ՊԱՇՏՈՆԱԿԱՆ ԸՆԴԴԻՄԱԽՈՍԻ ԿԱՐԾԻՔ

Հովհաննես Սամվելի Հարությանի ֆիզիկամաթեմատիկական գիտությունների դոկտորի աստիճանի հայցման համար Ա.04.03 «Ռադիոֆիզիկա» մասնագիտությամբ 049 «Ֆիզիկա» մասնագիտական խորհուրդ ներկայացված «էլեկտրամագնիսական ալիքների կառավարումը ռեզոնանսային, ենթաալիքային տարրերով կառուցվածքներով» թեմայով ատենախոսության վերաբերյալ:

<u>Ատենախոսության թեմայի արդիականությունը</u>

Արդի ֆոտոնիկայի առանցքային մարտահրավերներից է ԷՄ ալիքների խիստ վերահսկողությունը նանոմասշտաբներում՝ շրջանցելով ավանդական սարքերին բնորոշ դիֆրակցիոն սահմանափակումները: Այս համատեքստում հեղաշրջիչ նշանակություն ունի ենթալիքաչափային մետանյութերի և մետամակերևույթների կիրառումը: Ի հակադրություն բնական ծավալային նյութերի՝ այս համակարգերը բաղկացած են հատուկ նախագծված մետաատոմներից, որոնց երկրաչափական և նյութական կարգավորումը թույլ է տալիս գեներացնել բացառիկ էլեկտրական և մագնիսական արձագանքներ: Դա հանգեցնում է այնպիսի անոմալ ֆիզիկական էֆեկտների գեներացմանը, ինչպիսիք են բացասական բեկումն ու կատարյալ կլանումը: Այսպիսով, մետակառուցվածքներն ապահովում են ալիքի փուլային, ամպլիտուդային և բևեռացման աննախադեպ ազատություն՝ ճանապարհ հարթելով դեպի գերկոմպակտ ու գերարդյունավետ ֆոտոնային սարքավորումների արտադրություն:

Ենթալիքաչափային մետակառուցվածքներն այսօր կարևոր նշանակություն ունեն ինչպես կիրառական ճարտարագիտության, այնպես էլ հիմնարար գիտության մեջ: Գործնական առումով դրանք հնարավորություն են տալիս սինթեզել գերզգայուն սենսորներ օպտիկական տիրույթում և էլեկտրականապես փոքր անտենաներ (ESA) ու լայնաշերտ կլանիչներ՝ միկրոալիքային տիրույթում, ինչը կենսական է արդի հեռահաղորդակցության գերկոմպակտացման համար: Հիմնարար մակարդակում այս համակարգերը բացառիկ հարթակ են ստեղծում ԷՄ դաշտերի գերտեղայնացման (superlocalization) և լույս-նյութ փոխազդեցության աննախադեպ ուժեղացման համար՝ թույլ տալով ղեկավարել քվանտային ճառագայթման դինամիկան (Պարսելի էֆեկտի աճ) և սինթեզել նոր ռեզոնանսային երևույթներ:

Այսպիսով, ներկայացվող ատենախոսության գլխավոր նպատակն է հետազոտել ենթալիքաչափային և պլազմոնային համակարգերում ԷՄ դաշտերի տեղայնացման ու կառավարման ֆիզիկական մեխանիզմները և, հիմնվելով բացահայտված ռեզոնանսային օրինաչափությունների վրա, առաջադրել նորարարական կառուցվածքային լուծումներ՝ ժամանակակից ֆոտոնային և միկրոալիքային սարքաշինության մեջ կիրառելու համար:

<u>Ատենախոսության կառուցվածքը</u>

Աշխատանքի ընդհանուր ծավալը կազմում է 253 էջ: Ատենախոսությունը կազմված է չորս գլուխներից, եզրակացությունից և 471 անուն գրականության ցանկից:

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

<u>Ատենախոսության ներածությունում</u> հիմնավորված է հետազոտվող թեմայի արդիականությունը, ձևակերպված են աշխատանքի նպատակն

ու առաջադրված խնդիրները, ինչպես նաև ներկայացված են ստացված արդյունքների գիտական նորույթը, գործնական նշանակությունը և պաշտպանության ներկայացվող հիմնական դրույթները:

<u>Ատենախոսության առաջին գլուխը</u> նվիրված է գլանային սիմետրիա ունեցող տարատեսակ պլազմոնային միկրոռեզոնատորների ուսումնասիրությանը: Ներկայացված են դրանց դիսպերսիոն առնչությունները և մոդալ կառուցվածքը նկարագրող տեսական ու թվային մոդելավորման մեթոդները: Մասնավորապես, ցույց է տրվել, որ տորոիդալ և V-աձև ակոսավոր ռեզոնատորներում էլեկտրամագնիսական դաշտի խիստ ենթալիքաչափային (ալիքի երկարության մոտ 1/10-ի չափով) տեղայնացման շնորհիվ ապահովվում է բարորակության և մոդալ ծավալի հարաբերության (Q/V) էական աճ: Արդյունքում կտրուկ մեծանում է ինքնաբեր (սպոնտան) ճառագայթման ինտենսիվությունը բնութագրող Պարսելի գործոնը: Այս փաստը նմանատիպ կառուցվածքների կիրառման լայն հեռանկարներ է բացում նոր սերնդի լուսային աղբյուրներում, սենսորներում, ինչպես նաև քվանտային տեղեկատվության մշակման ֆոտոնային համակարգերում:

Այս գլխում առաջարկվել և հիմնավորվել է նաև բարձր բարորակությամբ նոր՝ կիսագլանային միկրոռեզոնատորի կառուցվածք: Այստեղ սկին-շերտի հաստության կարգի հարթ մետաղական թաղանթի կիրառումն ապահովում է ռեզոնատորի արդյունավետ գրգռում էվանեսցենտ դաշտի կապի միջոցով՝ ընկնող հարթ ալիքի կամ ալիքատարային մոդի հետ փոխազդեցության պայմաններում:

Ցույց է տրվել, որ կիսագլանային միկրոռեզոնատորում «շշնջացող սրահի» (whispering gallery) մոդերի և Ֆաբրի–Պերոյի ռեզոնանսային պայմանի համատեղ իրագործումը հանգեցնում է համակարգի բարձր

բարորակության ($\sim 2.5\times10^4$) և ապահովում մոդերի տեղայնացում ռեզոնատորի կոր պարագծի երկայնքով: Այս առանձնահատկությունը հնարավորություն է ընձեռում առաջարկված կառուցվածքը հաջողությամբ կիրառել բարձր զգայունությամբ սենսորային համակարգերում, մասնավորապես՝ արտաքին միջավայրի բեկման ցուցչի փոփոխությունները մինչև 10^{-4} ճշգրտությամբ գրանցելու համար:

<u>Երկրորդ գլխում</u> բացահայտվել և համակողմանիորեն վերլուծվել է գլանաձև կամ շերտավոր մետաատոմներում դիտվող կառուցվածքային ռեզոնանսի երևույթը: Ուսումնասիրվել է գրաֆիտային հավելումներով միկրոշերտերից կազմված համակարգերում միկրոալիքային ճառագայթման արձագանքի փուլային կառավարման հնարավորությունը, ինչպես նաև սահմանվել են ենթալիքաչափային տարրերից կազմված մետակառուցվածքներում լայնաշերտ և կարգավորվող կլանման պայմանները: Հետազոտությունները ցույց են տվել, որ աշխատանքային ալիքի երկարությունից անհամեմատ բարակ մետամակերևույթները՝ շնորհիվ միավոր բջիջներում գեներացվող կառուցվածքային ռեզոնանսների, ունակ են ապահովելու բարձրարդյունավետ լայնաշերտ կլանում սպեկտրալ տարբեր տիրույթներում:

Մասնավորապես, արձանագրվել են հետևյալ արդյունքները.

- **Միկրոալիքային տիրույթում.** Գրաֆիտային խառնուրդով շերտերի (որպես մետամակերևույթի տարր) կլանման լայնական հատույթը շուրջ 22 անգամ գերազանցում է դրանց երկրաչափական հատույթին: Դրա շնորհիվ 8–12 ԳՀց հաճախականային տիրույթում ապահովվում է 0.82-ը գերազանցող համաչափ կլանում՝ անդրադարձման (0.13) և անցման (0.05) խիստ ցածր գործակիցների պայմաններում:

- **Տերահերցային (ՏՀց) տիրույթում.** Առաջարկվել է կառուցվածք, որտեղ վանադիումի երկօքսիդի (VO_2) շերտերը 35 մկմ հաստությամբ դիէլեկտրիկով տարանջատված են ոսկյա անդրադարձնող հիմքից: Այս համակարգն ապահովում է 0.9-ից բարձր կլանում 0.66–1.84 ՏՀց տիրույթում: Միաժամանակ, ի հաշիվ ջերմաստիճանից կախված VO_2-ի հաղորդականության փոփոխության, ապացուցվել է կլանման մակարդակի ակտիվ կառավարման հնարավորությունը:
- **Ինֆրակարմիր տիրույթում.** Ցույց է տրվել, որ նիկելի ժապավեններից կազմված մետամակերևույթը, որը սիլիցիումի երկօքսիդի (SiO_2) 1.8 մկմ մեկուսիչ շերտով առանձնացված է անդրադարձնող նիկելե հարթակից, դրսևորում է 0.9-ը գերազանցող գերլայնաշերտ կլանում (8.2–18 մկմ): Այս երևույթը պայմանավորված է նիկելի շերտերում ցածր բարորակությամբ ռեզոնանսային մոդերի գրգռմամբ:

<u>**Ատենախոսության երրորդ գլխում**</u> մշակվել և առաջարկվել են նորարարական մոտեցումներ՝ հիմնված մագնիսադիէլեկտրիկ նյութերի կիրառման և ռեզոնատորների հետ կապակցման վրա, որոնք թույլ են տալիս սինթեզել էլեկտրականապես փոքր, սակայն բարձր արդյունավետությամբ լայնաշերտ անտենաներ:

Հիմնավորվել է, որ մագնիսադիէլեկտրիկ միջավայրերի նպատակային ինտեգրումը հանգեցնում է անտենայի երկրաչափական չափերի կտրուկ՝ շուրջ 7 անգամ նվազեցմանը, միաժամանակ մոտ 6 անգամ ընդլայնելով աշխատանքային հաճախականային շերտը: Այս փաստը հնարավորություն է ընձեռում հաջողությամբ շրջանցել փոքր չափերի անտենաների նախագծման հիմնարար ֆիզիկական սահմանափակումը, որը պայմանավորված է վերջիններիս ավելցուկային բարձր բարորակությամբ:

Բացի այդ, ցույց է տրվել, որ միկրոշերտային անտենայի վրա տեղադրված կիսագնդաձև մագնիսադիէլեկտրիկ ռեզոնատորներում գրգռվող «շշնջացող սրահի» (whispering gallery) մոդերի շնորհիվ համակարգն սկսում է արդյունավետորեն ճառագայթել զգալիորեն ավելի ցածր հաճախականություններում: Մասնավորապես, նախնական համաձայնեցված 13 ԳՀց ռեզոնանսային հաճախականությունը տեղաշարժվում է գրեթե հնգապատիկ ներքև՝ հասնելով շուրջ 2.5 ԳՀց-ի, ընդ որում՝ պահպանելով անտենայի ուժեղացման գործակցի ընդունելի բարձր մակարդակը:

<u>Ատենախոսության չորրորդ գլխում</u> լուսաբանվել են գերբարձր հաճախականությունների (ԳԲՀ) և տերահերցային (ՏՀց) տիրույթներում ցածր օհմական կորուստներով, տվյալների փոխանցման գերմեծ արագություններ ապահովող և լայնաշերտ ռեզոնանսային արձագանքով օժտված համակարգերի մշակման սկզբունքները: Այս լուծումները հիմնված են ենթալիքաչափ հաղորդիչ գծերում Զոմերֆելդի մակերևութային ալիքների գրգռման և տարածման երևույթների վրա: Համակողմանիորեն հետազոտվել է նաև երկշերտ մետամակերևույթներում դիտվող անոմալ ուժեղ դիսպերսիոն անցումը՝ հիմք ստեղծելով օպտիկական և ՏՀց տիրույթներում կարգաբերվող լայնաշերտ փակոցային զտիչների (stopband filters) նախագծման համար:

Մասնավորապես ցույց է տրվել, որ ենթալիքաչափային հաղորդիչ ձողերում մակերևութային ալիքների գրգռմամբ հնարավոր է ձևավորել այսպես կոչված Գուբոյի (Goubau) գծեր, որոնք ԳԲՀ և ՏՀց տիրույթներում ապահովում են ազդանշանի փոխանցման ցածր դիսպերսիա և աննախադեպ մեծ արագություն՝ նվազագույն օհմական կորուստներով: Միաժամանակ, նմանատիպ ձողերի պարբերական

դասավորությամբ կառույցները ցուցաբերում են բազմառեզոնանսային վարք. բարձր կարգի մոդերում գեներացվում են ոչ ճառագայթային ռեժիմներ, որոնք հանգեցնում են էլեկտրամագնիսական դաշտի խիստ տեղայնացման և հզոր ռեզոնանսների ձևավորման:

Առանձնահատուկ ուշադրություն է դարձվել հաղորդիչ ձողերից կազմված երկշերտ մետամակերևույթներում խիստ դիսպերսիոն անցման մեխանիզմին: Հաստատվել է, որ միկրոալիքային դաշտի ազդեցությամբ ձողերի վրա առաջանում են մակերևութային կանգուն ալիքներ՝ ապահովելով մոտակա դաշտերի (near-field) փոխազդեցություն միջձողային տիրույթներում: Հիմնավորվել է, որ հակադիր շերտերի միջև կապի գործակիցն ունի կոմպլեքս բնույթ, որի կեղծ մասի առկայությունը հանգեցնում է ռեզոնանսային գծի ասիմետրիայի և թափանցելիության կտրուկ անկումների: Այս ֆիզիկական երևույթների գործնական կիրառմամբ ցուցադրվել է մերձավոր ինֆրակարմիր տիրույթում կառավարելի, լայնաշերտ փակոցային զտիչների ստեղծման հնարավորությունը:

<u>Եզրակացության մեջ</u> ամփոփված են աշխատանքում ստացված հիմնական արդյունքները:

Ամփոփելով վերոշարադրյալը՝ հարկ է ընդգծել, որ աշխատանքում արձանագրվել են թե՛ հիմնարար-տեսական և թե՛ կիրառական բարձր նշանակություն ունեցող գիտական արդյունքներ: Հետազոտության հիմնական դրույթներն ու արձանագրված տվյալներն ամբողջ ծավալով և անհրաժեշտ խորությամբ ներկայացված են հեղինակի կողմից տպագրված հոդվածներում և ատենախոսության սեղմագրում :

<u>Աշխատանքի վերաբերյալ նկատված թերությունները</u>

Աշխատանքում տեղ գտած թերությունները՝

1. Առաջին գլխում դիտարկվում են էլեկտրամագնիսական դաշտի տեղայնացման ռեզոնանսային երևույթներ տարբեր երկրաչափություններում: Որպես հետաքրքրություն ներկայացնող հիմնական մեծություն հանդես է գալիս բարօրականությունը: Նշվում է որ տարբեր մեխանիզմեր կարող են ազդել նրա վրա: Այդ մեխանիզմերի թվում է ցրումը մակերևույթային անհարթությունների վրա: Չնայած թեզիսում այդ մեխանիզմը ընդհանուր արտահայտության մեջ նշվում է (բանաձև 1.4) հետագայում նրա վերաբերյալ ոչ մի կոնկրետ գնահատական չի բերվում: Օրինակ մետաղական գլանի հիման վրա կառուցված միկրոռեզոնատորի դեպքում ռեզոնանսային ալիքի երկարությանը 1500 նմ համապատասխանող սկին խորությունը ալյումինի համար 10 նմ կարգի է: Տիպական անհարթության 2 նմ դեպքում ազդեցությունը բարօրականության վրա կարող է էական դառնալ քանի որ այն որոշվում է վերը նշված մեծությունների հարաբերությամբ:
2. Երկրորդ գլխում դիտարկվում է այսպես կոչված կառուցվածքային ռեզոնանս և նրա վրա հիմնված մետամակերևույթներ որոնք կարող են մեծ կլանում ապահովել: Դիտարկված կլանման մաքսիմումը դժվար է ռեզոնանս անվանել քանի որ այն չունի ռեզոնանսներին հատուկ բնութագրիչներ: Պարզ չէ նաև պարբերականության դերը առաջարկված մետանյութերում:
3. Չորրորդ գլխում Զոմմերֆելդի մակերևույթային ալիքների կիրառմամբ մետամակերևույթները ուսումնասիրելիս թերի է պարզաբանված պարբերականության դերը:Սովորաբար պարբերական համակարգերը ուսումնասիրելիս առաջանում են այնպիսի մեծություններ ինչպիսիք են Բրյուիլենի զոնան, Բլոխի ֆունկցիաները որոնք այս դեպքում բացակայում են:

4. Սեղմագրում առկա են բազմաթիվ վրիպակներ:

Եզրակացություն

Ընդհանրացնելով վերլուծությունը՝ հարկ է ընդգծել, որ Հովհաննես Հարոյանի ատենախոսությունը ծանրակշիռ գիտական աշխատություն է, որտեղ արձանագրվել են տեսական և պրակտիկ մեծ արժեք ներկայացնող արդյունքներ: Հետազոտության ընթացքում ստացված տվյալների հավաստիությունը կասկած չի հարուցում, իսկ նկատված թերությունները բնավ չեն ստվերում կատարված աշխատանքի բարձր գիտական մակարդակը:

Սեղմագիրը կազմված է պահանջներին համապատասխան և սպառիչ կերպով ներկայացնում է ատենախոսության հիմնական դրույթները:

Այսպիսով, Հովհաննես Հարոյանի «Էլեկտրամագնիսական ալիքների կառավարումը ռեզոնանսային, ենթաալիքային տարրերով կառուցվածքներով» ատենախոսությունը լիովին համապատասխանում է դոկտորական աշխատանքների չափանիշներին, և հեղինակն արժանի է հայցվող՝ Ա.04.03 «Ռադիոֆիզիկա» մասնագիտությամբ ֆիզիկամաթեմատիկական գիտությունների դոկտորի գիտական աստիճանի շնորհմանը:

Պաշտոնական ընդդիմախոս՝

ֆ.մ.գ.դ., ՝ Ժ. Ս. Գևորգյան

Ժ. Ս. Գևորգյանի ստորագրությունը հաստատում եմ՝ ---------՝

Ա.Ա.Հ. «30» 03 2026թ.