

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

Պետրոսյան Կարեն Արայի

**ԼԱՋԵՐՈՎ ՄԱԿԱԾՎԱԾ ՀԻԴՐՈՂԻՆԱՄԻԿԱԿԱՆ
ՇԱՐԺՈՒՄՆԵՐ ՆԱՆՈՄԱՍՆԻԿՆԵՐՈՎ ՀԱՐՍԱՑՎԱԾ
ԻՋՈՏՐՈՊ ԵՎ ԱՆԻՋՈՏՐՈՊ ՀԵՂՈՒԿՆԵՐՈՒՄ**

Ա.04.21 «Լազերային ֆիզիկա» մասնագիտությամբ
ֆիզիկա-մաթեմատիկական գիտությունների թեկնածուի
գիտական աստիճանի հայցման ատենախոսության սեղմագիր

Երևան – 2019


Ատենախոսության թեման հաստատվել է Երևանի պետական համալսարանում

Գիտական ղեկավար՝ Ֆիզ.-մաթ. գիտ. դոկտոր,
պրոֆեսոր Ռ. Բ. Ալավերդյան
Պաշտոնական ընդդիմախոսներ՝ Ֆիզ.-մաթ. գիտ. դոկտոր Դ. Հ. Սարգսյան
Ֆիզ.-մաթ. գիտ. դոկտոր,
պրոֆեսոր Խ. Վ. Ներկարարյան
Առաջատար կազմակերպություն՝ Հայ-Ռուսական (Սլավոնական)
համալսարան

Պաշտպանությունը կայանալու է 2019թ. հունիսի 29-ին ժամը 12-ին, Երևանի պետական համալսարանում (0025, ք. Երևան, Ալեք Մանուկյան 1), ԲՈԿ-ի ֆիզիկայի 049 մասնագիտական խորհրդում:

Ատենախոսությանը կարելի է ծանոթանալ ԵՊՀ գրադարանում:

Սեղմագիրն առաքված է 2019թ. մայիսի 14-ին

Մասնագիտական խորհրդի
գիտական քարտուղար՝  Ֆիզ.-մաթ.գիտ. թեկնածու,
դոցենտ Վ.Պ. Քալանթարյան

Тема диссертации утверждена в Ереванском государственном университете

Научный руководитель: доктор физ.-мат. наук,
профессор Р. Б. Алавердян
Официальные оппоненты: доктор физ.-мат. наук Д. Г. Саркисян
доктор физ.-мат. наук,
профессор Х. В. Неркарарян
Ведущая организация: Российско-Армянский (Славянский)
университет

Защита диссертации состоится 29-го июня 2019г. в 12 часов в Ереванском государственном университете (0025, г. Ереван, ул. Алека Манукяна 1) на заседании Специализированного совета ВАК Физика-049.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ЕГУ.

Автореферат разослан 14-го мая 2019г.

Ученый секретарь
специализированного совета



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

ԱՇԽԱՏԱՆՔԻ ԸՆԴՀԱՆՈՒՐ ՆԿԱՐԱԳՐՈՒԹՅՈՒՆԸ

Թեմայի արդիականությունը

Արտադրության մեջ գիտական ձեռքբերումների արագ ներդրումն այսօրվա առաջնահերթություններից է: Դրա վառ օրինակներից է հեղուկ բյուրեղների (ՀԲ) օպտիկան և ֆոտոնիկան: ՀԲ-ների ֆիզիկայի բուռն զարգացումը աշխարհում հանգեցրել է արտադրական տեխնոլոգիաների սրընթաց վերելքի:

ՀԲ-ների օպտիկական հետազոտությունները և դրանց հիմքի վրա մշակված տեխնոլոգիաները, հատկապես մեծ թափ են ստացել վերջին մի քանի տասնամյակների ընթացքում: ՀԲ-ային միջավայրերի կարևորագույն առանձնահատկությունը, որով նրանք տարբերվում են իզոտրոպ հեղուկներից, դրանց մոլեկուլների երկար առանցքների կողմնորոշումային ազատության աստիճանի գոյությունն է: Վերջինս բնութագրում է հեղուկ անիզոտրոպ միջավայրում մոլեկուլների տարածական կարգավորվածությունը [1]: Քանի որ ՀԲ-ում մոլեկուլների կողմնորոշումային կարգը պայմանավորված է հիմնականում Վան-դեր-Վալսյան՝ դիսպերսային ուժերով, ուստի թույլ արտաքին ազդեցությունները հանգեցնում են կարգավորվածության աստիճանի զգալի փոփոխությունների [2]: Դա հանգեցնում է ՀԲ-ային փուլի բոլոր ֆիզիկական հատկությունների փոփոխության, որն ընձեռում է դրանց բնութագրերի հեշտ ղեկավարման հնարավորություն: ՀԲ-ներն օժտված են մեծ զգայունությամբ արտաքին այնպիսի դաշտերի նկատմամբ, ինչպիսիք են էլեկտրական, մագնիսական [3], լուսային դաշտերը [1, 4], ջերմային և հիդրոդինամիկական հոսքերը [5] և այլն: Վերն ասվածը կիրառական տեսանկյունից ՀԲ-ները դարձնում է չափազանց հեռանկարային էլեկտրոնիկայում, ջերմատեխնիկայում, բժշկության մեջ [6], և փորձարարական ֆիզիկայի տարբեր բնագավառներում՝ ֆոտոնիկայում [7], ոչ գծային օպտիկայում [4], քիմիայում, բիոլոգիայում [8] և այլն:

Վերջին տարիներին լայն թափ է ստացել լազերային ֆիզիկայի և ֆոտոնիկայի բուռն զարգացող մի նոր ուղղություն, որը կապված է ֆոտոնային արգելված գոտիով (ՖԱԳ) օժտված միկրոկառուցվածքներում՝ ֆոտոնային բյուրեղներում (ՖԲ) և միկրոռեզոնատորներում գծային և ոչ գծային օպտիկական երևույթների, ինչպես նաև լազերային ճառագայթման գեներացիայի հետազոտման հետ: Այդպիսի միկրոկառուցվածքներն օժտված են դիէլեկտրական թափանցելիության պարբերական մոդուլյացիայով, որի պարբերությունը տեսանելի լույսի ալիքի երկարության կարգի մեծություն է: Դրա հետևանքով առաջանում է ալիքային վեկտորների մի այնպիսի միջակայք, որով արգելված է լույսի տարածումը [9]: Ցույց է տրվել, որ առավել հետաքրքրական են այն ֆոտոնային կառուցվածքները, որոնցում առկա են արատներ [10], և հատկապես կիրառական տեսակետից, առավել հետաքրք-

րական են, երբ դրանք ղեկավարվող են արտաքին ներգործություններով [11, 12]: Բոլորովին վերջերս ցույց է տրվել, որ նման հնարավորություն կարող են ընձեռել նաև ՀԲ-ային թաղանթներում մակաձված հիդրոդինամիկական հոսքերով ձևավորված արատները [12]: Հետևաբար, ՀԲ-ային բարակ թաղանթներում հիդրոդինամիկական հոսքերով, կանխատեսելի և ղեկավարվող արատների մակաձումն ու ուսումնասիրումը կարող է ծառայել ՀԲ-ային օպտիկական տարրերում դրանց կիրառությունների ընդլայնմանը, ինչպես նաև գոյություն ունեցողների կատարելագործմանը:

Վերը թվարկվածներն են այն հիմնական պատճառները, որ այս բնագավառում հետազոտողների հետաքրքրություններին հաղորդում են ինչպես ակադեմիական, այնպես էլ կիրառական ասպեկտներ: Հիմնարար հետաքրքրությունն այն է, որ միջավայրի օպտիկական արձագանքը հնարավոր է ղեկավարել՝ օրինակ, կարելի է իրականացնել ֆոտոյումինեսցենցիայի կտրվածքի վերահսկելի ուժեղացում, թաղանթն անցած և անդրադարձած լույսի բևեռացման վերահսկելի փոփոխություն և այլն: ՀԲ-ներում մակաձված հիդրոդինամիկական շարժումների ուսումնասիրման կիրառական նշանակությունը կապված է դրանց հիման վրա նոր տիպի էներգախնայող, հեշտ կառավարվող և ցածր ինքնարժեքով ֆոտոնային և օպտոէլեկտրոնային սարքերի ստեղծման և գործողների կատարելագործման հեռանկարի հետ: Նմանատիպ տարրերի մշակումը կարևոր է նաև լույսի միջոցով լույսի ղեկավարման, օպտիկական տեղեկույթի փոխանցման, պահպանման և վերականգնման համար:

Անհրաժեշտ է ուշադրություն դարձնել այն հանգամանքին, որ հիդրոդինամիկական հոսքերը ՀԲ-ներում ունեն մի շարք առանձնահատկություններ, որոնցով դրանք տարբերվում են իզոտրոպ հեղուկներում հիդրոդինամիկական հոսքերից [13]: Նախ, դա պայմանավորված է նրանով, որ բացի հիդրոդինամիկական հոսքեր առաջացնող պատճառներից, որոնցով կարելի է ղեկավարել այդ հոսքերը, որպես այդպիսիք կարող են հանդես գալ նաև արտաքին էլեկտրական, մագնիսական, լուսային և այլ դաշտերը: Երկրորդ հանգամանքն այն է, որ ջերմային կոնվեկցիան նեմատիկ հեղուկ բյուրեղում (ՆՀԲ) բնութագրվում է մեծ թվով նյութական հաստատուններով, ինչը ենթադրում է դիսիպատիվ կառուցվածքների առաջացման բազմաբնույթ սցենարներ: Նշենք, որ ջերմային կոնվեկցիան բնութագրվում է մաճուցիկության Լեսլիի հինգ գործակիցներով, առաձգականության երեք գործակիցներով՝ Ֆրանկի հաստատուններով, ջերմահաղորդականության երկու գործակիցներով և ջերմային ընդարձակման գործակցով: Երրորդ կարևոր առանձնահատկությունը, պայմանավորված է ՀԲ-ների մոլեկուլների կողմնորոշման վրա պատերի և հիդրոդինամիկական հոսքերի ազդեցությամբ:

Արտաքին ազդակներով ղեկավարվող մի շարք օպտիկական տարրերի՝ նեղշերտ կառավարվող լուսազտիչների, միկրոռեզոնատորների, բարակ թաղանթային լյումինեսցենտ միջավայրերի, լույսի բևեռացման ղեկավարման

տարրերի և այլն, մշակման և ստեղծման համար մեծ հետաքրքրություն են ներկայացնում ոչ միայն ՀԲ-ներն ու ֆոտոնային կառուցվածքները, այլ նաև այն ՀԲ-ները, որոնք պարունակում են տարատեսակ արատներ: Առավել ևս, այն ՀԲ-ները, որոնք պարունակում են արտաքին ազդակներով դեկավարելի մակաձված արատներ: Այս ուղղությամբ փորձարարական հետազոտությունները չափազանց աղքատիկ են, եթե չասենք, որ շատ դեպքերում գրեթե բացակայում են:

Աշխատանքի նպատակը

Ներկայացվող առենախոսության նպատակն է մաքուր և նանոմասնիկներով հարստացված իզոտրոպ և անիզոտրոպ հեղուկներում հիդրոդինամիկական շարժումների լազերային գրգռումը, և դրանց վրա փոքր կոնցենտրացիայով նանոմասնիկների ազդեցության փորձարարական հետազոտումը, լազերով մակաձված հիդրոդինամիկական հոսքերի ազդեցությամբ հիբրիդ կողմնորոշված նեմատիկ հեղուկ բյուրեղների ուղղորդի վերակողմնորոշման և դրա հետևանքով հեղուկ բյուրեղային թաղանթի օպտիկական բնութագրերի փոփոխության փորձարարական հետազոտումը:

Գիտական նորույթը

Աշխատանքի գիտական նորույթը որոշվում է առաջին անգամ իրականացված փորձարարական աշխատանքների ստորև բերված համախմբությամբ.

1. Առաջին անգամ լազերային ճառագայթման կլանմամբ պայմանավորված ուղիղ ծավալային ընդարձակման մեխանիզմով մակաձվել է հիբրիդ կողմնորոշված նեմատիկ հեղուկ բյուրեղի ուղղորդի սահուն վերակողմնորոշում, երբ հիդրոդինամիկական հոսքի արագությունն ուղղված է ուղղորդի ճկման հարթությամբ՝ վերջինիս կորության կենտրոնից դեպի դուրս:
2. Առաջին անգամ լազերային ճառագայթման կլանմամբ պայմանավորված ուղիղ ծավալային ընդարձակման մեխանիզմով մակաձվել է հիբրիդ կողմնորոշված նեմատիկ հեղուկ բյուրեղի ուղղորդի թռիչքաձև վերակողմնորոշում, երբ հիդրոդինամիկական հոսքի արագությունն ուղղված է ուղղորդի ճկման հարթությամբ՝ դեպի վերջինիս կորության կենտրոնը:
3. Առաջին անգամ լազերային ճառագայթման կլանմամբ պայմանավորված ուղիղ ծավալային ընդարձակման մեխանիզմով մակաձվել է հիբրիդ կողմնորոշված նեմատիկ հեղուկ բյուրեղի ուղղորդի վերակողմնորոշում, երբ հիդրոդինամիկական հոսքի արագությունն ուղղված է ուղղորդի ճկման հարթությանն ուղղահայաց:
4. Առաջին անգամ ինտենսիվության գաուսյան բաշխմամբ միամող լազերային փնջով մակաձվել և փորձնականորեն ուսումնասիրվել է կանոնա-

վոր հիդրոդինամիկական շարժումներ նանոմասնիկներով հարստացված իզոտրոպ հեղուկի բաց մակերևույթով բարակ շերտում:

5. Առաջին անգամ ինտենսիվության գաուսյան բաշխմամբ միամող լազերային փնջով մակածվել և փորձնականորեն ուսումնասիրվել է կանոնավոր հիդրոդինամիկական շարժումներ բաց մակերևույթով նանոմասնիկներով հարստացված անիզոտրոպ հեղուկի՝ նեմատիկ հեղուկ բյուրեղի բարակ շերտում:

Կիրառական նշանակությունը

Աշխատանքի արդյունքների կարևորագույն կիրառական նշանակությունը կապված է տեղեկության արտապատկերման, լույսով ղեկավարվող տրանսպարանտների և լազերային ճառագայթման բևեռացման ու ինտենսիվության տարածական բաշխման ղեկավարման և փոխակերպման համար նախատեսված բարակ թաղանթային, էներգախնայող և ցածր ինքնարժեքով սարքերի ստեղծման հետ: Ստացված արդյունքները կարող են օգտագործվել լույսի միջոցով լույսի ղեկավարման բարակ թաղանթային սարքերի ստեղծման և ուսումնասիրման, ջերմաստիճանի փոփոխության արագության և ինֆրակարմիր ճառագայթման գերզգայուն տվիչների ստեղծման և կատարելագործման համար, ինչը կարող է օգտագործվել, մասնավորապես, անտառներում, և այլ վտանգավոր օբյեկտներում հրդեհների արագ հայտնաբերման և կանխարգելման տվիչներում:

Պաշտպանության են ներկայացված հետևյալ հիմնական դրույթները

1. Ուղիղ ծավալային ընդարձակման մեխանիզմով լազերով մակածված հիդրոդինամիկական հոսքերով հնարավոր է սահուն փոխել ուղղորդի բաշխումը հիբրիդ կողմնորոշված նեմատիկ հեղուկ բյուրեղում և ղեկավարել նրանով անցնող լույսի բևեռացումը:
2. Հիբրիդ կողմնորոշված նեմատիկ հեղուկ բյուրեղի ուղղորդի բաշխումը լազերով մակածված հիդրոդինամիկական հոսքերով կարելի է թռիչքաձև փոխել, դրանով իսկ թռիչքաձև փոխելով հեղուկ բյուրեղային թաղանթի օպտիկական հատկությունները:
3. Նանոմասնիկներով հարստացված բաց մակերևույթով իզոտրոպ հեղուկներում լազերով մակածված հիդրոդինամիկական հոսքերի արագությունը հնարավոր է կառավարել փոխելով նանոմասնիկների կոնցենտրացիան:
4. Նանոմասնիկներով հարստացված բաց մակերևույթով նեմատիկ հեղուկ բյուրեղում լազերով մակածված հիդրոդինամիկական հոսքերի արագությունը և, հետևաբար, օպտիկական հատկությունները հնարավոր է կառավարել փոխելով նանոմասնիկների կոնցենտրացիան:

Աշխատանքի ծավալը

Ատենախոսությունը բաղկացած է ներածությունից, երեք գլուխներից, ամփոփումից և 136 անուն պարունակող հղումների ցանկից: Աշխատանքի ընդհանուր ծավալը կազմում է 103 էջ, ներառյալ 29 նկարները: Յուրաքանչյուր գլուխ սկսվում է ներածությամբ, որտեղ հակիրճ ներկայացված է տվյալ գլխում քննարկվող խնդրի արդի վիճակը և ավարտվում է ամփոփումով, որտեղ բերված է տվյալ գլխում արված հիմնական եզրահանգումները:

Աշխատանքի ներկայացումը

Աշխատանքի հիմնական արդյունքները զեկուցվել են՝ Laser Physics – 2017 Հայաստան, Աշտարակ, (2017թ.) և IONS YEREVAN 2018 Հայաստան, Երևան (2018թ.) միջազգային գիտաժողովներում. Արդյունքները նաև պարբերաբար քննարկվել են ԵՊՀ օպտիկայի ամբիոնի սեմինարների ընթացքում:

Հրատարակությունները

Ատենախոսության թեմայով տպագրված է 3 գիտական հոդված և 2 միջազգային գիտաժողովների թեզիսներ, որոնց ցուցակը բերված է սեղմագրի վերջում:

ԱՇԽԱՏԱՆՔԻ ՀԱՄԱՌՈՏ ԲՈՎԱՆԴԱԿՈՒԹՅՈՒՆԸ

Ներածության մեջ հիմնավորված է ատենախոսության թեմայի արդիականությունը, ձևակերպված է աշխատանքի նպատակներն ու գիտական նորույթը, ձևակերպված է պաշտպանության ենթակա հիմնադրույթները, դրանց փորձարկումը, հակիրճ ներկայացված է բովանդակությունը և գործնական արժեքը:

Առաջին գլուխում, որն ունի ակնարկային բնույթ, բերված է աշխատանքի բուն թեմային առնչվող, այսօր հայտնի գրականության ամփոփ վերլուծությունը և այն հիմնական գաղափարներն ու սահմանումները, որոնք անհրաժեշտ են շարադրանքն առավել ընկալելի դարձնելու համար: Այն բաղկացած է ներածությունից, չորս պարագրաֆներից և ամփոփումից: Առաջին գլխի ներածության մեջ բերված է ՀԲ-ների վերաբերվող այն հիմնական սահմանումները, որոնք օգտագործվում են ատենախոսության հետագա շարադրանքում: 1.2-ում քննարկված է ՀԲ-ների դասակարգումն ու դրանց կողմնորոշման հիմնական տեսակները: 1.3-ը նվիրված է ՀԲ-ների հիմնական օպտիկական առանձնահատկություններին: 1.4-ում լուսաբանված է հեղուկներում հիդրոդինամիկական շարժումների առաջացման հիմնական մեխանիզմներն ու պայմանները և բերված է դրանց դասակարգումը: Քննարկված է Ռելեյ-Բենարի և Մարանգոնի կոնվեկցիայի առաջացման մեխանիզմները: 1.5-ում ներկայացված է հիդրոդինամիկական շար-

ժումները նանոմասնիկներով հարստացված հեղուկներում և ՀԲ-ներում: 1.6-ը առաջին գլխի ամփոփումն է:

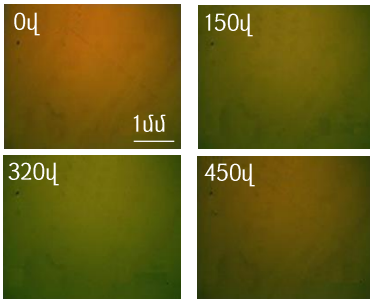
Երկրորդ գլխում փորձնականորեն ուսումնասիրվել է հիբրիդ կողմորոշմամբ ՆՀԲ-ական կառուցվածքում ուղիղ ծավալային ընդարձակման մեխանիզմով լազերով մակածված հիդրոդինամիկական հոսքերը և դրանց ազդեցությունը ՆՀԲ-ական թաղանթի օպտիկական հատկությունների վրա:

2.1-ում հիմնավորվում է, թե որն է հիդրոդինամիկական հոսքերի դերը ՀԲ-ներում, նշվում է, որ դա հանգեցնում է ՀԲ-ում ուղղորդի վերակողմնորոշմանը, ինչը թույլ է տալիս մի շարք այլ հնարավորությունների հետ մեկտեղ, ՀԲ-ի մոլեկուլների դասավորությունը և հետևաբար նաև նրա օպտիկական հատկությունները փոփոխել հիդրոդինամիկական հոսքերի միջոցով: Իրականացված է գրականության սեղմ վերլուծություն, որտեղ քննարկվում է ՆՀԲ-ներում հիդրոդինամիկական հոսքերի մակածման տարբեր մեխանիզմներ, ներկայացված է խնդրի արդի վիճակը և այս գլխում հետապնդվող նպատակը:

2.2-ում բերված է ՆՀԲ-ներում ուղիղ ծավալային ընդարձակման մեխանիզմով լազերով մակածված հիդրոդինամիկական շարժումների հետազոտման համար մշակված փորձարարական սարքի նկարագրությունը: Քննարկված է ՆՀԲ-ի բջջի տակդիրներին զուգահեռ հարթության մեջ համասեռ, հիբրիդ կողմնորոշման նրբություններն ու փորձում դրանց հաղթահարման եղանակները: Մեր դեպքում հիբրիդ կողմնորոշմամբ ՆՀԲ-ական բջիջ ստանալու համար բջջի տակդիրներից մեկի մակերևույթը (պլանարը) պատվել է Nylon 6/6 տիպի պոլիմերային $\sim 1 \div 2$ մկմ հաստությամբ թաղանթով, որն այնուհետև ենթարկվել է հատուկ ջերմային մշակման, ապա իրականացվել է վերջինիս նրբահղումը (rubbing) թավշյա գործվածքի վրա՝ տակդիրի երկայնական ուղղությամբ: Արդյունքում պոլիմերային շերտի վրա առաջացել են նուրբ խազեր, որոնք այդ տակդիրի վրա ապահովել են ՆՀԲ-ի մոլեկուլների պլանար կողմնորոշումը: Բջջի մյուս տակդիրի վրա, ՆՀԲ-ի մոլեկուլներին համեմատաբար կողմնորոշում հաղորդելու համար, նստեցվել է HTAB տիպի մակերևույթային ակտիվ նյութի (surfactant) միամոլեկուլային շերտ: Փորձում օգտագործվել է Merck ֆիրմայի E7 տիպի ՆՀԲ-ական խառնուրդ, որը գտնվում է նեմատիկ ՀԲ-ական փուլում $-10^\circ\text{C} \div 58^\circ\text{C}$ ջերմաստիճանային տիրույթում: Այն ստուգվել է նաև մեր կողմից իրականացված ստուգիչ փորձերով: Փորձում օգտագործված զոնդող STL-650 տիպի լազերի 650 նմ ալիքի երկարության վրա E7 նեմատիկ խառնուրդի համար անսովոր ալիքի բեկման ցուցիչը ունեցել է $n_e = 1.73$, իսկ սովորականը՝ $n_o = 1.54$ արժեքը, այսինքն $\Delta n = 0.19$: Հիդրոդինամիկական հոսքի արագության չափման համար ՀԲ-ին ավելացվել է այլումինի մանր՝ ~ 1 մկմ կարգի չափերով մասնիկներ: Որպես մղման ճառագայթում օգտագործվել է փնջի գառայան բաշխմամբ, $\lambda = 1.06$ մկմ ալիքի

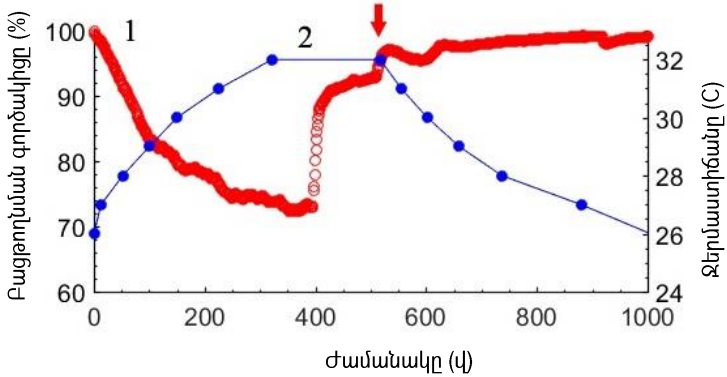
երկարությամբ, ինտենսիվության բաշխման կիսաբարձրության վրա 1.7 ± 0.1 մմ փնջի լայնությամբ քվադրանդնդիատ Nd:YAG լազերի փունջը:

2.3-ում ներկայացված է ուղիղ ծավալային ընդարձակման մեխանիզմով, հիբրիդ կողմնորոշված նեմատիկ հեղուկ բյուրեղներում լազերով մակաձված հիդրոդինամիկական շարժումների փորձարարական ուսումնասիրման արդյունքները: Հիբրիդ կողմնորոշված ՆՀԲ-ական բջջի տեսքը բևեռացումային մանրադիտակի տակ, մղման փնջի միացման պահից հաշված ժամանակի տարբեր պահերի համար բերված է նկ. 1-ում: Դժվար չէ նկատել, որ ժամանակի ընթացքում հիբրիդ կողմնորոշմամբ ՆՀԲ-ի շերտի գունավորումը փոխվում է, և վերադառնում իր սկզբնական երանգին ~450 վ անց: Դա տեղի է ունենում այն բանի շնորհիվ, որ մղման լազերային փնջով տաքացվող անոթում, 32°C ջերմաստիճանում, հաստատվում է ջերմային հավասարակշռություն և հիդրոդինամիկական հոսքը դադարում է, իսկ ՆՀԲ-ի ուղղորդը՝ ռելաքսացվում սկզբնական վիճակին:



Նկ. 1. Հիբրիդ կողմնորոշված ՆՀԲ-ական բջջի պատկերները մղման լազերի 130 մՎտ հզորության դեպքում, երբ հիդրոդինամիկական հոսքի արագությունն ուղղված է հիբրիդ կողմնորոշման կորուսության ներսից դեպի դուրս

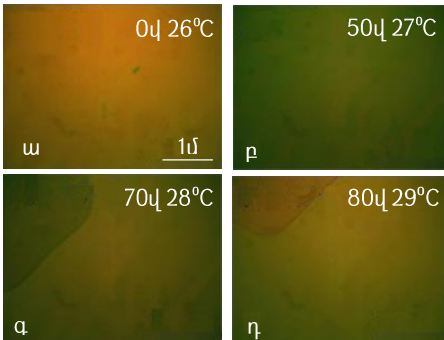
Փորձում չափվել է, նաև ուսումնասիրվող համակարգի՝ խաչված բևեռիչների միջև տեղադրված ՆՀԲ-ի հիբրիդ կողմնորոշված նմուշի, բացթողման գործակցի և բջջի օժանդակ անոթում ջերմաստիճանի հաստատման ժամանակային կախումները (նկ. 2): Նկարում կարմիր սլաքով նշված է այն պահը, երբ մղման Nd:YAG լազերային փունջն անջատվում է: Դժվար չէ նկատել, որ համակարգի բացթողման գործակիցը նվազում է մղման լազերի փնջի միացումից հետո առաջին 320 վ-ի ընթացքում և աճում է ~400 վ-ից մինչև ~450 վ, ինչը համընկնում է նկ. 1-ում բերված նկարների տեսողական արդյունքների հետ: Մղման փունջն անջատելուց հետո, երբ օժանդակ անոթում ՆՀԲ-ի ջերմաստիճանը սկսում է նվազել, ~500 վ անց օժանդակ անոթում հաստատվում է սկզբնական ջերմաստիճանը (նկ. 2): Չնայած այն հանգամանքին, որ մղման փունջն անջատելուց հետո տեղի է ունենում ՆՀԲ-ի հոսք, որն ուղղված է սկզբնականին հակառակ, բացթողման գործակցի վրա էական փոփոխություններ չեն դիտվում: Սա նշանակում է, որ ջերմային ռելաքսացիան տեղի է ունենում բավականաչափ դանդաղ: Այնպես որ, այդ դեպքում



Նկ. 2. Համակարգի բացթողման գործակցի (1) և օժանդակ անոթում ջերմաստիճանի (2) հաստատման ժամանակային կախվածությունը մղման փնջի միացման և անջատման դեպքում (անջատման պահը նշված է սլաքով), երբ մակաձված հիդրոդինամիկական հոսքն ուղղված է հիբրիդ կողմնորոշման կորույթյան ներսից դեպի դուրս՝ մղման լազերի 130 մՎտ հզորության դեպքում

Ծագող հիդրոդինամիկական հոսքի արագությունն ու դրա գրադիենտները բավարար չեն հիբրիդ կողմնորոշված ՆՀԲ-ի ուղղորդի լրացուցիչ զգալի ձևախախտումներ առաջացնելու համար:

Փորձում ուսումնասիրվել է նաև, համակարգի բացթողման գործակցի ժամանակային էվոլյուցիան, երբ մակաձված հիդրոդինամիկական հոսքն ուղղված է դեպի ուղղորդի բաշխման կորույթյան կենտրոնը: Այս դեպքում, մանրադիտակով արված լուսապատկերներն էապես տարբերվում են նկ. 1-ում համապատասխան պատկերներից: Նկ. 3-ի գ և դ պատկերների ձախ կողմում հստակ երևում է ՆՀԲ-ում ծագած դոմենային կառուցվածքը, որի գունավորումն էապես տեղափոխվում է իր շրջակա տիրույթի գունավորումից: Նկ. 3-ի գ-

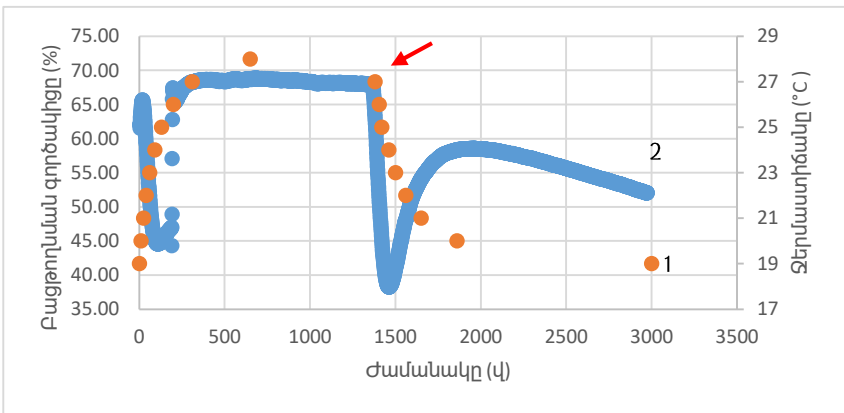


Նկ. 3. Հիբրիդ կողմնորոշված ՆՀԲ բջջի պատկերը մղման փնջի 130 մՎտ հզորության դեպքում, երբ հիդրոդինամիկական հոսքի արագությունն ուղղված է ուղղորդի բաշխման կորույթյան դրսից դեպի ներս

ում տեսնում ենք, որ այդ դրմենը տեղաշարժվում է ՀԲ-ի հոսքի ուղղությամբ և փոխում է իր գույնը: Այդ նոր առաջացած դրմենի բևեռացումային մանրադիտակով հետազոտումը, որով արված որոշ պատկերներ բերված է 3-ի գ և դ նկարներում, ցույց է տալիս, որ այդ տիրույթում ուղղորդի դեֆորմացիայի հարթությունը նույնն է, ինչ հարևան դրմենինը: Այսինքն, երբ նմուշի պլանար տակդիրի վրա կողմնորոշման ուղղությունը զուգահեռ է մանրադիտակի բևեռիչներից մեկին, երկու դրմենն էլ ունեն նվազագույն բացթողում: Նշենք, որ ՆՀԲ-ն այդ դրմենում չի կարող գտնվել իզոտրոպ հեղուկ վիճակում, քանի որ բջջի հարթ մազանոթում ջերմաստիճանը միշտ սենյակային է, իսկ օժանդակ անոթներում ջերմաստիճանը բավականին ցածր է E7 ՀԲ-ի իզոտրոպ փուլի անցնելու ջերմաստիճանից:

2.4-ում նկարագրված է հիդրոդինամիկական հոսքերի ազդեցությունը հիբրիդ կողմնորոշված ՆՀԲ-ի օպտիկական հատկությունների վրա, երբ բջջում մակաձված հիդրոդինամիկական հոսքի արագությունն ուղղված է ուղղորդի ճկման հարթությանն ուղղահայաց: Ի տարբերություն նախորդ դեպքի, այստեղ մենք գործ ունենք ուղղորդի շատ ավելի բարդ դեֆորմացիայի հետ, որն էլ արտահայտվում է խաչված բևեռիչների միջև տեղադրված հետազոտվող բջջի բացթողման գործակցի կտրուկ փոփոխություններով (նկ. 4):

2.5-ում բերված է մի քանի ստուգիչ փորձերի արդյունքներ, որոնք վերաբերվում են ղեկավարվող ճնշումների տարբերությամբ մակաձված հիդրոդինամիկական շարժումների փորձարարական ուսումնասիրմանը հիբրիդ կողմնորոշված ՆՀԲ-ներում: Այդ թեստային փորձերով ցույց է տրվել, որ հիդրոդինամիկական հոսքը հանգեցնում է հիբրիդ կողմնորոշված ՆՀԲ-ի շերտի գունավորման փոփոխությանը, ինչն էլ հենց դիտվել էր մակաձված



Նկ. 4. Մղման փնջի ազդեցությամբ բջջի օժանդակ անոթում ջերմաստիճանի (1) և համակարգի բացթողման գործակցի (2) կախումը ժամանակից

հիդրոդինամիկական հոսքերի արդյունքներում: Բևեռացումային մանրադիտակով արված ուսումնասիրությունները ցույց են տալիս, որ այս դեպքում առաջանում են առանձին դոմեններ, որոնք չնայած տարբերվում են իրենց գունավորմամբ շրջապատող տիրույթի գունավորումից, սակայն օժտված են նույն բևեռացումային օպտիկական հատկություններով, այսինքն դրանցում նույն են ուղղորդի դեֆորմացիայի հարթությունները:

2.6-ում ամփոփված է այս գլխում ստացված հիմնական արդյունքները:

Երրորդ գլուխը նվիրված է բաց մակերևույթով իզոտրոպ և անիզոտրոպ նանոհեղուկների բարակ շերտերում լազերով մակածված կոնվեկցիայի փորձարարական հետազոտմանը: Ներկայացված են լազերային ճառագայթման կլանմամբ մակածված Մարանգոնի կոնվեկցիայի վերաբերյալ ուսումնասիրությունները ինչպես իզոտրոպ հեղուկների, այնպես էլ անիզոտրոպ հատկություններով օժտված ՀԲ-ների համար: ՀԲ-ում ջերմային կոնվեկցիայի ուսումնասիրությունները բավական մեծ հետաքրքրություն են ներկայացնում շնորհիվ այն բանի, որ մի կողմից դրանց համար անկայունության սահմաններն էապես տարբերվում են իզոտրոպ հեղուկների համար համապատասխան արժեքներից՝ արտաքին ազդեցությունների միևնույն ֆիզիկական պարամետրերի դեպքում: Բացի այդ, ի տարբերություն իզոտրոպ հեղուկների, ՆԸԲ-ներում կոնվեկցիան բերում է ուղղորդի և, հետևաբար թաղանթի օպտիկական հատկությունների մոդուլյացիայի:

3.1-ը կրում է ակնարկային բնույթ, որտեղ հստակեցված է սույն գլխում քննարկվող խնդրի դրվածքը և դրա արդի վիճակը:

3.2-ում քննարկված է նանոհեղուկների ջերմահաղորդականության որոշ առանձնահատկություններ, որոնց իմացությունը կարևոր է նանոհեղուկներում կոնվեկցիայի առանձնահատկությունները ճիշտ ընկալելու համար: Քննարկված է նանոհեղուկների ջերմահաղորդականության հնարավոր տարբեր մեխանիզմներ և նշվում է, որ այսօր այստեղ միասնական տեսություն գոյություն չունի [14]: Չնայած դրան, հայտնի է, որ չնչին կոնցենտրացիայով նանոմասնիկների առկայությունը հեղուկում, էապես փոխում է վերջինիս ջերմահաղորդականության գործակիցը, ուստի կարելի է ենթադրել, որ նանոմասնիկները կարող են ունենալ էական ազդեցություն կոնվեկցիայի վրա:

3.3-ում բերված է բաց մակերևույթով հեղուկների բարակ (~250 մկմ) թաղանթներում կոնվեկցիայի ուսումնասիրման փորձարարական սարքի նկարագրությունը:

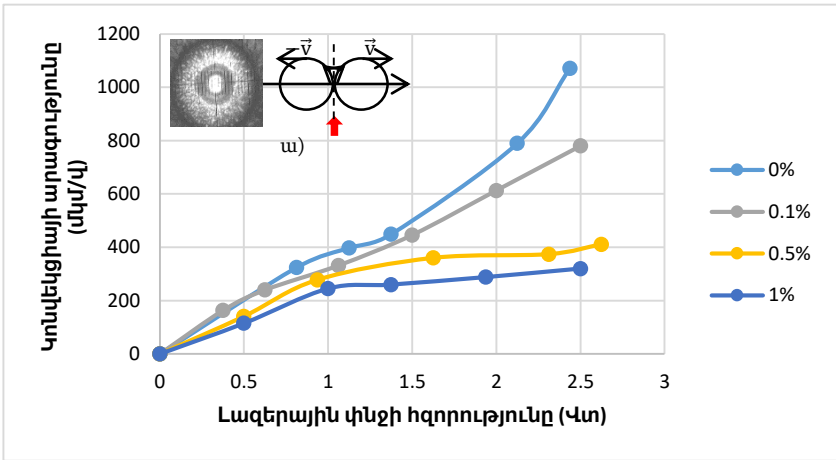
3.4-ում առաջին անգամ փորձնականորեն ուսումնասիրվել է նանոմասնիկներով հարստացված իզոտրոպ հեղուկում լազերով մակածված Մարանգոնի կոնվեկցիան: Փորձում իզոտրոպ նանոհեղուկի բաց մակերևույթով բարակ թաղանթի վրա ինտենսիվության գաուսյան բաշխմամբ լազերային փնջի կլանման արդյունքում մակածվում են հիդրոդինամիկական շարժումներ, որը հստակ դիտվում է CCD թվային տեսախցիկի միջոցով: Այդ հիդրոդինամիկա-

կան շարժումները փորձի որոշակի պայմանների դեպքում (մասնավորապես ընկնող լազերային փնջի հզորությունից և նանոհեղուկի շերտի հաստությունից կախված) ձևավորում են նանոհեղուկի տորոիդալ համաչափությամբ կոնվեկտիվ հոսքեր:

Բնական է, որ ինտենսիվության գաուսյան բաշխմամբ լազերային փնջի ճառագայթման կլանման արդյունքում նանոհեղուկի վերին մակերևույթին կառաջանա շառավղային ջերմաստիճանային գրադիենտ: Ընդ որում հեղուկի մակերևույթի այն տեղում, որտեղ ընկնում է ինտենսիվության գաուսյան բաշխմամբ լազերային ճառագայթման փունջը, ջերմաստիճանի բաշխումը, ինչպես հայտնի է որակապես հետևում է ինտենսիվության բաշխմանը: Այսինքն, փնջի կենտրոնական մասում ջերմաստիճանն առավելագույնն է, հետևաբար դրան համապատասխանում է հեղուկի մակերևույթային լարվածության գործակցի ավելի փոքր արժեք: Այլ կերպ ասած, ապահովվում է Մարանգոնիի կոնվեկցիայի առաջացման պայմանները և տեղի է ունենում հեղուկի հոսք մակերևույթային լարվածության փոքր արժեք ունեցող տիրույթից դեպի ավելի մեծ արժեք ունեցող տիրույթ:

Փորձում մղման լազերային փնջի միացման պահից հաշված, սկզբում առաջանում է մակերևույթային «սոլիտոնանման» ալիք, որը սկիզբ է առնում բջջի այն մասում, որտեղ ընկնում է մղման լազերային ճառագայթման մաքսիմումը: Այնուհետև հեղուկի ավելի տաք տիրույթները լազերային փնջի կենտրոնական մասից սկսում են տեղափոխվել դեպի մղման լազերային փնջի եզրերը, իսկ վերջիններիս տեղը զբաղեցնում են հեղուկի ներքևի շերտերից բարձրացող համեմատաբար սառը տիրույթները: Նկարագրված հոսքերի ձևավորումը տեսանելի է դառնում շնորհիվ նանոհեղուկի մեջ ավելացված ալյումինի չնչին կոնցենտրացիայով փոքր մասնիկների: Թվային տեսախցիկով մանրադիտակի դաշտում հստակ դիտվում է, թե ինչպես են այդ մասնիկները հեղուկի ստորին շերտերից բարձրանալով հասնում մակերևույթ և լազերային փնջի կենտրոնից տեղաշարժվում դեպի փնջի եզր: Փորձում չափվել է ալյումինի մասնիկների, տորի շառավղով շարժման առավելագույն արագությունը (տես նկ. 5-ի ա ներդիրը, որի ձախ մասում բերված է հեղուկում մակաձված Մարանգոնիի տորաձև կոնվեկցիայի պատկերը, իսկ աջում՝ այդ կոնվեկցիան պարզաբանող գծապատկերը, որտեղ կարմիր սլաքով նշված է մղման լազերային փնջի անկման դիրքն ու ուղղությունը, իսկ Վ-ով՝ տորի այն կետում մասնիկների արագությունը, որը չափվել է փորձում):

3.5-ում փորձնականորեն ուսումնասիրված է Մարանգոնիի լուսամակաձված կոնվեկցիան նանոմասնիկներով հարստացված նեմատիկ հեղուկ բյուրեղներում: Ինչպես և իզոտրոպ հեղուկի դեպքում, այս փորձերում նույնպես օգտագործվել է BaTiO_3 տիպի նանոմասնիկներ, որոնց չափերը գտնվել են 10÷100 մկմ սահմաններում: Հետազոտվել է նանոմասնիկների առկայության ազդեցությունը կոնվեկտիվ շարժման արագության վրա, ըստ կշռի նանոմաս-

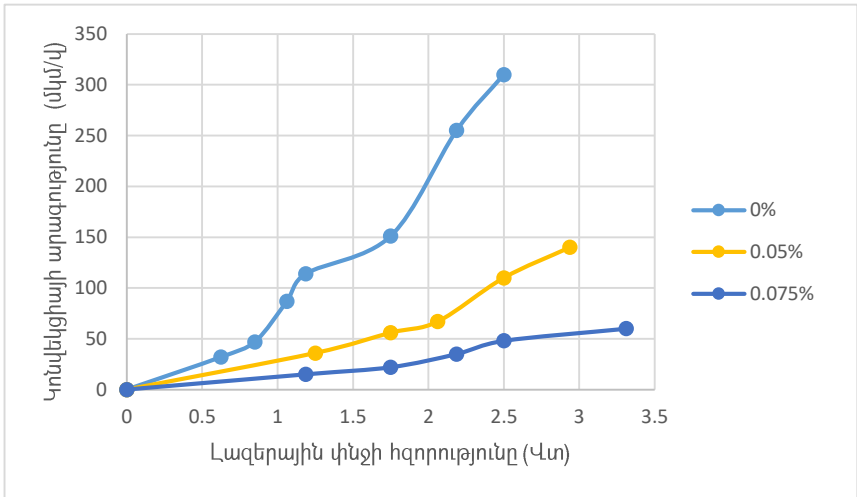


Նկ. 5. Յուղում կոնվեկտիվ շարժումների արագության կախումն ընկնող լազերային ճառագայթման հզորությունից՝ BaTiO₃ նանոմասնիկների կոնցենտրացիայի տարբեր արժեքների համար (0%, 0.1%, 0.5%, 1%)

նիկների կոնցենտրացիայի 0-ից 0,075% արժեքների համար: Ինչպես և նախորդ՝ իզոտրոպ նանոհեղուկի դեպքում, այս դեպքում ևս Մարանգոնիի կոնվեկցիայի մակաձման համար որպես մղման փունջ օգտագործվել է փնջի գառայան բաշխմամբ, $\lambda=1,06$ մկմ ալիքի երկարությամբ, քվադրանտի հաստ Nd:YAG լազերի ճառագայթումը: Նանոհեղուկի բաց մակերևույթով հորիզոնական շերտի հաստությունը փորձերում կազմել է 250 մկմ:

Նկ. 6-ում պատկերված է E7 տիպի ՆՀԲ-ի և BaTiO₃-ի նանոմասնիկների խառնուրդում ինտենսիվության գառայան բաշխմամբ լազերային ճառագայթման փնջի ազդեցությամբ մակաձված կոնվեկտիվ շարժումների արագությունների, շառավղային ուղղության վրա պրոեկցիաների առավելագույն միջին արժեքի կախումը մղման լազերային փնջի հզորությունից՝ նանոմասնիկների տարբեր կոնցենտրացիաների համար: Ինչպես և նախորդ դեպքում, այս անգամ ևս շարժման արագությունը գրանցելու համար չափվել է նանոմասնիկներով հարստացված ՆՀԲ-ում առկա ալյումինի մասնիկների շարժման արագությունների պրոյեկցիան փնջի անկման կետից շառավղորեն տարբեր ուղղություններով շարժվելու դեպքերի համար և կատարվել է ստացված արժեքների միջինացում:

Համեմատելով նկ. 6-ում և նկ. 5-ում ներկայացված արդյունքները, դժվար չէ նկատել, որ ՆՀԲ-ի համար կոնվեկտիվ շարժումների արագություններն էապես տարբեր են իզոտրոպ հեղուկի հետ համեմատած: Դա պայմանավորված է ՀԲ-ի կառուցվածքային առանձնահատկություններով: Բացի այդ յուրի համանմանությամբ, այս դեպքում ևս լազերային փնջի 1 Վտ-ից փոքր



Նկ. 6. ՆՀԲ-ում կոնվեկտիվ շարժումների արագության կախումն ընկնող լազերային ճառագայթման հզորությունից՝ BaTiO₃ նանոմասնիկների կոնցենտրացիայի տարբեր արժեքների համար (0%, 0.05%, 0.075%)

հզորությունների դեպքում կոնվեկցիայի արագության արժեքները մոտ են իրար՝ չնայած նանոմասնիկների կոնցենտրացիայի աճի հետ մեկտեղ արագության արժեքի նվազման դիտվող միտմանը: Nd:YAG լազերային ճառագայթման հզորության աճին զուգահեռ կարելի է նկատել կոնվեկտիվ շարժման արագության էապես նվազում՝ ՀԲ-ում նանոմասնիկների կոնցենտրացիայի աճի դեպքում: Հատկանշական է նաև այն, որ ի տարբերություն իզոտրոպ նանոհեղուկների, ՀԲ-ի հիմքով նանոհեղուկներում կարելի է ստանալ կոնվեկտիվ շարժման արագության զգալի անկում նանոհեղուկում նանոմասնիկների բավականին փոքր կոնցենտրացիայի դեպքում: Մասնավորապես, կարելի է տեսնել, որ լազերի փնջի հզորության 2.5 Վտ արժեքի դեպքում և նանոմասնիկների՝ ՀԲ-ի զանգվածի համեմատ 0,075% կոնցենտրացիայի համար, կոնվեկտիվ շարժման արագությունը նվազում է 6 անգամ, այն դեպքում երբ յուրի դեպքում նման արդյունք կարելի է ստանալ նանոմասնիկների 1 % կոնցենտրացիայի դեպքում:

3.6-ը երրորդ գլխի ամփոփումն է:

ԱՄՓՈՓՈՒՄ

Ներկայացված ատենախոսությունում փորձնականորեն ուսումնասիրված են լազերային ճառագայթով մակածված հիդրոդինամիկական շարժումները նանոմասնիկներով հարստացված իզոտրոպ և անիզոտրոպ հեղուկներում: Փորձնականորեն ցույց է տրվել, որ ուղիղ ծավալային ընդարձակման մեխանիզմով հիբրիդ կողմնորոշմամբ ՆՀԲ-ական բջջում մակածված հիդրոդինամիկական հոսքը կարող է առաջացնել ՀԲ-ի ուղղորդի ինչպես սահուն, այնպես էլ թռիչքաձև վերակողմնորոշում: Հետազոտվել է ՆՀԲ-ի ուղղորդի վարքը հիբրիդ կողմնորոշմամբ բջջի տարբեր կառուցվածքների և հոսքի տարբեր ուղղությունների համար:

Փորձնականորեն հետազոտվել են բաց մակերևույթով նանոմասնիկներով հարստացված իզոտրոպ և անիզոտրոպ հեղուկներում լազերով մակածված հիդրոդինամիկական շարժումները, ինչպես նաև նանոմասնիկների ազդեցությունն այդ շարժումների արագության վրա:

Ատենախոսությունում ստացված հիմնական արդյունքները հանգում են հետևյալին.

1. Առաջին անգամ փորձնականորեն ցույց է տրվել, որ երբ ուղիղ ծավալային ընդարձակման մեխանիզմով մակածված հիդրոդինամիկական հոսքն ուղղված է ՆՀԲ-ական բջջի հիբրիդ կողմնորոշման կորույթյան ներսից դեպի դուրս, ապա դիտվում է հիբրիդ կողմնորոշված նեմատիկ հեղուկ բյուրեղի ուղղորդի սահուն վերակողմնորոշում: Այսինքն, տեղի է ունենում ուղղորդի թեքության անկյան աճ:
2. Առաջին անգամ փորձնականորեն ցույց է տրվել, որ երբ ուղիղ ծավալային ընդարձակման մեխանիզմով մակածված հիդրոդինամիկական հոսքն ուղղված է ՆՀԲ-ական բջջի հիբրիդ կողմնորոշման կորույթյան դրսից դեպի ներս, ապա դիտվում է հիբրիդ կողմնորոշված նեմատիկ հեղուկ բյուրեղի ուղղորդի թռիչքաձև վերակողմնորոշում, որն ուղեկցվում է ՆՀԲ-ում նոր դոմենային կառուցվածքի առաջացմամբ, որի գունավորումը չնայած էպես տերբերվում է իր շրջակա տիրույթի գունավորումից, սակայն օժտված է նույն բևեռացումային օպտիկական հատկություններով, ինչ հարևան դոմենը:
3. Առաջին անգամ փորձնականորեն ցույց է տրվել, որ երբ ուղիղ ծավալային ընդարձակման մեխանիզմով մակածված հիդրոդինամիկական հոսքն ուղղված է ՆՀԲ-ական բջջի ուղղորդի ճկման հարթությանն ուղղահայաց, տեղի է ունենում նեմատիկ հեղուկ բյուրեղի ուղղորդի վերակողմնորոշում, որն ուղեկցվում է զոնդող լազերի ինտենսիվության բացթողնման գործակցի արժեքի կտրուկ փոփոխությամբ: Ցույց է տրվել, որ որոշ դեպքերում կարող է դիտվել բացթողնման գործակցի արժեքի երկու թռիչքաձև փոփոխություն, որը կարող է նշանակել, որ առաջին թռիչքից հետո

մոլեկուլները պատվում են այնպես, որ հոսքն ուղղված է լինում դեպի հիբրիդ կողմնորոշման կորույթյան ներսը, ինչն էլ բերում է ՆԸԲ-ի ուղղորդի անկյունային բաշխման փոփոխման դեպի հակառակ ուղղություն:

4. Առաջին անգամ փորձնականորեն ցույց է տրվել, որ բաց մակերևույթով նանոմասնիկներով հարստացված իզոտրոպ հեղուկի բարակ շերտում ինտենսիվության գաուսյան բաշխմամբ միամոդ լազերային փնջով կարելի է մակածել հիդրոդինամիկական շարժումներ և կառավարել դրանց արագությունը: Ցույց է տրվել, որ հիդրոդինամիկական շարժման արագությունն այնքան ավելի փոքր է, որքան մեծ է նանոմասնիկների կոնցենտրացիան նանոհեղուկում:
5. Առաջին անգամ փորձնականորեն ցույց է տրվել, որ բաց մակերևույթով նանոմասնիկներով հարստացված անիզոտրոպ հեղուկի՝ նեմատիկ հեղուկ բյուրեղի, բարակ շերտում ինտենսիվության գաուսյան բաշխմամբ միամոդ լազերային փնջով կարելի է մակածել հիդրոդինամիկական շարժումներ և կառավարել դրանց արագությունը: Ցույց է տրվել, որ հիդրոդինամիկական շարժման արագությունն այնքան ավելի փոքր է, որքան մեծ է նանոմասնիկների կոնցենտրացիան նանոհեղուկում:

Գրականություն

1. Khoo I. C., “Liquid Crystals.”, NJ: Wiley, 2007, 383 p.
2. Коншина Е. А., “Основы физики жидкокристаллических систем.”, Санкт-Петербург, НИУ ИТМО, 2013, 128 с.
3. Блинов Л. М., “Жидкие кристаллы: структура и свойства.”, М., Книжный дом ЛИБРОКОМ, 2013, 480 с.
4. Аракелян С. М., Чилингарян Ю. С., “Нелинейная оптика жидких кристаллов.”, М.: Наука, 1984, 360с.
5. De Gennes P., Prost J., “The Physics of Liquid Crystals.”, Second Edition, Clarendon press: Oxford, 1993, 400 p.
6. Demus D., “Handbook of liquid crystals.”, Wiley-VCH, Vol. 1, 1998, 532p.
7. Comoretto D. “Organic and hybrid photonic crystals.”, Springer, 2015, 497p.
8. Lin Y.-H., “Liquid Crystals for Bio-medical Applications. ” The Current Trends of Optics and Photonics, 2015, doi:10.1007/978-94-017-9392-6_15.
9. Sakoda K., “Optical Properties of Photonic Crystals.”, Springer, 2001, 223 p.
10. Yang Y. C., Kee C. S., Kim J. E., Park H. Y., Lee J. C., Leon Y. J., “Photonic defect modes in cholesteric liquid crystals.”, Phys. Rev. E., 1999, Vol. 60, 6852-6854 p.
11. Alaverdyan R., Gevorgyan A., Gharagulyan H., Grigoryan H., “Experimental Investigation of the Polarization Plane Rotation of Light in Cholesteric Liquid-

- Crystalline Film with an Anisotropic Defect Layer.”, Mol. Cryst and Liq. Cryst, 2012, Vol. 559, Iss. 1, 23– 0 p.
12. Dadalyan T., Ninoyan Zh., Nys I., Alaverdyan R., Beeckman J., Neyts K., Willekens O., “Tuning the lasing wavelength of dye-doped chiral nematic liquid crystal by fluid flow.”, Liquid Crystals, 2016, V. 44, 372-378 p.
 13. Stephen M. J., Straley J. P., “Physics of liquid crystals.”, Reviews of Modern Physics, 1974, Vol. 46, No. 4, 618-701 p.
 14. Yu W., Choi S.U.S., “An effective thermal conductivity model of nanofluids with a cubic arrangement of spherical particles.”, J. Nanosci, Nanotechnol., 2005, v. 5, 580-586 p.

Հրատարակված աշխատանքների ցուցակ

1. Dadalyan T., Petrosyan K., Alaverdyan R., Hakobyan R., “Light-induced hydrodynamic reorientation of hybrid aligned nematic liquid crystals caused by direct volume expansion.”, Liquid Crystals, 2018, doi:10.1080/02678292.2018.1518549.
2. Petrosyan K. A., “Influence of hydrodynamic flows on the optical properties of hybrid aligned nematic liquid crystals.”, Proceedings of the YSU, Physical and Mathematical Sciences, 2018, v. 52, #3, 213-216 p.
3. Геворгян Г. С., Петросян К. А., Акопян Р. С., Алавердян Р. Б., “Экспериментальное исследование конвекции марангони в наножидкостях.”, Известия НАН Армении, Физика, 2017, т.52, №4, с. 490-494.
4. Dadalyan T., Petrosyan K., Alaverdyan R., Hakobyan R., “Investigation of the influence of direct volume expansion on optical properties of Nematic Liquid Crystal layer.”, Book of abstracts: International Conference, Laser Physics 2017, Ashtarak, Armenia, p. 68.
5. Dadalyan T., Petrosyan K., Alaverdyan R., Hakobyan R., “Control optical properties of hybrid aligned nematic liquid crystal caused by direct volume expansion.”, Book of abstracts: International Conference, IONS YEREVAN 2018, Armenia, p. 31.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В представленной диссертации экспериментально исследованы движения в обогащённых наночастицами изотропных и анизотропных жидкостях индуцированных лазерным излучением. Экспериментально показано, что индуцированный механизмом прямого объёмного расширения гидродинамический поток в гибридно-ориентированной нематической жидкокристаллической ячейке может вызвать как плавную, так и скачкообразную переориентацию директора жидкого кристалла. Исследовано поведение директора нематического жидкого кристалла для разных структур ячеек с гибридной ориентацией и для разных направлений потока.

Экспериментально исследованы индуцированные лазером гидродинамические движения в обогащённых наночастицами изотропных и анизотропных жидкостях со свободной поверхностью, а также воздействие наночастиц на скорость этих движений.

Результаты, полученные в диссертации, кроме строго академического интереса, который обусловлен возможностями контролирования оптических свойств жидкого кристалла в гибридно-ориентированной нематической жидкокристаллической ячейке при воздействии гидродинамического потока, индуцирования и управления скоростями гидродинамических потоков индуцированных лазером в изотропных и анизотропных наножидкостях, также имеют и прикладное значение. В качестве примеров перечислим некоторые из них: полученные результаты могут быть использованы для создания пленок контролирующей поляризацию и пространственное распределение интенсивности лазерного излучения, создания тонкопленочных энергосберегающих устройств управления света, а также создания и усовершенствования сверхчувствительных датчиков изменения температуры и инфракрасного излучения.

Основные результаты, полученные в диссертации сводятся к следующему:

1. Впервые экспериментально было показано, что когда индуцированный механизмом прямого объёмного расширения гидродинамический поток направлен изнутри кривизны гибридной ориентации нематической жидкокристаллической ячейки наружу, то наблюдается плавная переориентация директора гибридно ориентированного нематического жидкого кристалла. То есть происходит рост угла наклона директора.
2. Впервые экспериментально было показано, что когда индуцированный механизмом прямого объёмного расширения гидродинамический поток

направлен снаружи кривизны гибридной ориентации нематической жидкокристаллической ячейки во внутрь, то наблюдается скачкообразная переориентация директора гибридно ориентированного нематического жидкого кристалла, сопровождающаяся возникновением новой доменной структуры в нематическом жидком кристалле, окраска которой не смотря на существенное отличие от окраски прилежащей к ней области, наделена теми же поляризационными оптическими свойствами, что и соседний домен.

3. Впервые экспериментально было показано, что когда индуцированный механизмом прямого объёмного расширения гидродинамический поток направлен перпендикулярно плоскости сгибания директора нематической жидкокристаллической ячейки, происходит переориентация директора нематического жидкого кристалла, что сопровождается резким изменением коэффициента пропускания интенсивности зондирующего лазера. Было показано, что в некоторых случаях может наблюдаться два скачкообразных изменения значения коэффициента пропускания, что может обозначать, что после первого скачка молекулы вращаются так, что поток бывает направлен во внутрь кривизны гибридной ориентации, который и приводит к изменению углового распределения директора нематического жидкого кристалла в обратное направление.
4. Впервые экспериментально было показано, что с помощью одномодового лазерного пучка с гауссовым распределением интенсивности можно индуцировать и управлять скоростью гидродинамических движений в тонком слое обогатённой наночастицами изотропной жидкости со свободной поверхностью. Было показано, что скорость гидродинамического движения тем меньше, чем больше концентрация наночастиц в наножидкостях.
5. Впервые экспериментально было показано, что с помощью одномодового лазерного пучка с гауссовым распределением интенсивности можно индуцировать и управлять скоростью гидродинамических движений в тонком слое обогатённой наночастицами анизотропной жидкости со свободной поверхностью – нематического жидкого кристалла. Было показано, что скорость гидродинамического движения тем меньше, чем больше концентрация наночастиц в наножидкостях.

SUMMARY

Laser-induced hydrodynamic flows in nanoparticle doped isotropic and anisotropic fluids are studied in the dissertation. It was experimentally shown that hydrodynamic flow induced by direct volume expansion in a hybrid aligned nematic liquid crystal (NLC) cell can cause both smooth and jump-like reorientation of the director of a liquid crystal. The behavior of the director of NLC for different cell structures and different flow directions was studied.

Laser-induced hydrodynamic flows in nanoparticle doped isotropic and anisotropic liquids with free surface, as well as the influence of nanoparticles on the velocity of these flows are experimentally studied.

The results obtained in the dissertation, in addition to strictly academic interest, which is due to the possibility of controlling the optical properties of liquid crystal in the hybrid aligned nematic liquid crystal cell under the influence of the hydrodynamic flow, induction and controlling of the velocity of laser-induced hydrodynamic flows in isotropic and anisotropic nanofluids, have also applied value. Here are some of them: the obtained results can be used for creating films for controlling the polarization and spatial distribution of the intensity of laser beam, for creating thin-film energy-efficient light control devices, and also for creating and improvement of super-sensitive sensors of temperature change and infrared radiation.

The following main results are obtained in the dissertation.

1. For the first time, it was experimentally shown that when the hydrodynamic flow induced in a hybrid aligned NLC cell by direct volume expansion is directed from inside of the curvature of hybrid alignment, a smooth reorientation of NLC director is being observed. That is, the angle of orientation of the director is being increased.
2. For the first time, it was experimentally shown that when a hydrodynamic flow induced in a hybrid aligned NLC cell by direct volume expansion is directed outside of the curvature of hybrid alignment, a jump-like reorientation of NLC director is being observed, which is accompanied by appearance of a new domain structure in the NLC with different coloring from the adjacent area, but with the same polarization optical properties as the neighboring domain.
3. For the first time, it was experimentally shown that when a hydrodynamic flow induced in a hybrid aligned NLC cell by direct volume expansion is directed

perpendicular to the bending plane of the director of NLC cell, the director of nematic liquid crystal is being reoriented, which is accompanied by a jump-like change of the transmission coefficient of probe laser beam intensity. It was shown that in some cases two jump-like change of the transmission coefficient can be observed, which may mean that after first change the molecules rotate so that the flow is directed inside the curvature of the hybrid alignment, which leads to switch of the tilt angle direction of NLC director.

4. For the first time, it was experimentally shown that a hydrodynamic flow can be induced in a thin layer of nanoparticle doped isotropic fluid with free surface using a Gaussian laser beam. The velocity of that flow is controllable. It was shown that the higher the concentration of nanoparticles in nanofluid, the smaller the velocity of hydrodynamic flow.
5. For the first time, it was experimentally shown that hydrodynamic flow can be induced in thin layer of nanoparticle doped NLC with one surface using a Gaussian laser beam, and the velocity of that flow can be controlled. It was shown that the higher the concentration of nanoparticles in nanofluid, the smaller the velocity of hydrodynamic flow.