



Հաստատում եմ  
ՀՀ ԳԱԱ Ռադիոֆիզիկայի և էլեկտրոնիկայի  
ինստիտուտի տնօրեն՝  
Ֆ. մ. գ. թ. Տ.Վ. Զաքարյան  
«26» մարտի 2026թ.

### ՔԱՂՎԱԾՔ

ՀՀ ԳԱԱ Ռադիոֆիզիկայի և էլեկտրոնիկայի ինստիտուտի 2026թ. մարտի 26-ին կայացած սեմինարի արձանագրությունից:

ՆԵՐԿԱ ԷԻՆ՝

Ֆիզիկամաթեմատիկական գիտ. դոկտորներ, ՀՀ ԳԱԱ թղթ. անդամներ  
Ա. Հախումյանը և Ս.Գ. Պետրոսյանը, ֆ.մ.գ.դ. Ժ. Գևորգյանը  
Ֆիզիկամաթեմատիկական գիտ. թեկնածուներ Տ. Զաքարյանը, Է.  
Ասմարյանը, Վ. Քալանթարյանը, Ա. Մակարյանը, Լ. Գրիգորյանը, Տ.  
Աբրահամյանը, Վ. Թադևոսյանը, Ա. Մուսայեյանը, Ս. Ներսեսյանը,  
գիտաշխատողներ Ն. Պողոսյանը, Լ. Ղազարյանը, Ս. Մարտիրոսյանը, Զ.  
Թորիկյանը և այլ:

ԼՍԵՑԻՆ՝

ԵՊՀ Ֆիզիկայի ինստիտուտի Ֆիզիկական պրոցեսների մոդելավորման և  
ազդանշանների մշակման ամբիոնի վարիչ, տ.գ.թ., դոցենտ Հովհաննես  
Սամվելի Հարոյանի ելույթը «էլեկտրամագնիսական ալիքների  
կառավարումը ռեզոնանսային, ենթաալիքային տարրերով  
կառուցվածքներով» Ա.04.03 «Ռադիոֆիզիկա» մասնագիտությամբ  
ֆիզիկամաթեմատիկական գիտությունների դոկտորի գիտական  
աստիճանի հայցման ատենախոսության վերաբերյալ:

ԵԼՈՒՅԹ ՈՆՆԵՑԱՆ՝

Ա. Հախումյանը, Տ. Զաքարյանը, Ա. Մակարյանը, Ն. Պողոսյանը:

ՈՐՈՇԵՑԻՆ՝

Հաստատել «Էլեկտրամագնիսական ալիքների կառավարումը ռեզոնանսային, ենթաալիքային տարրերով կառուցվածքներով» թեմայով ատենախոսական աշխատանքի վերաբերյալ ստորև շարադրված կարծիքը:

**Ա Ռ Ա Ջ Ա Տ Ա Ր Կ Ա Ջ Մ Ա Կ Ե Ր Պ ՈՒ Թ Յ Ա Ն Կ Ա Ր Ծ Ի Ք**

Հովհաննես Սամվելի Հարոյանի ելույթը «Էլեկտրամագնիսական ալիքների կառավարումը ռեզոնանսային, ենթաալիքային տարրերով կառուցվածքներով» Ա.04.03 «Ռադիոֆիզիկա» մասնագիտությամբ ֆիզիկամաթեմատիկական գիտությունների դոկտորի գիտական աստիճանի հայցման ատենախոսության վերաբերյալ:

**Ատենախոսության թեմայի արդիականությունը**

Ենթաալիքաչափային և պլազմոնային կառուցվածքների միջոցով էլեկտրամագնիսական (ԷՄ) դաշտերի կառավարումն ունի առանցքային նշանակություն թե՛ հիմնարար գիտության, և թե՛ նորագույն տեխնոլոգիաների զարգացման համար:

Ի տարբերություն ավանդական օպտիկական և միկրոալիքային համակարգերի, որոնց հնարավորությունները խստորեն կաշկանդված են դիֆրակցիոն շեմով, այս նորարարական կառուցվածքները թույլ են տալիս շրջանցել նշված ֆիզիկական արգելքը՝ ապահովելով ԷՄ դաշտերի աննախադեպ տեղայնացում խիստ ենթաալիքաչափային և նանոմասշտաբային ծավալներում:

Նման համակարգերում զրգովող բազմազան ռեզոնանսային մոդերը բացում են ԷՄ ալիքի հիմնական պարամետրերի՝ ամպլիտուդի, փուլի, բևեռացման և տարածման ուղղության գերձզգրիտ վերահսկման հեռանկարներ՝ ճանապարհ հարթելով դեպի գերկոմպակտ և արդյունավետ սարքաշինություն: Ավելին, պլազմոնային ռեզոնանսների շնորհիվ դաշտի խիստ տեղայնացումը ուժեղացնում է «լույս-նյութ» փոխազդեցության ինտենսիվությունը, ինչը կենսական նշանակություն

ունի գերզգայուն սենսորների, նանոլազերների, ինչպես նաև ոչգծային օպտիկայի և քվանտային ֆոտոնիկայի առաջադեմ կիրառությունների համար:

Ենթալիքաչափային ռեզոնատորները մետանյութերի և մետամակերևույթների բազային տարրերն են: Վերջիններս ընձեռում են այնպիսի էկզոտիկ էլեկտրամագնիսական երևույթների իրագործման հնարավորություն, ինչպիսիք են բացասական բեկումը, կատարյալ կլանումը և ալիքների անոմալ անդրադարձումը, որոնք սովորաբար բնության մեջ չեն հանդիպում:

Այսպիսով, ենթալիքաչափային և պլազմոնային կառուցվածքների միջոցով էլեկտրամագնիսական դաշտերի ղեկավարումն առանցքային նշանակություն ունի նոր սերնդի ֆոտոնային, սենսորային, հեռահաղորդակցական և պատկերավորման (imaging) տեխնոլոգիաների զարգացման գործում:

Ներկայացվող ատենախոսության մեջ համակողմանիորեն հետազոտվել են պլազմոնային համակարգերում և մետակառուցվածքներում էլեկտրամագնիսական դաշտերի տեղայնացման ու կառավարման ֆիզիկական առանձնահատկությունները, ինչը խիստ արդիական է: Ստացված արդյունքների հիման վրա մշակվել և առաջարկվել են նորարարական կառուցվածքային լուծումներ՝ ֆոտոնային և միկրոալիքային ժամանակակից սարքերում վերջիններիս առավել արդյունավետ կիրառման նպատակով:

### Ատենախոսության կառուցվածքը

Աշխատանքի ընդհանուր ծավալը կազմում է 253 էջ: Այն բաղկացած է չորս գլուխներից, եզրակացությունից և 471 անուն պարունակող գրականության ցանկից:

Ատենախոսության հիմնական արդյունքները տպագրվել են 21 գիտական աշխատանքներում և զեկուցվել են 11 միջազգային գիտաժողովների նյութերում:

Ատենախոսության ներածության մեջ հիմնավորված է հետազոտվող թեմայի արդիականությունը, ձևակերպված են աշխատանքի նպատակն ու առաջադրված խնդիրները, ներկայացված են ստացված արդյունքների գիտական նորույթը, գործնական արժեքը, ինչպես նաև պաշտպանության ներկայացվող հիմնական դրույթները:

Ատենախոսության առաջին գլխում քննարկվել են գլանային սիմետրիայով տարատեսակ պլազմոնային միկրոռեզոնատորներ, ներկայացվել են դրանց դիսպերսիոն առնչությունները և

մողային կառուցվածքը նկարագրող տեսական ու թվային հաշվարկման մեթոդները: Ցույց է տրվել, որ տորոնիդալ և V-աձև ակոսավոր ռեզոնատորներում դաշտի խիստ ենթալիքաչափային տեղայնացման (մինչև ալիքի երկարության մեկ տասներորդը) հաշվին էապես աճում է սպոնտան ճառագայթումը բնութագրող Պարսելի գործոնը, որն ուղիղ համեմատական է ռեզոնատորի բարորակության և մողային ծավալի հարաբերությանը: Այս հանգամանքը նման կառուցվածքների կիրառման լայն հեռանկարներ է բացում լույսի աղբյուրներում, սենսորներում, ինչպես նաև քվանտային ինֆորմացիայի մշակման ֆոտոնային համակարգերում:

Աշխատանքում առաջարկվել է բարձր բարորակությամբ կիսազլանային միկրոռեզոնատորի նոր կառուցվածք: Դրանում սկին-շերտի կարգի հաստությամբ հարթ մետաղական թաղանթի կիրառումն ապահովում է ռեզոնատորի արդյունավետ գրգռում էվանեսցենտ կապի (evanescent coupling) միջոցով՝ ընկնող հարթ ալիքի կամ ալիքատարային մողի հետ փոխազդեցության պայմաններում:

Հիմնավորվել է նաև, որ կիսազլանային միկրոռեզոնատորում «շնչացող սրահի» (whispering gallery) մողերի ձևավորման ընթացքում Ֆարրի-Պերոյի ռեզոնանսային պայմանի իրագործումն ապահովում է համակարգի բարձր բարորակություն (մինչև  $2.5 \times 10^4$ ) և ռեզոնատորի կոր մակերևույթի երկայնքով դաշտի խիստ տեղայնացում: Սա հնարավորություն է ընձեռում տվյալ կառուցվածքը կիրառել որպես գերզգայուն սենսորային համակարգ, որն ունակ է գրանցելու արտաքին միջավայրի բեկման ցուցչի փոփոխությունները մինչև  $10^{-4}$  ճշգրտությամբ:

Ատենախոսության երկրորդ գլուխը նվիրված է գլանաձև և շերտավոր մետաատոմներում դրսևորվող կառուցվածքային ռեզոնանսի երևույթի բացահայտմանն ու վերլուծությանը: Հետազոտվել են գրաֆիտային հավելումներով միկրոշերտերից կազմված համակարգերի միկրոալիքային արձագանքի փուլային կառավարման մեխանիզմները: Բացի այդ վերլուծվել են ենթաալիքային տարրերի հիման վրա ստեղծված մետակառուցվածքներում լայնաշերտ և կառավարելի կլանման պայմանները: Հիմնավորվել է, որ աշխատանքային ալիքի երկարությամբ համեմատությամբ գերբարակ, գլանաձև կամ շերտավոր հաղորդիչ տարրերից կազմված մետամակերևույթները՝ միավոր բջիջներում գրգռվող կառուցվածքային ռեզոնանսների շնորհիվ

ունակ են ապահովելու արդյունավետ լայնաշերտ կլանում էլեկտրամագնիսական սպեկտրի միկրոալիքային, տերահերցային և օպտիկական տիրույթներում:

Մասնավորապես, կատարված հետազոտությունների միջոցով ստացվել են հետևյալ առանցքային արդյունքները.

- Միկրոալիքային տիրույթում. Ցույց է տրվել, որ որպես մետամակերևույթի բազային տարր հանդես եկող գրաֆիտային շերտերի կլանման լայնական հատույթը մոտ 22 անգամ գերազանցում է դրանց երկրաչափական հատույթին: Դրա արդյունքում 8–12 ԳՀց հաճախային տիրույթում ապահովվում է համաչափ կլանում (0.82-ից բարձր գործակցով)՝ անդրադարձման և անցման միջին գործակիցների համապատասխանաբար 0.13 և 0.05 արժեքներից ցածր արժեքների պայմաններում:
- Տերահերցային (ՏՀց) տիրույթում. Ապացուցվել է, որ վանադիումի երկօքսիդի ( $VO_2$ ) շերտերից կազմված մետամակերևույթի և անդրադարձնող ոսկյա թաղանթի համադրումը՝ տարանջատված 35 մկմ հաստությամբ դիէլեկտրիկով, դրսևորում է 0.9-ը գերազանցող կլանում 0.66–1.84 ՏՀց հաճախային տիրույթում: Միաժամանակ, հիմնավորվել է կլանման մակարդակի ակտիվ կառավարման հնարավորությունը՝ հիմնված  $VO_2$ -ի հաղորդականության շերմաստիճանային կախվածության վրա:
- Ինֆրակարմիր տիրույթում. Բացահայտվել է, որ նիկելե ժապավեններից կազմված մետամակերևույթը, որը մեկուսացված է անդրադարձնող նիկելե հարթ էկրանից  $SiO_2$ -ի 1.8 մկմ հաստությամբ շերտով, ապահովում է 0.9-ից բարձր գերլայնաշերտ (8.2–18 մկմ) կլանում: Այս երևույթը պայմանավորված է նիկելի շերտերում ցածր բարորակությամբ ռեզոնանսային մոդերի արդյունավետ գրգռմամբ:

**Ատենախոսության երրորդ գլխում** մշակվել և առաջարկվել են մագնիսադիէլեկտրիկ նյութերի և կիսազնդաձև ռեզոնատորների համակցման վրա հիմնված նորարարական մոտեցումներ, որոնք թույլ են տալիս նախագծել էլեկտրականապես փոքր, սակայն բարձր արդյունավետությամբ և լայնաշերտությամբ օժտված անտենաներ:

Հետազոտություններով հիմնավորվել է, որ մագնիսադիէլեկտրիկ նյութերի նպատակային կիրառումն ապահովում է անտենայի երկրաչափական չափերի կտրուկ՝ շուրջ 7 անգամ նվազեցում, և միաժամանակ թույլ է տալիս մոտ 6 անգամ ընդլայնել դրա թողարկման հաճախականային շերտը: Նման համալիր մոտեցումը հաջողությամբ հաղթահարում է էլեկտրականապես փոքր անտենաների նախագծման հիմնարար սահմանափակումը, որն ավանդաբար պայմանավորված է վերջիններիս չափազանց բարձր բարորակությամբ:

Բացի այդ, ցույց է տրվել, որ միկրոշերտային անտենայի վրա տեղադրված կիսազնդան մագնիսադիէլեկտրիկ ռեզոնատորներում գրգռվող «շնջացող սրահի» ռեզոնանսային մոդերի շնորհիվ հնարավոր է հասնել արդյունավետ ճառագայթման էապես ավելի ցածր հաճախային տիրույթում: Մասնավորապես, համակարգի ռեզոնանսային հաճախությունը նախնական 13 ԳՀց-ից տեղաշարժվել է դեպի 2.5 ԳՀց տիրույթ (նվազելով մոտ 5 անգամ)՝ լիովին պահպանելով անտենայի ուժեղացման գործակցի գործնականում ընդունելի և բարձր արժեքները:

Անտենախոսության չորրորդ գլխում լուսաբանվել են գերբարձրհաճախային (ԳԲՀ) և տերահերցային (ՏՀց) տիրույթներում ցածր օհմական կորուստներով, տվյալների փոխանցման գերմեծ արագություններ և լայնաշերտ ռեզոնանսային արձագանք ապահովող համակարգերի մշակման սկզբունքները: Այս համակարգերի հիմքում ընկած է ենթալիքաչափային հաղորդիչ գծերում Ջոմերֆելդի մակերևութային ալիքների գրգռման և տարածման ֆիզիկական մեխանիզմը:

Հիմնավորվել է, որ ենթալիքաչափային հաղորդիչ ձողերում հնարավոր է գրգռել մակերևութային ալիքներ՝ ձևավորելով այսպես կոչված Գուբոյի (Goubau) գծեր: Վերջիններս նշված հաճախային տիրույթներում ապահովում են դիսպերսիայի և օհմական կորուստների խիստ ցածր մակարդակ, ինչը հնարավորություն է ընձեռում դրանք լայնորեն կիրառել էլեկտրամագնիսական ալիքների մանիպուլացման և ազդանշանների գերարագ մշակման գործընթացներում: Ցույց է տրվել նաև, որ պարբերականորեն դասավորված ենթալիքաչափային ձողերից բաղկացած համակարգերը ցուցաբերում են բազմառեզոնանսային վարք. բարձր կարգերում գրգռվող ոչ ճառագայթային մոդերը նպաստում են դաշտի խիստ տեղայնացմանը և հզոր ռեզոնանսային բնութագրերի ձևավորմանը:

Որպես աշխատանքի առանցքային գիտական նորույթ՝ բացահայտվել և մանրամասնորեն պարզաբանվել է հաղորդիչ ձողերից կազմված երկշերտ մետամակերևութայիններում անոմալ խիստ

դիսպերսիոն անցման երևույթը: Պարզվել է, որ միկրոալիքային դաշտի ազդեցությամբ ձողերի վրա գոյանում են մակերևութային կանգուն ալիքներ, որոնք պայմանավորում են մոտակա դաշտերի (near-field) ինտենսիվ փոխազդեցությունը միջձողային տիրույթներում: Հաստատվել է, որ հակադիր շերտերում տեղակայված տարրերի միջև կապի գործակիցը կրում է կոմպլեքս բնույթ. դրա կեղծ մասի առկայությունը հանգեցնում է ռեզոնանսային գծի խիստ ասիմետրիայի և թափանցելիության կտրուկ փոփոխությունների: Վերոնշյալ ֆիզիկական սկզբունքների կիրառմամբ՝ ցույց է տրվել օպտիկական, մոտ ինֆրակարմիր և ՏՀց տիրույթներում լայնաշերտ ու կարգավորվող արգելափակող զտիչների (stop-band filters) իրագործման գործնական հնարավորությունը:

Եզրակացության մեջ ամփոփված են աշխատանքում ստացված հիմնական արդյունքները:

Ամփոփելով կարելի է եզրակացնել, որ ատենախոսական աշխատանքում ստացվել են տեսական և գործնական (կիրառական) մեծ նշանակություն ունեցող խիստ արժեքավոր ու նորարարական արդյունքներ: Ատենախոսության սեղմագիրը և հեղինակի կողմից հրատարակված գիտական աշխատանքները լիարժեքորեն արտացոլում են հետազոտության հիմնական բովանդակությունն ու պաշտպանության ներկայացվող դրույթները:

Ատենախոսությունը խիստ արժեքավոր է, սակայն զերծ չէ նաև որոշ թերություններից.

1. Առաջին գլխում դիտարկված է անվերջ երկարությամբ գլանային և կիսագլանային ռեզոնատոր: Չեն քննարկվել իրական՝ վերջավոր երկարությամբ ռեզոնատորներ և դրանցում մոդերի բաշխումը՝ կախված ռեզոնատորի երկարությունից:
2. Երրորդ գլխում դիտարկված անտենայի չափափաքացման մեթոդում՝ հիմնված միկրոշերտավոր անտենայի վրա տեղադրված մագնիսադիէլեկտրիկ ռեզոնատորի կիրառմամբ, չի հիմնավորված կիսագնդաձև երկրաչափության ընտրության անհրաժեշտությունը/նպատակահարմարությունը:
3. Չորրորդ գլխում դիտարկված երկշերտ մետակառուցվածքում պարզ չէ թե դիսպերսիոն անցումը ինչպես է կախված շերտերում ձողերի փոխդասավորվածությունից: Արդյո՞ք անհրաժեշտ է, որ մետակառուցվածքի տարրը անպայման լինի ձողաձև:

4. Ատենախոսության մեջ և սեղմագրում առկա են որոշ ոչ հստակ ձևակերպումներ և վրիպակներ:

Նշված թերությունները, սակայն, չեն կրում սկզբունքային բնույթ և չեն նսեմացնում աշխատանքի արժեքը: Աշխատանքում ստացված արդյունքների հավաստիությունը կասկած չի հարուցում:

Ատենախոսության արդյունքները կարող են օգտագործվել Երևանի պետական համալսարանի ֆիզիկայի ինստիտուտում, ՀՀ ԳԱԱ Ռադիոֆիզիկայի և էլեկտրոնիկայի ինստիտուտում, ՀՀ ԳԱԱ ֆիզիկական հետազոտությունների ինստիտուտում և այլուր:

#### Աշխատանքի համապատասխանությունը ՀՀ ԲԿԳԿ-ի պահանջներին

Ատենախոսությունն իր արդիականությամբ, ծավալով, գիտական նորությամբ, ձևակերպմամբ, հիմնավորմամբ և հիմնական արդյունքների կարևորությամբ համապատասխանում է ՀՀ ԲԿԳԿ-ի կողմից դոկտորական ատենախոսություններին ներկայացվող պահանջներին:

#### Հրապարակումները

Ատենախոսության հիմնական դրույթները հրապարակվել են հեղինակի 32 գիտական աշխատանքներում: Սեղմագիրը ամբողջովին համապատասխանում է ատենախոսությանը և արտացոլում է դրա հիմնական դրույթները:

#### Եզրակացություն

Ամփոփելով վերոշարադրյալը՝ կարելի է եզրակացնել, որ Հովհաննես Հարոյանի ատենախոսական աշխատանքում ձեռք են բերվել գիտագործնական մեծ նշանակություն ունեցող, կիրառական և հիմնարար արդյունքներ, որոնք կարող են զգալիորեն նպաստել էլեկտրամագնիսական ճառագայթման կառավարման, ինչպես նաև պլազմոնային միկրոռեզոնատորների և մետակառուցվածքների մշակման բնագավառի զարգացմանը:

Հետազոտությունների ընթացքում ստացված տվյալների և եզրահանգումների հավաստիությունը որևէ կասկած չի հարուցում: Աշխատանքում նկատված առանձին

թերություններն ու վրիպակները չեն կրում սկզբունքային բնույթ և ամենևին չեն նսեմացնում աշխատանքի գիտական արժեքը:

Ատենախոսության սեղմագիրը լիովին համապատասխանում է աշխատանքի բովանդակությանը և ճշգրտորեն արտացոլում է պաշտպանության ներկայացվող հիմնական դրույթները:

Ելնելով վերոնշյալից՝ գտնում ենք, որ Հովհաննես Հարոյանի «Էլեկտրամագնիսական ալիքների կառավարումը ռեզոնանսային, ենթաալիքային տարրերով կառուցվածքներով» վերնագրով ատենախոսությունն ավարտուն, գիտական բարձր մակարդակով կատարված աշխատանք է, որը լիովին բավարարում է ՀՀ ԲԿԳԿ-ի կողմից դոկտորական ատենախոսություններին ներկայացվող պահանջներին, իսկ հեղինակն արժանի է Ա.04.03՝ «Ռադիոֆիզիկա» մասնագիտությամբ ֆիզիկամաթեմատիկական գիտությունների դոկտորի գիտական աստիճանի շնորհմանը:

Կարծիքը կազմեց՝

ՀՀ ԳԱԱ Ռադիոֆիզիկայի և էլեկտրոնիկայի ինստիտուտի

Կիրառական ռադիոֆիզիկայի լաբորատորիայի ղեկավար, ֆ.մ. գ.թ.

 Ա. Հ. Մակարյան

Ա. Հ. Մակարյանի ստորագրությունը հաստատում եմ՝

ՀՀ ԳԱԱ Ռադիոֆիզիկայի և էլեկտրոնիկայի ինստիտուտի

գիտքարտուղար, ֆ.մ. գ.թ.

 Ս. Ներսեսյան

