թույլ է կախված մաքսիմի

մասնիկների չափերից և ձևից, ինչը, օրինակ, հեշտացնում է տակդիրների ընտրությունը ՄՈՒՌՅ-ի համար և մի շարք այլ կիրառությունների համար:

Ատենախոսության երկրորդ գլուխը նվիրված է մակերևույթով ուժեղացված ռամանյան ցրման (ՄՈՒՐՅ) ուժեղացման գործակցի հաշվարկին այն դեպքի համար, երբ մոլեկուլի տակդիրը մաքսիմի նանոմասնիկ է կամ դիմեր: Այս խնդրի լուծման ճանապարհին հայտնվել է մի դժվարություն, որը կապված է COMSOL-ի հնարավորությունների հետ: Բանն այն է, որ COMSOL-ը աշխատում է միայն մակրոսկոպիկ մեծությունների և օբյեկտների հետ, այնինչ մոլեկուլը և բևեռացվելիությունը այդպիսիները չեն: Այս դժվարությունը շրջանցելու համար Պ. Պետրոսյանը ընտրել է շատ պարզ և էֆեկտիվ ճանապարհ: Հաշվարկներում նա փոխարինել է մոլեկուլը հոծ դիելեկտրիկ գնդով, որի բևեռացվելիությունը համընկնում է R6G մոլեկուլի բևեռացվելիության հետ, ինչը հայտնի է չափումներից: Այնուհետև կիրառելով հայտնի բանաձևը՝ արտահայտել է գնդի նյութի դիելեկտրիկ թափանցելիությունը բևեռացվելիության միջոցով: Տակդիրը մոդելավերվել է մաքսիմի նանոսֆերոիդով, իսկ մոլեկուլը տեղադրված է դրա զագաթի մոտ: ՄՈՒՐՅ-ի ուժեղացման գործակցի համար ստացվաց արժեքը ստացվել է շատ մոտ փորձարարական արժեքին: Դիտարկվել է նաև այն դեպքը, երբ մոլեկուլը գտնվում է մաքսիմի երկու սֆերոիդների թեժ կետում, ինչի շնորհիվ ուժեղացման գործակիցը ընդունել է  $\sim 107$  արժեքը: Այստեղ պետք է շեշտել, որ մաքսիմի արժեքը անհամեմատ ցածր է ազնիվ մետաղների արժեքից, իսկ վերջիններս շատ հաճախ են կիրառվում ՄՈՒՐՅ-ի հետ կապված փորձերում:

Ատենախոսության երրորդ գլուխը նվիրված է մետաղական նանոմասնիկների տարբեր համակարգերում Ֆանոյի ռեզոնանսի ուսումնասիրմանը: Նշենք, որ 2017 թ. լույս տեսած Պ.Պետրոսյանի հոդվածը եղել է առաջինը, որտեղ դիտարկվել է Ֆանոյի ռեզոնանսը նանոմասնիկների եռաչափ համակարգում: Դա 4 նանոսֆերոիդների խումբ է, որոնք տեղադրված են քառանիստի զագաթներում այնպես, որ երեքի երկար առաքները գտնվում են նույն հարթության մեջ, որը պարունակում է երեք զագաթները: Նշված առանցքները հիմքի երեք կետերով անցնող շրջանագծի հետ կազմում են նույն փանկյունը: Չորրորդ մասնիկը գտնվում է չորրորդ զագաթում, և դրա երկար առանցքը ուղղված է զագաթից դեպի հիմքը տանող նորմալի վրա: Նշենք, որ մասնիկի չափերը լույսի ալիքի եկարությունից շատ անգամ փոքր են, ինչի շնորհիվ հաշվարկը

իրականացվում է քվադրատատիկ մոտավորությամբ և արդյունքները արտահայտվում են անալիտիկ բանաձևերով: Բացի այդ, համակարգի վրա ուղղված լուսային ալիքի էլեկտրական դաշտի վեկտորը ուղղահաս է հիմքին: Այս պայմաններում ընկնող լույսի անմիջական ազդեցությունը հիմքի մասնիկների վրա կարելի է անտեսել, քանի որ լայնական պլազմոնային տատանումների ռեզոնանսային հաճախությունը բավականաչափ հեռու է երկայնական տատանումների ռեզոնանսից: Այսպիսով, հիմքում գտնվող մասնիկների վրա ազդում է միայն գազաթում տեղադրված մասնիկի կողմից ցրված լույսը: Իսկ այդ մասնիկի վրա ազդում են. ա) ընկնող լույսը, և բ) հիմքի մասնիկների կողմից ցրված լույսը: Այստեղից պարզ է դառնում, որ համակարգի կլանման սպեկտրում կարող է Ֆանոյի ռեզոնանս հայտնվել: Հաշվարկը ցույց է տվել, որ կախված  $\varphi$  անկյան արժեքից՝ Ֆանոյի ռեզոնանսային հաճախությունը կարող է փոխվել 2.5 անգամ, իսկ Ֆանոյի ռեզոնանսի էֆեկտիվությունը՝ 8 անգամ: Արդյունքները հրապուրիչ են, սակայն նանոմասնիկների քննարկված 3D կոնֆիգուրացիա ստեղծելը ապագայի գործ է:

Բացի այդ, երրորդ գլխում Պ.Պետրոսյանը ցույց է տվել, որ փոքր չափերով ազնիվ մետաղական երկու մասնիկների դիմերում, երբ երկու մասնիկների երկար առանցքները նույն ուղղի վրա են գտնվում, հնարավոր է Ֆանոյի ռեզոնանս իրականացնել, ինչը մինչ այդ ժխտվում էր: Ամենայն հավանականությամբ ըստ Պ.Պետրոսյանի, այստեղ կարևոր դեր են խաղացել մասնիկների փոքր չափերը: Բացի այդ, երրորդ գլխում ցույց է տրվել, որ քվադրատատիկ մոտավորության սահմաններից դուրս գալը, ինչը ենթադրում է, որ հաշվի են առնվել փոխազդեցության ուշացման և ճառագայթումային շփման երևույթները, նպաստում է Ֆանոյի ռեզոնանսի էֆեկտիվության աճին:

**Եզրակացության մեջ ձևակերպված են ատենախոսության գլխավոր արդյունքները:**

Ատենախոսությունն ամբողջությամբ թողնում է շատ դրական տպավորություն: Թվային հաշվարկների արդյունքները պարտադիր մեկնաբանվում են ֆիզիկական դատողություններով և քննարկվում է այդ արդյունքների կիրառման հեռանկարը: Ստացված արդյունքների կարևորությունը կասկած չի հարուցում: Այնպես որ, թերությունների մասին խոսելն անտեղի է, սակայն արժե մի քանի ցանկություն հայտնել:

1. Կարելի էր նյութը հարստացնել մաքսիմների ընտանիքի մյուս ներկայացուցիչների հետ կատարված չափումների արդյունքների համեմատությամբ:

2.Ցույց է տրվել, որ դիմերի թեժ կետում ՄՈՒՌՑ-ի ուժեղացումն երկու կարգով մեծ է, քան մեկ մասնիկը որպես տակդիր օգտագործելու դեպքում: Սակայն կարևոր հարց է առաջանում, իսկ ի՞նչ կլինի, եթե երեք կամ ավելի մասնիկներ մասնակցեն պրոցեսին:

3.Մեծ հետաքրքրություն կառաջացնեն մաքսիմներում ոչ զծային օպտիկական երևույթների քննարկումը:

Պատահական սխալ՝ տրված երկու հղումները նույն աշխատությունն է՝ [84]A. Sarycheva et al., ‘Two-dimensional titanium ...’, և [114] A. Sarycheva et al., ‘Two-dimensional titanium ...’:

Նշված դիտողությունները սկզբունքորեն չեն վերաբերվում պաշտպանությանը ներկայացված հիմնական դրույթներին և աշխատանքի հիմնական արդյունքներին, ուստի չեն նսեմացնում աշխատանքի արժեքն ու դրա վերաբերյալ շատ բարձր կարծիքը: Աշխատանքում ստացված արդյունքների հավաստիությունը կասկած չի հարուցում: Նշենք, որ Պ. Պետրոսյանի ատենախոսությունը գրված է լավ անգլերեն լեզվով: Սա հնարավորություն կտա Պ. Պետրոսյանին տեղադրել իր աշխատանքը համացանցում, ինչը կհանգեցնի նոր գիտական շփումների արևմտյան գիտնականների հետ: Ատենախոսության մեջ նշված գրականության ցանկում կան բազմաթիվ հղումներ 2010 թվականից հետո տպագրված աշխատանքների վրա. այսինքն՝ հեղինակը քաջատեղյակ է այս ոլորտում վերջին աշխատանքներին:

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

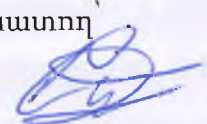
Ատենախոսության հիմնական դրույթները հրապարակվել են հեղինակի 4 գիտական աշխատանքներում: Մեղմագիրն ամբողջովին համապատասխանում է ատենախոսությանը և արտացոլում է դրա հիմնական դրույթները:

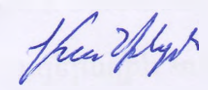
### Եզրակացություն

Պետրոս Արմենակի Պետրոսյանի «Մետաղական նանոմասնիկների համակարգերում որոշ պլազմոնային երևույթների ուսումնասիրությունը» 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 անկասկած արժանի է Ա.04.21 - «Լազերային ֆիզիկա» մասնագիտությամբ ֆիզիկամաթեմատիկական գիտությունների թեկնածուի գիտական աստիճանի շնորհմանը:

Պ. Պետրոսյանը աշխատանքը ներկայացրել է ՀՀ ԳԱԱ Ֆիզիկական հետազոտությունների ինստիտուտի ընդհանուր սեմինարին՝ 2025 թ.-ի հունվարի 17-ին: Աշխատանքի քննարկմանը մասնակցել են Ակադեմիկոս Ռ. Կոստանյանը, Ֆիզիկամաթեմատիկական գիտությունների դոկտորներ Ա. Պապոյանը, Դ.Սարգսյանը, Ա. Պետրոսյանը, Հ. Մինասյանը, Ա. Մելիքյանը, ֆիզիկամաթեմատիկական գիտությունների թեկնածուներ Պ. Մուժիկյանը, Լ. Ծառուկյանը, Մ. Խանբեկյանը, Ա. Մանուկյանը, Ս. Շմավոնյանը, Ա. Սարգսյանը, Գ. Պետրոսյանը, Է. Գազազյանը, Վ. Առաքելյանը և ուրիշները: Սեմինարի ընթացքում Պ. Պետրոսյանը դրսևորեց բարձր գիտական մակարդակ և լավ պատասխանեց բազմաթիվ հարցերին:

ՀՀ ԳԱԱ Ֆիզիկական հետազոտությունների ինստիտուտի  
Օպտիկայի և ատոմային սպեկտրասկոպիայի  
լաբորատորիայի առաջատար գիտաշխատող  
ֆիզ.մաթ. գիտ. դոկտոր Դ.Հ. Սարգսյան 

ՀՀ ԳԱԱ Ֆիզիկական հետազոտությունների ինստիտուտի  
Քվանտային օպտիկայի գիտական խմբի ղեկավար՝  
ֆիզ.մաթ. գիտ. թեկնածու Մ.Ա. Խանբեկյան 

«17» հունվարի 2025 թ.

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

