

ԵՐԵՎԱՆԻ ՊԵՏԱԿԱՆ ՀԱՄԱԼՍԱՐԱՆ

ՖԻԶԻԿԱՅԻ ՖԱԿՈՒԼՏԵՏ

ՆԻՆՈՅԱՆ ԺԻՐԱՅՐ ՎԱՀԵԻ

**ՆԵՐԿԱՆՅՈՒԹՈՎ ՀԱՐՍՏԱՑՎԱԾ ՀԵՂՈՒԿ ԲՅՈՒՐԵՂԱԿԱՆ ՖՈՏՈՆԱՅԻՆ
ԿԱՌՈՒՑՎԱԾՔՆԵՐՈՎ ԼԱԶԵՐԱՅԻՆ ՄԻՋԱՎԱՅՐԵՐԻ ՕՊՏԻԿԱԿԱՆ
ՀԱՏԿՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ՓՈՐՁԱՐԱՐԱԿԱՆ ՀԵՏԱԶՈՏՈՒՄԸ**

Ատենախոսություն

**Ա.04.21 – «Լազերային Ֆիզիկա» մասնագիտությամբ
Ֆիզիկա-մաթեմատիկական գիտությունների թեկնածուի
գիտական աստիճանի համար**

**ԳԻՏԱԿԱՆ ՂԵԿԱՎԱՐ՝
Ֆիզիկա-մաթեմատիկական գիտությունների դոկտոր
պրոֆ. Ռ. Բ. Ալավերդյան**

Երևան – 2018

Բովանդակություն

Ներածություն	4
ԳԼՈՒԽ 1. ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅԱՆ ՎԵՐԼՈՒԾՈՒԹՅՈՒՆ	11
1.1. Ներածություն	11
1.2. Հեղուկ բյուրեղների հիմնական օպտիկական հատկություններն ու վարքը արտաքին դաշտերում	15
1.3. Լազերային ներկանյութերն ու դրանց հիմնական հատկությունները	22
1.4. Հեղուկ բյուրեղային ներկանյութային լազերները	31
1.5. Խոլեստերիկ հեղուկ բյուրեղային ֆոտոնային կառուցվածքների օպտիկական հատկությունները	32
1.6. Լազերային ճառագայթման գեներացիան ներկանյութով հարստացրած բյուրեղային ֆոտոնային կառուցվածքներում	37
1.7. Առաջին գլխի ամփոփումը	39
ԳԼՈՒԽ 2. ՆԵՐԿԱՆՅՈՒԹՈՎ ՀԱՐՍՏԱՅՐԱԾ ԽԻՐԱԼ ՆԵՄԱՏԻԿ ՀԵՂՈՒԿ ԲՅՈՒՐԵՂՆԵՐՈՒՄ ՀԻԴՐՈԴԻՆԱՄԻԿԱԿԱՆ ՀՈՍՔԵՐՈՎ ԵՎ ԼՈՒՅՍՈՎ ՄԱԿԱԾՎԱԾ ԱՐԱՏՆԵՐԻ ՓՈՐՁԱՐԱՐԱԿԱՆ ՀԵՏԱԶՈՏՈՒՄԸ	42
2.1. Ներածություն	42
2.2. Խիրալ նեմատիկներում ծագող որոշ արատների և դիսկլինային գծերի մասին	44
2.3. Հիդրոդինամիկական հոսքերի հնարավորություն ապահովող հեղուկ բյուրեղական բջջի և փորձարարական սարքավորման նկարագրությունը	52
2.4. Հիդրոդինամիկական հոսքերով հարթ արատի մակածումը ներկանյութով հարստացրած խիրալ նեմատիկ հեղուկ բյուրեղներում	55
2.5. Խիրալ նեմատիկներում լուսամակածված արատների դիտման համար բջջի և փորձարարական սարքավորման նկարագրությունը	60
2.6. Ներկանյութով հարստացրած խիրալ նեմատիկներում լուսամակածված արատների փորձարարական հետազոտումը	62
2.7. Երկրորդ գլխի ամփոփումը	68
ԳԼՈՒԽ 3. ՀԻԴՐՈԴԻՆԱՄԻԿԱԿԱՆ ՀՈՍՔԵՐՈՎ ՄԱԿԱԾՎԱԾ ՀԱՐԹ ԱՐԱՏՈՎ ՆԵՐԿԱՆՅՈՒԹՈՎ ՀԱՐՍՏԱՅՐԱԾ ՀԵՂՈՒԿ ԲՅՈՒՐԵՂԱՅԻՆ ՖՈՏՈՆԱՅԻՆ ԿԱՌՈՒՑՎԱԾՔՆԵՐՈՒՄ ԼԱԶԵՐԱՅԻՆ ՃԱՌԱԳԱՅԹՄԱՆ ԳԵՆԵՐԱՅԻՎՅԻ ՓՈՐՁԱՐԱՐԱԿԱՆ ՀԵՏԱԶՈՏՈՒՄԸ	69
3.1. Ներածություն	69

3.2. Հիդրոդինամիկական հոսքերով ներկանյութով հարստացրած խիրալ հեղուկ բյուրեղում լազերային ճառագայթման ուսումնասիրման համար փորձարարական սարքավորման նկարագրությունը.....	71
3.3. Լազերային ճառագայթման գեներացիայի փորձարարական հետազոտումը հիդրոդինամիկական հոսքերով մակածված հարթ արատով ներկանյութով հարստացրած խիրալ հեղուկ բյուրեղում	73
3.4. Լազերային ճառագայթման գեներացիայի ժամանակային էվոլյուցիան հիդրոդինամիկական հոսքերով մակածված հարթ արատով ներկանյութով հարստացրած խիրալ հեղուկ բյուրեղում	77
3.5. Երրորդ գլխի ամփոփումը.....	84
ԳԼՈՒԽ 4. ԼՈՒՍԱՄԱԿԱԾՎԱԾ ԲԱԶՄԱԼԻՔԱՅԻՆ ԼԱԶԵՐԱՅԻՆ ԳԵՆԵՐԱՅԻԱՆ ՆԵՐԿԱՆՅՈՒԹՈՎ ՀԱՐՍՏԱՅՐԱԾ ԽԻՐԱԼ ՆԵՄԱՏԻԿ ՀԵՂՈՒԿ ԲՅՈՒՐԵՂՆԵՐՈՒՄ	86
4.1. Ներածություն.....	86
4.2. Ներկանյութով հարստացրած խիրալ նեմատիկներում լուսամակածված բազմալիքային գեներացիայի ուսումնասիրման փորձարարական սարքավորման նկարագրությունը	88
4.3. Ներկանյութով հարստացրած խիրալ նեմատիկ հեղուկ բյուրեղի ֆոտոնային արգելված գոտու փորձարարական ուսումնասիրումը.....	89
4.4. Ներկանյութով հարստացրած խիրալ նեմատիկ հեղուկ բյուրեղում բազմալիքային լազերային գեներացիայի փորձարարական ուսումնասիրումը.....	92
4.5. Ներկանյութով հարստացրած խիրալ նեմատիկ հեղուկ բյուրեղում բազմալիքային լազերային գեներացիայի ժամանակային էվոլյուցիան.....	96
4.6. Չորրորդ գլխի ամփոփումը.....	104
ԱՄՓՈՓՈՒՄ	106
Օգտագործված գրականության ցանկը.....	109
Օգտագործված համառոտագրություններ	121

ՆԵՐԱԾՈՒԹՅՈՒՆ

Ֆոտոնային բյուրեղների հայտնությունը հեղաշրջում առաջացրեց ժամանակակից օպտիկայում, լազերային ֆիզիկայում և ֆոտոնիկայում: Ֆոտոնային բյուրեղները (ՖԲ), ընդհանուր դեպքում, տարբեր բեկման ցուցիչներով դիէլեկտրիկներից բաղկացած եռաչափ պարբերական կառուցվածքներ են, որոնց պարբերությունը լույսի ալիքի երկարության կարգի է: Տարբեր բեկման ցուցիչներով միջավայրերի բաժանման սահմանից լույսի անդրադարձման ժամանակ, տեղի է ունենում լուսային ալիքների վերադրում, որի հետևանքով ՖԲ-ի անդրադարձման սպեկտրում առաջանում է հաճախությունների տիրույթ, որում հնարավոր է լույսի լրիվ անդրադարձում: ՖԲ-ների գոտիական կառուցվածքում հաճախությունների այդ տիրույթն անվանում են ֆոտոնային արգելված գոտի (ՖԱԳ): Լույսի նկատմամբ ՖԲ-ների հատկությունները նման են էլեկտրոնների նկատմամբ կիսահաղորդիչների հատկություններին և նկարագրվում են համանման տերմիններով [1]: «Ֆոտոնային բյուրեղ» տերմինն առաջարկել է Յաբլոնովիչը, տարածելով լավ հայտնի, միաչափ (1D) բրեզյան հայելիների ֆոտոնային կառուցվածքների մասին պատկերացումները, երկչափ (2D) և եռաչափ (3D) պարբերականությամբ միջավայրերի վրա [2]: Միկրոմետրական և նանոմետրական կառուցվածքների ձևավորման տեխնոլոգիաների առաջընթացը վերջին տասնամյակում հնարավոր դարձրին այնպիսի ՖԲ-ների ստեղծումը, որոնց ՖԱԳ-ն ընկած է հաճախությունների օպտիկական տիրույթում:

ՖԲ-ների առավել հետաքրքրական հատկությունները կապված է ատոմների և մոլեկուլների ինքնակամ (սպոնտան) ճառագայթման ճնշման և լույսի տեղայնացման հետ [3]: ՖԱԳ-ի առկայությունը լայն հնարավորություն է բացում տարատեսակ օպտիկական սարքերում ՖԲ-ների կիրառության համար: Մասնավորապես, դրանք են միկրոռեզոնատորները (լազերները), ակտիվ միջավայրով արատ պարունակող ֆոտոնային կառուցվածքները (ՖԿ), օպտիկական ալիքատարները, ալիքատարային օպտիկայի տարատեսակ փոխարկիչները և այլն:

ՖԲ-ների կիրառումը որակապես նոր մակարդակի է բարձրացնում ինտեգրալ օպտիկան և բերում է ամբողջովին օպտիկական հաշվողական միկրոչիպերի ստեղծման հնարավորության:

ՖԲ-ների օգտագործման դեպքում, ոչ գծային օպտիկայում դիտվող երևույթները կարող են բազմակի անգամ ուժեղացվել շնորհիվ այն արտասովոր հատկության, որն ունեն ՖԲ-ները՝ այն է, արատների վրա տեղայնացնել որոշակի ալիքի երկարությամբ լույսը: ՖԲ-ների պարբերական կառուցվածքի և արգելված գոտու եզրում անոմալ դիսպերսիայի շնորհիվ, միմյանցից խիստ տարբերվող ալիքի երկարությունների համար, հնարավոր է հավասարեցնել դիսպերսային առնչությունները, և այլն:

Այսօր ֆոտոնիկայում և լազերային ֆիզիկայում կարևոր տեղ է զբաղեցնում լուսային փնջերի, լազերային ճառագայթման բևեռացման, տարածման ուղղության, ինչպես նաև սպեկտրի և այլ բնութագրերի կառավարման համար ցածրաշեն, հավաք և մանրանրբին տարրերի ստեղծումը: Դժվար չէ կռահել, որ այս տեսակետից շատ հետաքրքրական են, հետազոտողների թիրախում հայտնված և օրեցօր ավելի ու ավելի կարևորվող, ՖԲ-ները [4]: Հատկապես կարևորվում են այնպիսի ՖԲ-ներն ու ՖԿ-ները, որոնց պարամետրերը կարելի է հեշտ կառավարել արտաքին ազդակներով: Դրանով հնարավորություն է ստեղծվում կառավարելու ՖԲ-ի ՖԱԳ-ի սպեկտրային դիրքն ու լայնությունը, ՖԿ-ով անցնող լույսի բևեռացումը և այլն [5]: Դրան կարելի է հասնել, օրինակ, անիզոտրոպ ֆիզիկական հատկություններով և արտաքին ազդակներով (ճնշում, ջերմաստիճան, էլեկտրական և մագնիսական, լուսային դաշտեր, հիդրոդինամիկական հոսքեր և այլն) հեշտ ղեկավարվող միջավայրերի օգտագործմամբ: Նշված պայմաններին բավարարում են, մասնավորապես, հեղուկ բյուրեղները (ՀԲ), որոնք ունեն անիզոտրոպ հատկություններ և հեշտությամբ ղեկավարվում են արտաքին ազդակներով [6-8]:

Վերոնշյալից ելնելով, դժվար չէ պատկերացնել, թե ինչու՞ են հետազոտողները կարևորում և համարում հեռանկարային նեմատիկ և խոլեստերիկ ՀԲ-ների և նրանց խառնուրդների հիմքի վրա պասիվ և ակտիվ ՖԿ-ների ստեղծումն ու դրանց օպտիկական հատկությունների հետազոտումը [8-10]:

Հայտնի է, որ նեմատիկ հեղուկ բյուրեղում (ՆՀԲ), միջմոլեկուլային փոխազդեցության ուժերի շնորհիվ, դրանց երկարավուն՝ «ձողաձև» մոլեկուլները ձգտում են դասավորվել առավելապես մի ուղղությամբ, որն էլ հանդիսանում է այդ միջավայրերի անիզոտրոպության պատճառը: ՆՀԲ-ում մոլեկուլների դասավորության միջին ուղղությունն ընդունված է նկարագրել $\vec{n}$ միավոր վեկտորով, որն անվանում են ուղղորդ (director): Շնորհիվ մոլեկուլների անիզոտրոպության և հոսելիության ՆՀԲ-ները չափազանց զգայուն են արտաքին դաշտերի, այդ թվում՝ էլեկտրական, մագնիսական, ջերմային, լազերային և այլն, ինչպես նաև հիդրոդինամիկական հոսքերի նկատմամբ:

Վերոնշյալը վերաբերվում է նաև խոլեստերիկ հեղուկ բյուրեղներին (ԽՀԲ) և խիրալ խառնուկով ՆՀԲ-ներին, սակայն վերջիններս, շնորհիվ իրենց պարբերական կառուցվածքի, համապատասխան պայմանների առկայության դեպքում, օժտված են նաև լույսի ընտրողաբար անդրադարձմամբ, այսինքն ՖԱԳ-ով: ԽՀԲ-ներն օրգանական միջավայրեր են, որոնք մոլեկուլների հայելային համաչափության բացակայության (խիրալության) պատճառով ձևավորում են պարուրաձև պարբերական կառուցվածք: ԽՀԲ թաղանթի յուրաքանչյուր միամոլեկուլյար շերտում մոլեկուլները կողմնորոշված են միմյանց զուգահեռ և գտնվում են թաղանթը սահմանափակող տակդիրին զուգահեռ հարթություններում, սակայն շերտից շերտ անցնելիս մոլեկուլների կողմնորոշումը պտտվում է փոքր անկյունով՝ ձևավորելով պարուրաձև կառուցվածք [6]: Մոլեկուլների անիզոտրոպության հետևանքով ԽՀԲ-ում ծագում է բեկման ցուցչի տարածապարբերական մոդուլյացիա, ու երբ պարույրի քայլը դառնում է լույսի ալիքի երկարության կարգի, այն անդրադարձնում է պարույրի պտույտին հակառակ նշանով շրջանային բևեռացված լույսը՝ $n_o p < \lambda < n_e p$ սպեկտրային միջակայքում, մինչդեռ հակառակ ուղղությամբ շրջանային բևեռացված լույսը տարածվում է գրեթե առանց կորուստների (այստեղ p -ն ԽՀԲ-ի կամ խիրալ ՀԲ-ի պարույրի քայլն է, իսկ $n_o = \sqrt{\varepsilon_1}$ -ը և $n_e = \sqrt{\varepsilon_2}$ -ը սովորական և անսովոր տեղային (local) բեկման ցուցիչներն են): Սա է հիմնական պատճառը, որ ՀԲ-ներն ու դրանց հիմքի վրա ստեղծված ՖԿ-ները, կառավարվող, պլանար օպտիկական տարրերի, լույսի միջոցով լույսի կառավարման համակարգերի, օպտիկական դիոդի և տրանզիստորի ստեղծման, լույսի գերման և անշեմ

(ցածրաշեն) լազերային գեներացիայի ստացման տեսակետից, դարձել են գայթակղիչ և հեռանկարային: Ավելին, պարզվում է դրանց արատային տարբերակները, ինչպես արատային կիսահաղորդիչների դեպքում է, առավել հետաքրքրական են, շնորհիվ այն բանի, որ դրանց ՖԱԳ-ում հայտնվում են արատային մոդաներ [9,10]:

Սույն ատենախոսության *նպատակն է* եղել փորձնականորեն ուսումնասիրել լազերային դաշտերով և հիդրոդինամիկական հոսքերով խիրալ ՀԲ-ային պարուրած և կառուցվածքում արատների և «Գրանժան-Կանոյի» տիպի դիսկլինային (disclination) գծերի մակածումը, փոխելով մակածված արատների և դիսկլինային գծերի բնութագրերը, ղեկավարել խիրալ ՀԲ-ային թաղանթի ՖԱԳ-ի պարամետրերը՝ սպեկտրային դիրքն ու լայնությունը, փորձնականորեն ուսումնասիրել լազերային ճառագայթման գեներացիան ներկանյութով հարստացրած և կառուցվածքում արտաքին ազդեցություններով մակածված արատներով ՀԲ-ական ՖԿ-ներում:

Ատենախոսության հիմնական արդյունքները հրատարակված են [11-17] աշխատանքներում՝ երեք հոդվածներում և չորս միջազգային գիտաժողովների թեզիսներում:

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

- Ներկանյութով հարստացրած խիրալ նեմատիկ հեղուկ բյուրեղում հիդրոդինամիկ հոսքերով մակածվել է հարթ (planar) արատ և ուսումնասիրվել է այդ արատի և «Գրանժան-Կանոյի» տիպի դիսկլինային գծերի վարքը:
- Ներկանյութով հարստացրած խիրալ նեմատիկ հեղուկ բյուրեղում լազերային ճառագայթմամբ մակածվել է արատ և «Գրանժան-Կանոյի» տիպի դիսկլինային գծեր, և փորձնականորեն ուսումնասիրվել է դրանց առաջացման, զարգացման և անհետացման դինամիկան:
- Փորձնականորեն հետազոտվել է լազերային ճառագայթման գեներացիան ներկանյութով հարստացրած և հիդրոդինամիկ հոսքերով մակածված հարթ արատով խիրալ նեմատիկ հեղուկ բյուրեղում:

- Փորձնականորեն ուսումնասիրվել է լազերային ճառագայթման գեներացիայի ժամանակային էվոլյուցիան ներկանյութով հարստացրած և հիդրոդինամիկ հոսքերով մակածված հարթ արատով խիրալ նեմատիկ հեղուկ բյուրեղում:
- Ներկանյութով հարստացրած խիրալ նեմատիկ հեղուկ բյուրեղում ստացվել և ուսումնասիրվել է բազմալիքային լազերային ճառագայթման գեներացիա: Փորձնական ճանապարհով բացահայտվել է դրա առաջացման մեխանիզմը:
- Փորձնականորեն ուսումնասիրվել է բազմալիքային լազերային ճառագայթման գեներացիայի ժամանակային էվոլյուցիան ներկանյութով հարստացրած խիրալ նեմատիկ հեղուկ բյուրեղում:

Ատենախոսական աշխատանքի շրջանակներում ստացված արդյունքները կարող են օգտագործվել ֆոտոնիկայում, լազերային ֆիզիկայում և ժամանակակից օպտիկական հաշվիչ տեխնոլոգիաներում անշեմ (ցածրաշեմ), հավաք և մանրանրբին օպտիկական տարրերի՝ այդ թվում, օպտիկական դիոդի, օպտիկական ուժեղարարի՝ տրանզիստորի և տարբեր տեսակի տրամաբանական տարրերի, ինչպես նաև շերտավոր ու վերալարվող լուսազտիչների, լայնաշերտ ղեկավարվող հայելիների ստեղծման, նոր սերնդի արտապատկերման համակարգերի, արագագործ փոխանջատիչների ստեղծման և կատարելագործման համար, և այլն:

Ներկայացվող ատենախոսությունն ունի հետևյալ *կառուցվածքը*՝ ներածություն, չորս գլուխներ, ամփոփում, օգտագործված գրականության ցանկ և համառոտագրությունների ցուցակ:

Ատենախոսության առաջին գլուխն ունի ակնարկային բնույթ, որտեղ բերված է ատենախոսության բուն թեմային առնչվող գրականության վերլուծությունը, ինչպես նաև շարադրանքն առավել դյուրին դարձնելու համար անհրաժեշտ գաղափարներն ու սահմանումները:

Գլուխ II-ում փորձնականորեն ուսումնասիրվել է ներկանյութով հարստացրած խիրալ ՆՀԲ-ներում հիդրոդինամիկական հոսքերով և լույսով մակածված արատների

հատկությունները: Քննարկված է ԽՀԲ-ում Գրանժան-Կանոյի դիսկլինային գծերի առաջացման պատճառներն ու դիտման եղանակները:

Բերված է ԽՀԲ-ում և խիրալ ՆՀԲ-ում հիդրոդինամիկ հոսքերով հարթ արատի մակածման մեխանիզմի որակական բացատրությունն ու դիտման հնարավորությունը, հիդրոդինամիկական հոսքի տարբեր արագություններ ապահովող ԽՀԲ բջջի կառուցվածքը և մակածված արատի վարքն ուսումնասիրելու համար ահիրաժեշտ փորձարարական սարքավորման գծապատկերը:

Փորձնականորեն ուսումնասիրվել է խիրալ ՆՀԲ-ներում և ԽՀԲ-ներում արատների և Գրանժան-Կանոյի տիպի դիսկլինային գծերի լազերով մակածման հնարավորությունը:

Գլուխ III-ը նվիրված է հիդրոդինամիկական հոսքերով մակածված հարթ արատով և լազերային ներկանյութով հարստացրած հեղուկ բյուրեղային ՖԿ-ներում (ՀԲՖԿ) լազերային ճառագայթման գեներացիայի փորձարարական հետազոտմանը: Փորձնականորեն ուսումնասիրվել է հիդրոդինամիկական հոսքերի ազդեցությունը ՀԲՖԿ-ի ՖԱԳ-ի վրա և հիդրոդինամիկական հոսքերով ՖԱԳ-ի օպտիկական պարամետրերի ղեկավարման հնարավորությունը:

Փորձնականորեն ուսումնասիրվել է լազերային ճառագայթման գեներացիայի ժամանակային էվոլյուցիան հիդրոդինամիկական հոսքերով մակածված հարթ արատով և ներկանյութով հարստացրած խիրալ ՆՀԲ-ում:

IV գլխում բերված է ներկանյութով հարստացրած խիրալ ՆՀԲ-ներում լուսամակածված բազմալիքային լազերային ճառագայթման գեներացիայի փորձարարական ուսումնասիրման հիմնական արդյունքները:

Բերված է ներկանյութով հարստացրած խիրալ նեմատիկ ՀԲ-ի ՖԱԳ-ի վարքի վրա մղման լազերային դաշտի ազդեցության փորձարարական հետազոտության արդյունքները: Փորձնականորեն ուսումնասիրված է ներկանյութով հարստացրած խիրալ նեմատիկ ՀԲ-ում բազմալիքային լազերային գեներացիան, թեստային փորձերով հաստատված է դրանց ծագման պատճառներն ու մեխանիզմը: Ուսումնասիրված է ներկանյութով հարս-

տացրած խիրալ նեմատիկ ՀԲ-ում բազմալիքային լազերային գեներացիայի ժամանակային էվոլյուցիան:

Ատենախոսությունը եզրափակվում է ամփոփմամբ, օգտագործված գրականության ցանկով և համառոտագրությունների ցուցակով:

Ատենախոսության շրջանակում պաշտպանության են ներկայացվում հետևյալ *հիմնական դրույթները՝*

1. Ներկանյութով հարստացրած խիրալ նեմատիկ հեղուկ բյուրեղներում լազերային ճառագայթմամբ կարելի է մակածել արատ և «Գրանժան-Կանոյի» տիպի դիսկլինային գծեր և դրանց պարամետրերը ղեկավարել այդ նույն ճառագայթմամբ:
2. Ներկանյութով հարստացրած խիրալ նեմատիկ հեղուկ բյուրեղի պարույրի առանցքին ուղղահայաց հիդրոդինամիկ հոսքերով կարելի է տեղաշարժել և ղեկավարել հարթ արատների և «Գրանժան-Կանոյի» տիպի դիսկլինային գծերի պարամետրերն ու դիրքը:
3. Ներկանյութով հարստացրած խիրալ նեմատիկ հեղուկ բյուրեղի պարույրի առանցքին ուղղահայաց հիդրոդինամիկ հոսքերով կարելի է ղեկավարել լազերային ճառագայթման ալիքի երկարությունը, առնվազն նանոմետրերի ճշտությամբ և ստանալ հիդրոդինամիկ հոսքի արագությամբ ղեկավարվող բազմալիքային լազերային ճառագայթում:
4. Ներկանյութով հարստացրած խիրալ նեմատիկ հեղուկ բյուրեղում լուսամակածված արատների վրա կարելի է ստանալ բազմալիք լազերային ճառագայթում: Այդ ճառագայթման բնութագրերը կարելի է ղեկավարել փոխելով մղման փնջի պարամետրերը:

ԳԼՈՒԽ I. ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅԱՆ ՎԵՐԼՈՒԾՈՒԹՅՈՒՆ

1.1. Ներածություն

Հեղուկ բյուրեղներն այնպիսի միջավայրեր են որոնք օժտված են ինչպես հեղուկներին բնորոշ հատկություններով, մասնավորապես, հոսելիությամբ, այնպես էլ բյուրեղներին բնորոշ հատկություններով, մասնավորապես, մոլեկուլների որոշակի կարգավորվածությամբ և անիզոտրոպությամբ: Հեղուկ բյուրեղները իրենց հոսունությամբ նման են սովորական հեղուկներին, սակայն մոլեկուլային կառուցվածքով և օպտիկական հատկություններով չափազանց նման են բյուրեղներին: ՀՔ-ների գլխավոր առանձնահատկություններից է արտաքին ազդեցությունների հետևանքով մոլեկուլների դասավորվածության փոփոխության հնարավորությունը, որի շնորհիվ էլ ՀՔ-ները լայն կիրառություն են գտել բազում բնագավառներում: Առաջին անգամ ՀՔ-ները ուսումնասիրել է Ավստրիացի գիտնական Ռեյնիտցերը: ՀՔ-ների հայտնաբերման և ուսումնասիրման առիթ է հանդիսացել այն, որ Ռեյնիտցերը հետազոտելով խոլեստերիլացետատ և խոլեստերիլբենզոատ բյուրեղները, նկատել է, որ ի տարբերություն այլ նյութերի, այս միջավայրերը կարծես ունեն հալման երկու ջերմաստիճան: Ըստ ՀՔ-ական փուլին անցնելու ձևերի, ՀՔ-ները բաժանվում են 2 խմբի՝ թերմոտրոպ հեղուկ բյուրեղներ և լիոտրոպ հեղուկ բյուրեղներ: Թերմոտրոպ են կոչվում այն ՀՔ-ները, որոնցում ՀՔ-ական փուլը ծագում է համապատասխան նյութերի հալման պրոցեսում, երբ դրանք որոշակի ճնշման պայմաններում տաքացվում են մինչև հալման ջերմաստիճան [6,7]:

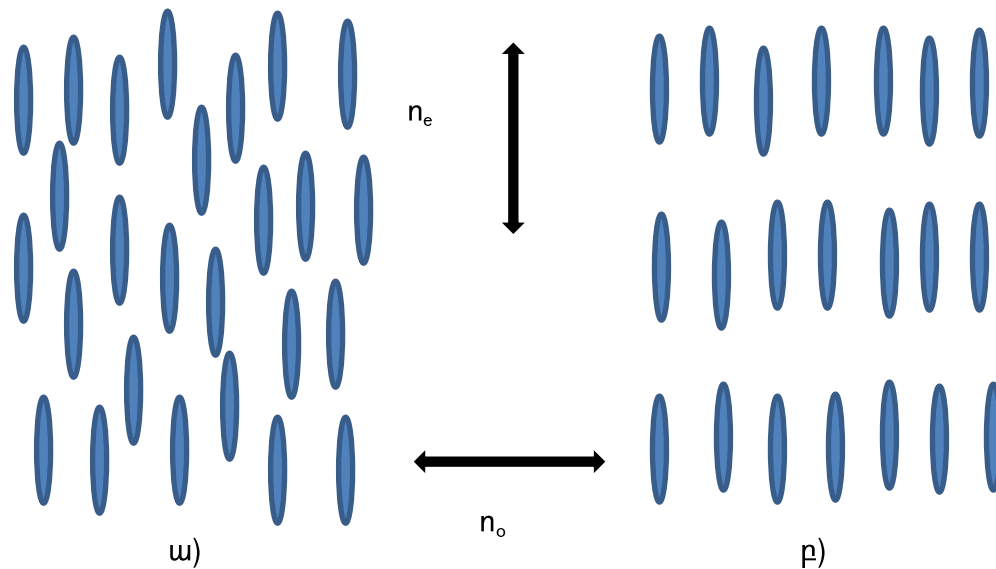
Ի տարբերություն թերմոտրոպ ՀՔ-ների, լիոտրոպ ՀՔ-ների դեպքում ՀՔ-ային փուլն առաջանում է հեղուկ լուծիչներում որոշակի կոնցենտրացիայով պինդ բյուրեղներ լուծելիս: Կիրառությունների և հետազոտությունների տեսակետից ավելի մեծ տարածում ունեն թերմոտրոպ ՀՔ-ները: Մյուս կողմից, սույն ատենախոսությամբ ներկայացված հետազոտություններում մենք օգտագործել ենք թերմոտրոպ ՀՔ-ներ: Ռուստի այստեղ հիմնականում կանգ կառնենք թերմոտրոպ ՀՔ-ների կառուցվածքային և օպտիկական առանձնահատկությունների վրա:

Թերմոտրոպ ՀԲ-ներն ըստ մոլեկուլների ձևի բաժանվում են երկու խմբի: Հեղուկ բյուրեղների մոլեկուլները կարող են լինել սկավառակաձև և երկարաձգված՝ ձողաձև: Այս աշխատանքում գործ ենք ունենալու ձողաձև մոլեկուլներ ունեցող ՀԲ-ների հետ: Ձողաձև անիզոտրոպ մոլեկուլների շնորհիվ ՀԲ-ներում առաջանում է մեխանիկական, դիէլեկտրիկ և օպտիկական անիզոտրոպություն: Թերմոտրոպ ՀԲ-ներն ընդունված է դասակարգել երեք խմբի՝ նեմատիկ, խոլեստերիկ և սմեկտիկ ՀԲ-ների:

Արտաքին ազդեցությունների բացակայության պայմաններում ՆՀԲ-ի մոլեկուլները փոքր տիրույթներում ձգտում են իրենց երկար առանցքներով դասավորվել միևնույն առանցքի երկայնքով: Այդ տիրույթներն ընդունված է անվանել դոմեններ, իսկ մոլեկուլների դասավորության միջին ուղղությամբ ընտրված միավոր վեկտորը ($\vec{n}$), ինչպես արդեն նշվել է, ուղղորդ: Սակայն փոքր տիրույթները՝ դոմենները ՀԲ-ում ըստ ուղղորդի դասավորված են քառսայնորեն, այսինքն ընդհանուր դեպքում ՆՀԲ-ներում բացակայում է հեռավոր կարգը, ինչպես բազմաբյուրեղ մետաղներում է: ՆՀԲ-ներում մոլեկուլներն ազատորեն կարող են քառսայնորեն շարժվել, ինչպես սովորական հեղուկում, սակայն այնպես, որ դրանց երկար առանցքները միջինում կողմնորոշված լինեն ուղղորդի ուղղությամբ: Այլ կերպ ասած նրանց մոտ բացակայում է մոլեկուլների զանգվածի կենտրոնների կարգավորվածությունը: Նյութերում նեմատիկ փուլի առկայությունը հնարավոր է այն պայմանով, որ այդ նյութերի մոլեկուլների մոտ չլինի տարբերություն նրանց աջակողմյան և ձախակողմյան կեսերի միջև, այսինքն մոլեկուլները նման լինեն իրենց հայելային արտապատկերմանը: Այդպիսի մոլեկուլները կոչվում են ախիրալ:

Սմեկտիկ հեղուկ բյուրեղները (ՍՀԲ) կողմնորոշումային կարգավորվածությամբ նման են նեմատիկներին: Նրանց մոլեկուլները ևս կողմնորոշվում են որոշակի գերադասելի ուղղությամբ, սակայն ի տարբերություն նեմատիկների, սմեկտիկներում առկա է նաև դիրքային կարգավորվածություն՝ նրանք ունեն շերտավոր կառուցվածք: Սմեկտիկ հեղուկ բյուրեղներում մոլեկուլների զանգվածի կենտրոնների կարգավորվածություն չկա, դրանք տեղակայված են քառսայնորեն [6,7]: Նեմատիկ և սմեկտիկ

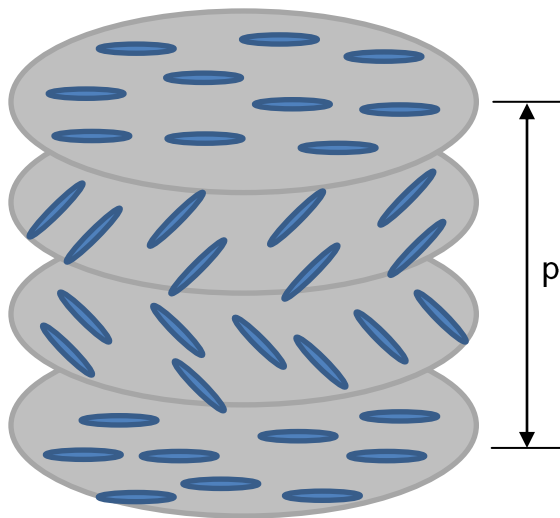
փուլերում ՀԲ-ի մոլեկուլների դասավորությունը որակապես ուրվագծորեն պատկերված է նկ. 1.1-ում:



Նկ. 1.1. Մոլեկուլների տարածական փոխդասավորությունը ա) նեմատիկ և բ) սմեկտիկ ՀԲ-ներում, n_o և n_e –ով նշանակված է բևեռացման այն ուղղությունները, որոնք համապատասխանում են սովորական և անսովոր բեկման ցուցիչներին

ՀԲ-ներից թերևս ամենամեծ հետաքրքրությունը ներկայացնում են խոլեստերիկ հեղուկ բյուրեղները: Խոլեստերիկ կամ խիրալ հեղուկ բյուրեղները կազմված են խիրալ մոլեկուլներից: Խիրալ մոլեկուլներն այն մոլեկուլներն են, որոնք նման չեն իրենց հայելային արտապատկերմանը: Խոլեստերիկ հեղուկ բյուրեղներ կարելի է ստանալ նաև նեմատիկ հեղուկ բյուրեղին խիրալ մոլեկուլներ խառնելով: Խիրալ մոլեկուլների առկայությունն է ստիպում նեմատիկին պտտվել և կազմավորել պարուրաձև կառուցվածք: Խոլեստերիկների կառուցվածքային ամենակարևոր առանձնահատկությունը դրանց պարուրաձև կառուցվածքն է: ԽՀԲ-ի առանձին միամոլեկուլյար շերտերը նման են նեմատիկներին, նրանցում մոլեկուլների երկար առանցքները իրար զուգահեռ են և ուղղված են որոշակի գերադասելի (ուղղորդի) ուղղությամբ: Խոլեստերիկները կազմված են այդպիսի շերտերից, և մեկ շերտից մյուս շերտ տեղափոխվելիս ուղղորդի ուղղությունը նախորդ շերտի ուղղորդի ուղղության նկատմամբ պտտված է որոշակի անկյունով: Այսպես շարունակ յուրաքանչյուր հաջորդ շերտի ուղղորդը նախորդի նկատմամբ

որոշակիորեն պատված լինելով ԽՀԲ -ում կամ խիրալ ՆՀԲ -ում ձևավորվում է պարուրաձև կառուցվածք: ԽՀԲ -ի շերտերի ուղղորդները պտտվում են դրանց ուղղահայաց առանցքի շուրջը: ԽՀԲ -ներին բնորոշող կարևոր բնութագրերից է խոլեստերիկի պարույրի քայլը՝ $2p$ -ն (նկ. 1.2): $2p$ -ն պարույրի առանցքի այն երկարությունն է, երբ ԽՀԲ -ի ուղղորդը առանցքի շուրջը կատարում է մեկ լրիվ (360°) պտույտ: Շնորհիվ ԽՀԲ -ների պարուրաձև կառուցվածքի ձևավորման չափազանց փոքր էներգիայի, պարուրաձև կառուցվածքը շատ զգայուն է արտաքին ազդեցությունների նկատմամբ, նույնիսկ փոքր ազդեցությունը կարող է հանգեցնել ԽՀԲ -ի օպտիկական հատկությունների լուրջ փոփոխության: Իրենց արտաքին ազդեցությունների հանդեպ զգայունության շնորհիվ ԽՀԲ -ները լայն կիրառություն են գտել տարբեր բնագավառներում: ԽՀԲ -ները դասակարգում են նաև ըստ պարույրի պտույտի ուղղության: Պտուտակի օրենքով հեշտ է որոշել պարույրի պտույտի ուղղության աջ կամ ձախ լինելը:



Նկ. 1.2. ԽՀԲ մոլեկուլների փոխդասավորությունը, ուղղորդի պտույտը և պարույրի p քայլը պարզաբանող գծապատկեր

ՀԲ -ներին բնորոշ ամենակարևոր հատկություններից է օպտիկական անիզոտրոպությունը: Լուսային ալիքն անցնելով ՀԲ -ական կառուցվածքով տրոհվում է երկու բաղադրիչի՝ սովորական և անսովոր ալիքների: Անսովոր ճառագայթի բևեռացման ուղղությունը համընկնում է հեղուկ բյուրեղի օպտիկական առանցքի ուղղության հետ: Սովորական ճառագայթի դեպքում բևեռացման ուղղությունը ուղղահայաց է օպտիկական առանցքին: Եթե $n_e > n_o$, ապա հեղուկ բյուրեղն ունի դրական օպտիկական անիզոտրո-

պություն, հակառակ դեպքում՝ բացասական: Այստեղ n_s -ն և n_o -ն համապատասխանաբար անսովոր և սովորական ալիքների համար բեկման ցուցիչներն են:

Ատենախոսության ներկայացվող գլուխն ունի ակնարկային բնույթ, որտեղ կներկայացնենք ատենախոսության թեմային առնչվող, այսօր հայտնի գրականության վերլուծությունը, ինչպես նաև ատենախոսության հաջորդ գլուխների շարադրանքն առավել ընկալելի դարձնելու համար անհրաժեշտ գաղափարներն ու սահմանումները: Համառոտ կքննարկենք նաև, ՀԲ-ներում և լազերային ներկանյութերով հարստացրած իզոտրոպ և անիզոտրոպ հեղուկներում դիտվող այն երևույթներն ու դրանց ծագման մեխանիզմները, որոնք օգտագործվել են սույն ատենախոսության սահմաններում իրականացված հետազոտությունների շրջանակներում:

1.2. Հեղուկ բյուրեղների հիմնական օպտիկական հատկություններն ու վարքը արտաքին դաշտերում

1.2.1. Հեղուկ բյուրեղների անիզոտրոպությունը

Ինչպես նշվել է, ՆՀԲ-ի մոլեկուլները կարելի է դիտարկել որպես երկարավուն՝ ձողաձև ֆիզիկական օբյեկտներ, որոնք ունեն իրենց երկար առանցքների շուրջը ազատորեն պտտվելու հնարավորություն: ՀԲ-ում այդպիսի միառանցքանի մոլեկուլների դասավորվածության աստիճանը քանակապես որոշվում է Ցվետկովի կողմից ներմուծված կարգավորվածության կարգի S պարամետրով: $\vec{n} = -\vec{n}$ համաչափության հաշվառմամբ, ոչ բևեռային նեմատիկ փուլի համար, այն տրվում է

$$S = \frac{1}{2}(3 \cos^2 \theta - 1) \quad (1)$$

բանաձևով, որտեղ θ -ն առանձին վերցրած մոլեկուլի երկար առանցքի և համախմբի ուղղորդի կազմած անկյունն է [6, 18]: Այդ ուղղությունը համընկնում է ՀԲ-ական միաբյուրեղի օպտիկական առանցքի հետ, որը տրվում է արտաքին ազդեցություններով: Այդ ուղղությունը կարող է տրվել ՀԲ-ն սահմանափակող պինդ մարմնի մակերևույթով, արտաքին մագնիսական կամ էլեկտրական դաշտերով, հիդրոդինամիկական հոսքով և այլն: Պինդ՝ կատարյալ բյուրեղների համար $S = 1$, իսկ իզոտրոպ հեղուկի համար՝ $S = 0$:

Միմյանց զուգահեռ դասավորված մոլեկուլներով $\angle F$ -ի համար՝ $0 < S < 1$, և այն ամբողջովին որոշում է $\angle F$ -ի էլեկտրական, մագնիսական, մեխանիկական, օպտիկական և այլ տեսակետներից հատկությունների անիզոտրոպությունը: Երբ $S \rightarrow 0$, մոնոտոն զրոյի են ձգտում նաև Δn օպտիկական անիզոտրոպությունն ու $\Delta \varepsilon$ դիէլեկտրական անիզոտրոպությունը [6, 18]:

$\Delta \varepsilon$ դիէլեկտրական անիզոտրոպությունը սահմանվում է որպես $\angle F$ -ի ուղղորդին զուգահեռ ($\varepsilon_{||}$) և դրան ուղղահայաց ($\varepsilon_{\perp}$) ուղղություններով դիէլեկտրական թափանցելիության բաղադրիչներ: Դիէլեկտրական անիզոտրոպության նշանը որոշվում է մոլեկուլների քիմիական կառուցվածքով: Երկայնական դիպոլային մոմենտներով մոլեկուլների համար այն դրական է ($\Delta \varepsilon > 0$), լայնականի համար՝ բացասական ($\Delta \varepsilon < 0$):

$\angle F$ -ների վարքն արտաքին էլեկտրական դաշտում կախված է $\Delta \varepsilon$ -ի նշանից: Արտաքին դաշտով մակածված բևեռացումը ստեղծում է մոլեկուլների դիպոլային մոմենտ, որը $\Delta \varepsilon > 0$ դեպքում ուղղված լինելով մոլեկուլների երկար առանցքով, դրանց վերակողմնորոշում է դաշտի լարվածության ուղղությամբ: Հակառակ դեպքում, երբ $\Delta \varepsilon < 0$, մակածված դիպոլային մոմենտն ուղղահայաց է մոլեկուլների երկար առանցքին, ուստի դրանք երկար առանցքներով դասավորվում են դաշտի լարվածությանն ուղղահայաց [18]:

Օպտիկական հատկությունների (մասնավորապես՝ բեկման ցուցչի և կլանման) մեծ անիզոտրոպության հետևանքով, $\angle F$ -ի կառուցվածքային ցանկացած փոփոխություն հեշտությամբ դիտվում է օպտիկական եղանակներով, ճիշտ այնպես, ինչպես պինդ բյուրեղների դեպքում է: $\angle F$ -ական մոլեկուլների անիզոտրոպ ձևի հետևանքով, գծային բևեռացված լույսի համար, առաջանում է անսովոր (n_e) և սովորական (n_o) բեկման ցուցիչների Δn տարբերություն, երբ համապատասխանաբար, լույսի բևեռացումն ուղղված է ուղղորդի ուղղությամբ և դրան ուղղահայաց է: Օպտիկական անիզոտրոպությունը, որը սահմանվում է որպես անսովոր և սովորական բեկման ցուցիչների տարբերություն՝ $\Delta n = n_e - n_o$, այսօր հայտնի բոլոր $\angle F$ -ների համար դրական է ($\Delta n > 0$): Զերմաստիճանի մեծացմանը զուգընթաց Δn -ը նվազում է, որը պայմանավորված է կարգավորվածության կարգի S պարամետրի նվազմամբ:

1.2.2. Ֆրեդերիկսի երևույթը

Արտաքին դաշտերով ՆԸԲ-ական բարակ թաղանթների դեֆորմացիաներն ուսումնասիրելու համար, անհրաժեշտ է այն սահմանափակող հարթ զուգահեռ պատերը՝ տակդիրները մշակել այնպես, որ դրանց մոտակայքում ՀԲ-ի մոլեկուլներն ունենան որոշակի կողմնորոշում: Միջմոլեկուլյար փոխազդեցության ուժերի շնորհիվ, տակդիրներին տրված կողմնորոշումը փոխանցվում է նաև ՀԲ-ի ծավալի մյուս շերտերին: Եթե արդյունքում ՆԸԲ-ի ուղղորդը բջջում ամենուր մնալով ինքն իրեն զուգահեռ, զուգահեռ է նաև տակդիրներին, ապա կողմնորոշումն ընդունված է անվանել հարթ կամ պլանար: Եթե ուղղորդը ուղղահայաց է տակդիրներին, ապա կողմնորոշումն անվանում են հոմեոտրոպ: Բջիջն անվանում են թվիստ կողմնորոշված, եթե դրա երկու զուգահեռ տակդիրներին տրված է պլանար կողմնորոշում, սակայն դրանց ուղղորդները միմյանց նկատմամբ պտտված են զրոյից տարբեր որոշ անկյունով: Այդ դեպքում մի տակդիրից մյուսին անցնելիս, ուղղորդը մնալով տակդիրներին զուգահեռ, դրա ծայրակետը պտտվում է պարույրով: Հիբրիդ կողմնորոշման դեպքում տակդիրներից մեկին տրվում է պլանար կողմնորոշում, մյուսին՝ հոմեոտրոպ:

ՀԲ-ի մոլեկուլների և պինդ տակդիրի միջև փոխազդեցությունը բնութագրվում է կառչման էներգիայով, որից կախված է ՀԲ-ական թաղանթում դիտվող շեմային պրոցեսների շեմը, որի դեպքում սկսվում է մոլեկուլների վերակողմնորոշումը և ուղղորդի ուղղության փոփոխությունը: Կառչումն անվանում են կոշտ, երբ փոխազդեցության էներգիան $W \rightarrow \infty$ և թույլ, եթե այն ունի վերջավոր արժեք:

Հոսելիության շնորհիվ ՀԲ-ները շատ զգայուն են (հեշտությամբ փոխում են իրենց կողմնորոշումը) արտաքին թույլ ազդեցությունների նկատմամբ: Դիամագնիսական ($\Delta\chi$) և դիէլեկտրական ($\Delta\varepsilon$) թափանցելիությունների անհզոտրոպության հետևանքով, արտաքին մագնիսական կամ էլեկտրական դաշտում ՆԸԲ-ի մոլեկուլների համախմբի ազատ էներգիան ունի մինիմում, դաշտի նկատմամբ $\vec{n}$ ուղղորդի որոշակի կողմնորոշման դեպքում: $\Delta\chi$ -ի և $\Delta\varepsilon$ -ի դրական արժեքների համար դա տեղի ունի, երբ ուղղորդն

ուղղված է դաշտի լարվածության ուղղությամբ: $\Delta\chi$ -ի և $\Delta\varepsilon$ -ի բացասական արժեքների դեպքում ՆՀԲ-ի ուղղորդը ձգտում է դասավորվել դաշտի լարվածությանն ուղղահայաց:

Տարածության մեջ ՀԲ-ի ուղղորդի ձևախախտման առաձգական էներգիան կարելի է գրել հետևյալ տեսքով [18, 19].

$$F_d = 1/2 K_1 [\nabla \cdot \vec{n}]^2 + 1/2 K_2 [\nabla \cdot \vec{n}]^2 + 1/2 K_3 [\vec{n} \cdot \nabla \cdot \vec{n}]^2, \quad (2)$$

որտեղ K_1 , K_2 , K_3 -ը կոչվում են Ֆրանկի առաձգականության գործակիցներ: Դրանցից առաջինը նկարագրում է լայնական կամ S (splay) ձևախախտումը, երկրորդը՝ պտտական կամ T (twist) ձևախախտումը, երրորդը՝ երկայնական կամ B (bend) ձևախախտումը: Ֆրանկի գործակիցները 10^{-11} Ն կարգի մեծություններ են և որպես կանոն $K_3 > K_1 > K_2$ [18]: Շատ դեպքերում, երևույթների որակական բացատրության ժամանակ, բավարար է լինում սահմանափակվել միահաստատուն՝ $K_1 = K_2 = K_3 \equiv K$ մոտավորությամբ, որի դեպքում ազատ էներգիայի արտահայտությունն ընդունում է բավականին պարզ տեսք. $F_d = 1/2 K (\nabla \cdot \vec{n})^2$:

Արտաքին էլեկտրական կամ մագնիսական դաշտում ՆՀԲ-ի մոլեկուլների համախմբի ազատ էներգիան նվազագույնն է միայն դաշտի լարվածության նկատմամբ ուղղորդի որոշակի կողմնորոշման դեպքում: Եթե սկզբնական վիճակում դաշտի լարվածության նկատմամբ ուղղորդի դասավորությունը չի համապատասխանում ազատ էներգիայի մինիմումին, ապա բավականաչափ ուժեղ դաշտում, որն ի վիճակի է հաղթահարելու ՀԲ-ի առաձգականության ուժերը, հաստատվում է նոր հավասարակշռված վիճակ: Ուղղորդի ուղղության փոփոխության այս երևույթը հայտնաբերել է Ֆրեդերիկսը և կրում է նրա անունը: Էլեկտրական դաշտում ուղղորդի ուղղության փոփոխությունը ուղեկցվում է միջավայրի օպտիկական անիզոտրոպության կամ երկբեկման փոփոխությամբ [6, 18]:

Էլեկտրական դաշտում գտնվող նեմատիկի մոլեկուլի վրա, դաշտի կողմից ազդող ուժից բացի, ազդում են նաև բջժի պատերի հետ կառչման ուժերը: Էլեկտրական դաշտի լարվածության աճի հետ միասին աճում է նաև էլեկտրական դաշտի կողմից հեղուկ բյուրեղի մոլեկուլի վրա ազդող ուժը: Հեղուկ բյուրեղի մոլեկուլը սկսում է վերակողմ-

նորոշվել միայն այն դեպքում, երբ էլեկտրական դաշտի կողմից ազդող ուժը դառնում է մեծ բջջի պատի հետ մոլեկուլի փոխազդեցության (կառչման) ուժից: Այդ պատճառով Ֆրեդերիկսի երևույթն ունի շեմային բնույթ, այսինքն վերակողմնորոշումը տեղի է ունենում ոչ թե անընդհատ այլ թռիչքով, որը մոտավորապես որոշվում է

$$E_{շիւ} = \frac{\pi}{d} \sqrt{\frac{4\pi K}{\Delta \varepsilon}} \quad (3)$$

բանաձևով, որտեղ d -ն ՀԲ-ական թաղանթի հաստությունն է: Այսպիսով, Ֆրեդերիկսի անցման $U_{շիւ} = E_{շիւ} \cdot d$ շեմային լարումը կախված է թաղանթի հաստությունից: Ֆիզիկորեն դա հետևանք է այն բանի, որ բջջի հաստությունը մեծացնելու դեպքում թուլանում է պատերի ազդեցությունը բջջի կենտրոնական մասում մոլեկուլների վերակողմնորոշման վրա: Հաշվարկները ցույց են տալիս, որ տիպիկ նեմատիկների համար Ֆրեդերիկսի անցման շեմային լարումը $U_0 \sim 1$ Վ կարգի մեծություն է [20]:

ՆՀԲ-ի ուղղորդի վերակողմնորոշումը փոխում է վերջինիս երկբեկումը, որն էլ անդրադառնում է նրանով անցած լույսի բևեռացման վրա: Անկախ վերակողմնորոշման մեխանիզմից, երբ արտաքին ազդեցությամբ ուղղորդը վերակողմնորոշվում է, սովորական ալիքի բեկման ցուցիչը մնում է նույնը՝ $n_o = n_{\perp}$, իսկ անսովոր ալիքի բեկման n_e ցուցիչը փոքրանում է՝ ձգտելով n_o -ին: Պլանար կողմնորոշված ՆՀԲ-ական շերտին ուղղահայաց՝ z ուղղությամբ $n_e(z)$ -ի և վերակողմնորոշման $\theta(z)$ անկյան միջև կապը տրվում է

$$n_e(z) = \frac{n_{\perp} n_{\parallel}}{\sqrt{n_{\perp}^2 \cos^2 \theta(z) + n_{\parallel}^2 \sin^2 \theta(z)}} \quad (4)$$

առնչությամբ [19], իսկ սովորական և անսովոր ալիքների միջև փուլերի լրացուցիչ տարբերությունը, ըստ z -ի թաղանթի հաստությամբ վերցված ինտեգրալով [19].

$$\Delta \Phi = \frac{2\pi}{\lambda} \int_0^d [n_e(z) - n_o] dz = \frac{2\pi d}{\lambda} \langle \Delta n(z) \rangle, \quad (5)$$

որտեղ λ -ն լուսային ալիքի երկարությունն է դատարկության մեջ:

1.2.3. Ֆրեդերիկսի լուսամակածված անցումը

ՆՀԲ-ի ուղղորդի վրա կողմնորոշող ազդեցություն ունի ոչ միայն ստատիկ էլեկտրական դաշտը, այլ նաև լուսային ալիքի էլեկտրական դաշտը [20]: Դրա պատճառն այն է, որ ՆՀԲ-ի էներգիան արտաքին էլեկտրական դաշտում համեմատական է դաշտի լարվածության քառակուսուն և չի փոխվում $\vec{E}$ -ն $-\vec{E}$ -ով փոխարինելիս: Հետևաբար, հարթ բևեռացված ալիքի դաշտում, երբ էլեկտրական դաշտի լարվածության վեկտորը տատանվում է որոշակի ուղղությամբ, լուսային ալիքի դաշտում էներգիայի արտահայտությունը ստատիկ դեպքից տարբերվում է միայն 0,5 բազմապատկիչով, որը ըստ պարբերության միջինացման արդյունք է [20].

$$E_{\text{լուս}} = \frac{1}{16\pi} \Delta \varepsilon_{\text{լուս}} (\vec{n} \cdot \vec{E})^2, \quad (6)$$

որտեղ $\Delta \varepsilon_{\text{լուս}} = \varepsilon_{\parallel}^{\text{լուս}} - \varepsilon_{\perp}^{\text{լուս}}$ -ը դիէլեկտրական թափանցելիությունն է օպտիկական հաճախությունների համար:

Ֆրեդերիկսի լուսամակածված անցումը հեշտությամբ դիտվում է թույլ լազերային դաշտերով հոմեոտրոպ կողմնորոշված ՆՀԲ-ական բջիջներում: ՀԲ-ի մոլեկուլների և գծային բևեռացված լուսային ալիքի էլեկտրական դաշտի փոխազդեցության արդյունքում փոխվում է ուղղորդի ուղղությունը, որն իր հերթին հանգեցնում է բեկման ցուցչի փոփոխության: Այսպիսով, լուսային ալիքը ինքն է փոխում միջավայրի օպտիկական հատկությունները, որի արդյունքում տեղի է ունենում լույսի ինքնազդեցություն, որը հաճախ անվանում են կողմնորոշումային ինքնակիզակետում [22]:

Լուսային դաշտում ՀԲ-ի մոլեկուլների վերակողմնորոշումն ունի շեմային բնույթ, երբ լույսի տարածման ուղղությունը համընկնում է ուղղորդի ուղղության հետ: Դաշտի շեմային արժեքը, ինչպես Ֆրեդերիկսի երևույթի դեպքում է, հակադարձ համեմատական է բջջի հաստությանը: Թեք անկման դեպքում, երբ լույսի բևեռացումը գտնվում է անկման հարթության մեջ, ՆՀԲ-ի ուղղորդի վերակողմնորոշումը չունի շեմային բնույթ և դիտվում է շատ ավելի փոքր ինտենսիվությունների դեպքում [21]:

1.2.4. Մաքսվելի երևույթը և հեղուկ բյուրեղների վերակողմնորոշման հիդրոդինամիկական մեխանիզմները

Մաքսվելի երևույթը (հեղուկի հոսքում երկբեկումը) ծագում է հոսող հեղուկի կամ նրա մեջ լուծված միջավայրի մոլեկուլների հիդրոդինամիկական ուժերով պայմանավորված կողմնորոշմամբ: Մաքսվելի երևույթը հնարավոր է, եթե հեղուկի կամ նրանում խառնուրդի մոլեկուլները ոչ սֆերիկ են և անիզոտրոպ: Դադարի վիճակում գտնվող հեղուկում անիզոտրոպ մոլեկուլները կողմնորոշված են քառասայնորեն և հեղուկն ամբողջությամբ օպտիկապես իզոտրոպ է: Հոսող հեղուկում տեղի է ունենում ոչ սֆերիկ մոլեկուլների մասնակի կողմնորոշում հոսքի ուղղությամբ: Լրիվ կողմնորոշմանը, բնական է, խան-գարում է բրոունյան շարժումը, ինչի հետևանքով ծագում է կողմնորոշման տեղային գերադասելի ուղղություն, որը հոսքի ուղղության նկատմամբ կազմում է որոշակի անկյուն: Այդ անկյունը կախված է հոսքի լայնական հատույթում արագության գրադիենտից և մոլեկուլների ձևից: Կողմնորոշված օպտիկապես անիզոտրոպ մոլեկուլներով հոսող հեղուկը նման է երկբեկող բյուրեղի և օժտված է դրան բնորոշ նմանատիպ հատկություններով [22]:

ՆՀԲ-ի ուղղորդի հիդրոդինամիկական, ավելի ճիշտ լուսահիդրոդինամիկական վերակողմնորոշման մեխանիզմի հնարավորությունը տեսականորեն ցույց է տրվել Հակոբյանի և Զելդովիչի կողմից [23] աշխատանքում: Այն փորձնականորեն հայտնաբերվել և ուսումնասիրվել է [24] աշխատանքում: Այդ աշխատանքում առաջին անգամ փորձնականորեն գրանցվել է հոմեոտրոպ կողմնորոշված ՆՀԲ-ական բջջում ուղղորդի վերակողմնորոշման հետևյալ մեխանիզմը: Լուսային ճառագայթման կլանման հետևանքով ՆՀԲ-ի ծավալային ընդարձակումը բերում է ճնշման գրադիենտի առաջացման, որն առաջացնում է ՆՀԲ-ի պուազելյան հոսք: Վերջինս իր հերթին բերում է ՆՀԲ-ի ուղղորդի մաքսվելյան վերակողմնորոշման: Դա թույլ է տվել իրականացնել չափազանց թույլ հզորությամբ լույսի միջոցով լույսի մոդուլյացիա, և առաջարկվել է այն օգտագործել տարբեր տիրույթների թույլ (մկՎտ) ճառագայթումների գրանցման համար [25, 26]:

[23] աշխատանքում տեսականորեն ցույց է տրվել նաև, որ ՆՀԲ-ում ինտենսիվության տարածապարբերական բաշխմամբ թույլ լազերային ճառագայթման կլանումը բերում է կանոնավոր կոնվեկտիվ շարժումների առաջացման: Լուսային ճառագայթմամբ մակածված կոնվեկտիվ շարժումներն առաջացնում են ՆՀԲ-ի ուղղորդի վերակոդմնորոշում, դրանով իսկ հանգեցնելով դիէլեկտրական թափանցելիության մոդուլյացիայի [27]:

Համասեռ կոդմնորոշված ՆՀԲ-ում միամոդ լազերային դաշտով մակածվել և ուսումնասիրվել է բարդ (սակայն ղեկավարվող) տեսքի կոնվեկտիվ կառուցվածքներ, որը բերում է օպտիկական երկկայունությամբ լույսի ինքնադիֆրակտման և ցրման [28, 29]: Ցույց է տրվել, որ դիտվող երևույթների ֆիզիկական պայմանավորված է անշարժ հեղուկում կոնվեկտիվ անկայունության ծագմամբ, երբ նրանում առաջանում է ջերմաստիճանային գրադիենտ:

Հայտնի է, որ ԽՀԲ-ի հատկությունները ինվարիանտ չեն հայելային արտապատկերման նկատմամբ: Այնպես, որ ԽՀԲ-ի համընթաց կամ պտտական շարժումը կարող է հանգեցնել ջերմաքանակի տեղափոխման: Ճիշտ այդպես էլ ջերմաստիճանային գրադիենտը կարող է հանգեցնել ԽՀԲ-ի հոսքի [30, 31]: Փորձնականորեն ջերմամեխանիկական երևույթը ԽՀԲ-ում դիտվել է [32] աշխատանքում: Դրա էությունը նրանումն է, որ ԽՀԲ-ական թաղանթում ստեղծված ջերմային գրադիենտին ուղղահայաց ուղղությամբ ծագում է հիդրոդինամիկական հոսք: Այն հետևանք է ԽՀԲ-ի ուղղորդի պարուրածն պտույտի, այսինքն աջ ու ձախ համաչափության բացակայության:

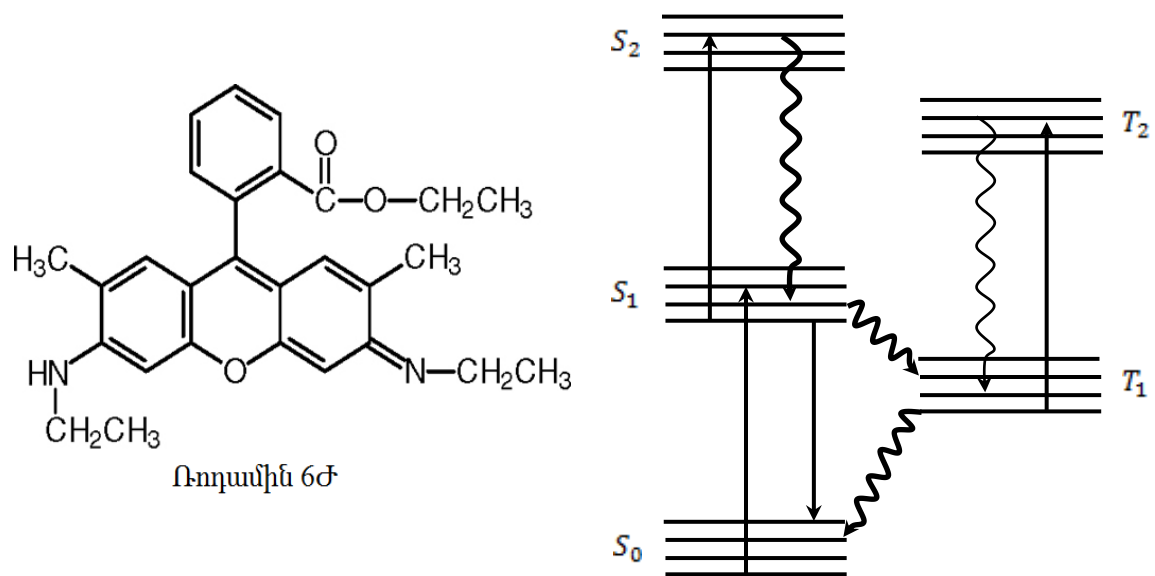
ՆՀԲ-ներում ջերմամեխանիկական երևույթները հնարավոր են միայն երեք հետևյալ գրադիենտների առկայությամբ. ջերմաստիճանի գրադիենտ, ուղղորդի բաշխման գրադիենտ և հիդրոդինամիկական հոսքի արագության գրադիենտ [33]:

1.3. Լազերային ներկանյութերն ու դրանց հիմնական հատկությունները

1.3.1. Ներկանյութի մոլեկուլների էներգիական վիճակների համակարգը

Ներկանյութային լուծույթների ստիպողական ճառագայթման էֆեկտիվ գեներացիայի հատկությունը պայմանավորված է դրանցում օպտիկական անցումների σ մեծ

կտրվածքով, որն ավելի քան 10^3 անգամ գերազանցում է պինդ մարմնային ակտիվ միջավայրերում անցումների կտրվածքը [34]: Դա թույլ է տալիս ստանալու ուժեղացման մեծ գործակիցներ և փոքր կոնցենտրացիաների դեպքում ($\sim 10^{-5} \div 10^{-4}$ մոլ/լ) էֆեկտիվ գեներացիա: Դա թույլ է տալիս նաև, ստանալ լազերային ճառագայթման գեներացիա բարակ թաղանթներում ($\sim 10^{-3} \div 10^{-5}$ մ): Միևնույն ժամանակ, ներկանյութերի գրգռված վիճակի կյանքի տևողությունը՝ τ -ն $\sim 10^{-5} \div 10^{-6}$ անգամ փոքր է, քան պինդմարմնային լազերների դեպքում է: Լազերների մղման շեմային հզորության խտության մակարդակը էականորեն կախված է $1/\sigma\tau$ մեծությունից: Հետևաբար, ներկանյութային լազերների մղման շեմային հզորության խտությունը զգալիորեն բարձր է, քան պինդմարմնային լազերներինն է [35]: Ներկանյութային լազերների մղման ինտենսիվությունների նկատմամբ պահանջները զգալիորեն մեղմվում են շնորհիվ այն բանի, որ դրանց ֆլուորեսցենցիայի սպեկտրը, կլանման սպեկտրի նկատմամբ էապես շեղված է դեպի երկարալիքային տիրույթ՝ այնպես, որ դրանք թեթևակի ծածկվում են «փեշերով»: Նկ. 1.3-ում բերված է ամենահայտնի լազերային ներկանյութերից մեկի՝ ռոդամին 6Ժ-ի (rhodamine 6G) քիմիական կառուցվածքը և դրա էներգիական մակարդակների ուրվագծային պատկերը [36]:



Նկ. 1.3. Ներկանյութի էներգիական մակարդակների պարզեցված համակարգը: Ուղիղ սլաքներով պատկերված է ճառագայթային անցումները, ալիքաձևով՝ ոչ ճառագայթայինը

Օպտիկական ճառագայթման ուժեղ կլանումը ներկանյութի մոլեկուլների կողմից պայմանանավորված է հակազուգահեռ սպիններով S_i սինգլետ վիճակների միջև թույլատրված անցումներով: Դա կապված է ներկանյութի ներքևի S_0 էներգիական վիճակի սինգլետությամբ: Տեսական դիտարկումը ցույց է տալիս, որ յուրաքանչյուր գրգռված սինգլետ վիճակի համապատասխանում է տրիպլետ T_i զուգահեռ սպինով և որոշ չափով ցածր էներգիական վիճակ (նկ. 1.3) [36]:

Այսպիսով ներկանյութի էներգիական վիճակների համակարգը բաղկացած է տարբեր սպիններով երկու ենթահամակարգերից: Ենթահամակարգերից յուրաքանչյուրում անցումները թույլատրված են և ունեն մեկի հավասար տատանակի ուժ: Միևնույն ժամանակ տարբեր ենթահամակարգերի միջև օպտիկական անցումների համար գոյություն ունի սպինային խիստ արգելանք:

S_0 հիմնական վիճակում գտնվող մոլեկուլը, կլանելով ֆոտոն անցնում է S_i գրգռված սինգլետ վիճակներից որևէ մեկը: Գրգռման էներգիայի ռելաքսացիայի ժամանակը (τ_i) կախված է մի շարք պրոցեսներից: τ_i -ի արժեքների վերին սահմանը որոշվում է ինքնակամ ճառագայթման պրոցեսներով՝ $\tau_{ik\text{down}} = 1/A_{ik}$, որտեղ A_{ik} -ն $S_i \rightarrow S_k$ ինքնակամ անցման էյնշտեյնի գործակիցն է: Գրգռման էներգիան կորցվում է ենթահամակարգերի սինգլետ թերմերի միջև ոչ ճառագայթային անցումների հետևանքով (ներքին կոնվերսիա, τ_{ic}) և տարբեր ենթահամակարգերի մակարդակների միջև (ինտերկոմբինացիոն կոնվերսիա, τ_{icc}): Դրանից բացի, գրգռված վիճակների ռելաքսացիան տեղի է ունենում ֆոտոքիմիական ռեակցիաների արդյունքում (τ_{ph}), որը բերում է մոլեկուլների դարձելի կամ անդարձելի քայքայման և արդյունքում էներգիայի միջմոլեկուլյար փոխանցման (մարման, τ_q): S_i գրգռված վիճակի ռելաքսացման արագությունը, ներքև ընկած բոլոր S_k (k -ն փոխվում է 0-ից մինչև $(i-1)$) և T_k (k -ն փոխվում է 1-ից մինչև $(i-1)$) մակարդակներ ճառագայթային և ոչ ճառագայթային անցումների համար, որոշվում է [34, 35]

$$\frac{1}{\tau_i} = \sum \left(\frac{1}{\tau_{ik\text{down}}} + \frac{1}{\tau_{ikic}} + \frac{1}{\tau_{ikicc}} + \frac{1}{\tau_{iph}} + \frac{1}{\tau_{iq}} \right) \quad (2.1)$$

արտահայտությամբ:

Գրեթե բոլոր ներկանյութերի համար ֆլուորեսցենցիայի սպեկտրը որոշվում է երկարակյաց S_1 առաջին գրգռված սինգլետ վիճակից $S_1 \rightarrow S_0$ անցումներով: Ֆլուորեսցենցիայի ելքը շատ ներկանյութերի համար կախված չէ գրգռման քվանտի ալիքի երկարությունից, ինչը վկայում է բարձր գրգռված վիճակից S_1 ֆլուորեսցենցող վիճակ էներգիայի արագ ոչ ճառագայթային ներքին կոնվերսիայի մասին: Ֆլուորեսցենցիայի քվանտային φ ելքն այդ դեպքում կախված է S_1 -ի կյանքի ռադիացիոն տևողության (τ_{fluor}) և ռելաքսացիայի բոլոր մեխանիզմներով պայմանավորված τ_1 ռելաքսացիայի ժամանակի հարաբերակցությունից: φ -ն որոշվում է [35]

$$\varphi = \frac{\tau_i}{\tau_{\text{fluor}}}; \quad \frac{1}{\tau_1} = \frac{1}{\tau_{\text{fluor}}} + \frac{1}{\tau_{ic}} + \frac{1}{\tau_{icc}} + \frac{1}{\tau_{ph}} + \frac{1}{\tau_q} \quad (2.2)$$

առնչությամբ:

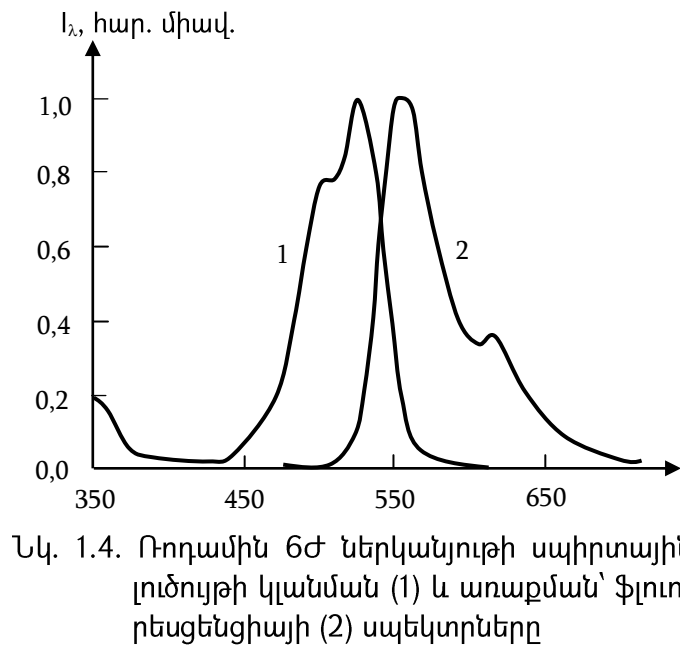
Ներկանյութի $S_1 \rightarrow S_0$ անցման համար τ_{fluor} – ն մեծություններն ընկած է $1 \div 10$ նվ տիրույթում: Ռելաքսացիայի մյուս մեխանիզմներին համապատասխանող տևողությունները կախված են մոլեկուլի կառուցվածքից, լուծիչի ազդեցությունից, լուծույթի ջերմաստիճանից և լուծույթում առկա խառնուկների տեսակից և քանակից:

1.3.2. Ներկանյութերի կլանման և առաքման բնութագրական սպեկտրները

Ներկանյութային ակտիվ միջավայրում ճառագայթման գեներացումը կապված է առավել երկարալիք $S_1 \rightarrow S_0$ սիգլետ-սինգլետ անցմամբ: $S_0 \leftrightarrow S_1$ անցումների արդյունքում կլանման (λ_{fl}) և առաքման (λ_{em}) շերտերի մաքսիմումների ալիքի երկարություններն աճում են մոլեկուլային շղթայի երկարության աճին զուգընթաց:

Նկ. 1.4-ում, բերված է ներկանյութային լուծույթներին բնութագրական երկարալիքային կլանման և առաքման (ֆլուորեսցենցիայի կամ լյումինեսցենցիայի) սպեկտրները:

Շատ ներկանյութերի կլանման և առաքման $S_0 \leftrightarrow S_1$ սպեկտրներն ունեն հայելային համաչափություն: Այդպիսի սպեկտրներ առաջանում են այն դեպքում, երբ մոլեկուլի անցումը գրգռված վիճակի քիչ է ազդում մոլեկուլի երկրաչափական կառուցվածքի և նրանում լիցքի բաշխման վրա: Որպես հետևանք, ներկանյութի մոլեկուլը շրջապատող



լուծիչի մոլեկուլների վերակողմնորոշում չի առաջացնում: Նման փոփոխությունները բերում են կլանման սպեկտրի մաքսիմումի նկատմանը ֆլուորեսցենցիայի սպեկտրի համեմատաբար փոքր երկարալիքային շեղման (ստոքսյան շեղում): Պիրոնինային, ռոդամինային և շատ այլ ներկանյութերի համար $\Delta\lambda_{st} = \lambda_{st} - \lambda_{ex}$ մեծությունն $10 \div 30$ նմ կարգի է:

1.3.3. Հեղուկ և պինդ ներկանյութային լուծիչների մասին

Ներկանյութային լազերներում, որպես ակտիվ միջավայր օգտագործում են ներկանյութային լուծույթներ: Լազերային ներկանյութերի համար լուծիչ կարող են ծառայել, ինչպես իզոտրոպ և անիզոտրոպ հեղուկները, այնպես էլ իզոտրոպ և անիզոտրոպ պինդմարմնային նյութերը: Ներկանյութային խառնուրդներն իրենց մեջ պարունակում են քիչ քանակի ներկանյութ, այդ պատճառով լուծիչների դերը շատ կարևոր է այն իմաստով, որ դրանով է որոշվում խառնուրդի շատ օպտիկական հատկություններ: Լազերային գեներացիայի տեսակետից, տարբեր տիպի ներկանյութերի համապատասխանում են տարբեր լուծիչներ: Օրինակի համար ջուրը, մեթանոլը և էթանոլը լավ լուծիչ են համարվում ներկանյութերի մեծ մասի համար, բացի այն ներկանյութերից, որոնց կլանման տիրույթը գտնվում է ինֆրակարմիր կամ դրան մոտ տիրույթում [37]: Ներկանյութի համար լուծիչ ընտրելիս հիմնականում առաջնորդվում են լուծիչի որոշ կարևոր հատկություններով՝ ներկանյութը լուծիչում պետք է լավ լուծելիություն ունենա, լուծիչը պետք է լինի թափանցիկ ներկանյութի ճառագայթման և մղման փնջի ալիքի երկարությունների տիրույթում, լուծիչը պետք է լինի կայուն ֆոտոքիմիական տեսանկյունից: Կախված լազերային ներկանյութերի տեսակից, խառնուրդի մեջ դրանց կոնցենտրիայից, խառնուրդի

տեսակից և այլ հանգամանքներից, ներկանյութի ճառագայթման սպեկտրային տիրույթը լինում է տարբեր:

Առավել հաճախ, ներկանյութային լազերներում որպես լուծիչ օգտագործում են հեղուկներ: Դրանց առավելությունը կայանում է նրանում, որ ստիպողական պարզ շրջատույտի միջոցով կարելի է գեներացիայի տիրույթում փոխել ակտիվ միջավայրը: Դա թույլ է տալիս իրականացնել գեներացիայի տիրույթից էֆեկտիվ ջերմանջատում և մեծացնել ներկանյութի աշխատանքային ունակությունը, շնորհիվ դրա ծավալի մեծացման և ֆոտոքայքայման ենթարկված բաղադրիչների զտման:

Հեղուկ ակտիվ միջավայրերի թերությանն են վերագրվում մղման ճառագայթման ազդեցությամբ ծագող մեծ օպտիկական կորուստները: Այդ կորուստները պայմանավորված են ակտիվ միջավայրի օպտիկական համասեռության ջերմային և ակուստիկական աղավաղումներով և պղպձակագոյացմամբ, որը բերում է ակտիվ միջավայրում լույսի լրացուցիչ ցրման:

Ներկանյութերի համար որպես լուծիչ օգտագործում են նաև պինդմարմնային պոլիմերները: Ներկանյութով հարստացրած պոլիմերային ակտիվ միջավայրից առաջին անգամ լազերային ճառագայթում ստացել են 1968 թվին և մինչև այսօր կատարվում են հետազոտություններ այդ ուղղությամբ [38]: Պոլիմերները, ինչպես հեղուկ լուծիչների դեպքում է, պետք է լինեն համասեռ և թափանցիկ, օպտիկական մղման և լազերային ճառագայթման ալիքի երկարությունների համար: Օպտիկական հատկությունների և պատրաստման հեշտության շնորհիվ մեծ տարածում են գտել օրգանական պոլիմերային լուծիչները: Որպես լազերային ներկանյութերի լուծիչներ պոլիմերներն ունեն նաև լուրջ բացասական կողմեր: Նախ պոլիմերների օպտիկական հատկությունները հեշտ են ենթարկվում ֆիզիկական և քիմիական ազդեցությունների: Երկրորդը, ուլտրամանուշակագույն և ինֆրակարմիր տիրույթում մեծ կլանման պատճառով դրանք ենթարկվում են ֆոտոքայքայման [39]:

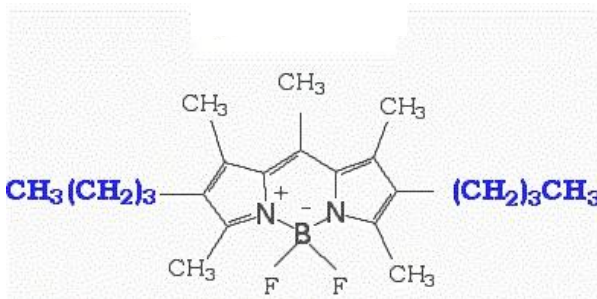
1.3.4. Ներկանյութային լուծույթներում ֆլուորեսցենցիայի մարման մասին

Լազերային ներկանյութերի ֆլուորեսցենցիան շատ զգայուն է ներկանյութում տեղի ունեցող միջմոլեկուլային փոխազդեցությունների նկատմամբ: Ներկանյութում տարբեր ֆիզիկական կամ քիմիական պրոցեսների հետևանքով կարող է առաջանալ ֆլուորեսցենցիայի մարում: Ֆլուորեսցենցիայի մարման պատճառ կարող է հանդիսանալ ներկանյութի ջերմաստիճանի բարձրացումը, լուծիչում ներկանյութի կոնցենտրացիայի փոփոխությունը, լուծույթում առկա խառնուկների, այդ թվում թթվածնի առկայությունը և այլն: Տարբերակում են ներկանյութի լյումինեսցենցիայի մարման առաջին և երկրորդ կարգեր: Առաջին կարգի մարումների ժամանակ ներկանյութում գրգռված վիճակիների միջին տևողությունը չի նվազում: Առաջին կարգի մարման պատճառներ կարող են հանդիսանալ գրգռված մոլեկուլներում արագ քիմիական կամ ֆիզիկական պրոցեսները: Այս դեպքում մոլեկուլների կողմից կլանված էներգիայի մի մասը ծախսվում է նրանց իոնացման վրա կամ տատանման և պտտման էներգիաների մեծացման վրա: Երկրորդ կարգի մարումների դեպքում տեղի է ունենում գրգռված մոլեկուլների դեակտիվացիա, որը կարող է առաջանալ, երբ գրգռված մոլեկուլի էներգիան փոխանցվում է չգրգռված մոլեկուլին, գրգռման էներգիան վերածվում է մոլեկուլի տատանման էներգիայի կամ երբ տեղի է ունենում քիմիական պրոցես գրգռված մոլեկուլի մասնակցությամբ [40]:

Լազերային ներկանյութերին բնորոշ հատկություններից է դեգրադացիան: Ներկանյութերի դեգրադացիայի պատճառ կարող են հանդիսանալ ճառագայթումը, ջերմային հոսքերը և լուծիչները: Ճառագայթման, ջերմային հոսքերի և լուծիչների ազդեցությունները ներկանյութերում հանգեցնում են մոլեկուլների ֆոտոդեգրադացիայի, ինչն ուղղակիորեն ազդում է ներկանյութի կլանման տիրույթի, ճառագայթման տիրույթի և ֆլուորեսցենցիայի ելքի վրա:

Լազերային ճառագայթում ստանալու նպատակով ներկանյութերից թերևս ամենամեծ տարածումն ունեն քսանթենային լազերային ներկանյութերը, որոնցից ամենատարածվածն են ռոդամինային լազերային ներկանյութերը: Ռոդամինային լազերային ներկանյութերը ծածկում են ալիքի երկարության 500 նմ-ից մինչև 700 նմ ընկած տիրույթը:

Ռոդամինային ներկանյութերի գլխավոր առավելություններից է նրանց լուծելիության դյուրինությունը տարբեր լուծիչներում, մասնավորապես՝ հեղուկ բյուրեղներում: Մյուս առավելություններից է այն, որ ռոդամինային ներկանյութերը հեշտ են սինթեզվում: Ռոդամինային ներկանյութերի ամենատարածված ներկայացուցիչը ռոդամին 6ժ-ն է (Ռ6ժ): Ռ6ժ-ն օժտված է մեծ ֆոտոկայունությամբ, այսինքն ներկանյութի գունաթափումը տեղի է ունենում բավականին դանդաղ: Լազերային ճառագայթում Ռ6ժ-ից ստացվում է մոտավորապես 555 նմ-ից 585 նմ ալիքի երկարությունների տիրույթում, իսկ դրա ֆլուորեսցենցիայի մաքսիմումը 566 նմ ալիքի երկարության մոտակայքում է: Այս ներկանյութի լազերային ճառագայթման տիրույթը շատ մոտ է նրա կլանման մաքսիմումի ալիքի երկարությանը:



Նկ. 1.5. Ատենախոսության փորձերում օգտագործված Pyrromethene 597 ներկանյութի մոլեկուլային կառուցվածքը

Ատենախոսության մեջ կատարված փորձերում օգտագործել ենք մեկ այլ Pyrromethene 597 (PM597) ներկանյութը, որովհետև այս լազերային ներկանյութն ունի ավելի մեծ լուծելիություն հեղուկ բյուրեղներում քան Ռ6ժ ներկանյութն է, իսկ դրա ֆլուորեսցենցիայի ելքը չի գիջում Ռ6ժ-ին: PM597 ներկանյութն օժտված է ուժեղ կլանմամբ ալիքի երկարությունների մո-

տավորապես 450 նմ-ից 560 նմ տիրույթում, որի մաքսիմումն ընկած է 530 նմ ալիքի երկարության մոտակայքում: Ներկանյութի ֆլուորեսցենցիայի տիրույթը գտնվում է ալիքի երկարությունների 550-650 նմ տիրույթում, մաքսիմումը՝ 570 նմ-ի շրջակայքում:

Վերջում հպանցիկ կանգ առնենք ներկանյութային լազերների մղման եղանակների և դրանց որոշ առանձնահատկությունների վրա, առանց խորանալու տեխնիկական լուծումների մեջ, որը կարելի է գտնել բազմաթիվ մենագրություններում և նույնիսկ ուսումնական ձեռնարկներում (տես օր. [34, 35] մենագրություններն ու [41] հանրագիտարանը):

Այսօր գոյություն ունեն ինչպես անընդհատ, այնպես էլ իմպուլսային ռեժիմում աշխատող ներկանյութային լազերներ: Անընդհատ ներկանյութային լազերներում մղման

համար օգտագործում են անընդհատ լազերներ՝ հիմնականում իոնային: Մղման փունջը կիզակետվում է ներկանյութային ակտիվ միջավայրի վրա: Ակտիվ միջավայրը՝ ներկանյութային լուծույթը, անընդհատ ենթարկվում է ինտենսիվ ստիպողական շրջապտույտի, ինչը թույլ է տալիս խուսափել ներկանյութի տաքացումից և դեգրադացիայից [37]: Սա է, այն հիմնական խոչընդոտը, որ այսօր գոյություն չունեն բարակ (տասնյակ մկմ-ից ոչ ավել) թաղանթային ներկանյութային լազերներ:

Իմպուլսային ներկանյութային լազերների համար օգտագործում են օպտիկական մղման տարբեր եղանակներ, որոնցից ամենատարածվածը օպտիկական մղումն է իմպուլսային լամպերի և իմպուլսային լազերների միջոցով: Մղման համար օգտագործվող լամպերն ապահովում են մղման կարճ տևողությամբ իմպուլսներ: Սակայն հանդիպում են դեպքեր, երբ լազերային ճառագայում ստացվում է օգտագործելով լամպեր, որոնք արձակում են հարյուրավոր միկրովայրկյաններ տևողությամբ իմպուլսներ [42]: Լամպային մղման ամենալուրջ թերությունը ներկանյութի համեմատաբար բարձր ֆոտոդեգրադացիայի արագությունն է [43]:

Լազերային մղմամբ ներկանյութային լազերների ամենակարևոր առավելություններից է լազերային ներկանյութերի ֆոտոդեգրադացիայի և գունաթափման ցածր արագությունը և այն, որ այսպիսի լազերներում որպես ակտիվ միջավայր կարող են ծառայել նաև ներկանյութով հարստացրած պինդմարմնային բարակթաղանթային կառուցվածքները [35]: Այս դեպքում օպտիկական մղման համար ամենահարմար լազերներն են պինդմարմնային իմպուլսային լազերները: Ներկանյութային լազերներում տարբերակում են լազերով օպտիկական մղման երկու եղանակ՝ լայնական և երկայնական: Օպտիկական մղման երկայնական եղանակի դեպքում, ակտիվ միջավայրի վրա ընկնող մղման փունջը զուգահեռ է լազերային ճառագայթմանը, իսկ լայնականի դեպքում մղման փունջն ուղղահայաց է ներկանյութային լազերի գեներացիայի փնջին:

Այսօր գեներացիայի ֆոտոկայունության տեսակետից, պինդմարմնային ներկանյութային տարրերը իրենց բնութագրերով ընդհուպ մոտեցել են հեղուկայինին: Պինդմարմնային, այդ թվում պոլիմերային ակտիվ միջավայրերը մի կարևոր առավելություն

ունեն հեղուկայինի նկատմամբ, որը պայմանավորված է այն հանգամանքով, որ դրանք անկշռելիության պայմաններում աշխատելու տեսակետից որևէ խնդիր չունեն [44]:

1.4. Հեղուկ բյուրեղային ներկանյութային լազերները

Հեղուկ բյուրեղական ներկանյութային լազերներում որպես ակտիվ միջավայրեր օգտագործում են ներկանյութով հարստացրած ՀԲ-ական կառուցվածքները: Հետաքրքրությունն ու ուսումնասիրություններն այս ուղղությամբ սկսվել են վաղուց [45-48]: Այստեղ կարևոր դեր է խաղացել այն հանգամանքը, որ ներկանյութի երկարաձգված մոլեկուլները ձգտում են իրենց երկար առանցքներով դասավորվել ՀԲ-ի ուղղորդի երկայնքով: Այս երևույթը, որն այսօր լավ ուսումնասիրված է [18, 49, 50], անվանում են «հյուր-հյուրընկալ» էֆեկտ (guest-host effect): Այն լուրջ կիրառություն է գտել ժամանակակից գունավոր ինդիկատորներում և դիսփլեյներում [41]: Մյուս կողմից, պարուրաձև կառուցվածքի շնորհիվ խիրալ մոլեկուլներ պարունակող հեղուկ բյուրեղներն օժտված են բեկման ցուցչի պարբերական մոդուլյացիայով, ինչը հանգեցնում է այդպիսի կառուցվածքներում ՖԱԳ-ի առաջացման: Այս երևույթի շնորհիվ, վերջերս ինտենսիվ հետազոտվում են ՀԲ-ները, նպատակ ունենալով այն օգտագործելու նոր սերնդի սարքավորումներում: Բեկման ցուցչի պարբերական փոփոխության շնորհիվ, ԽՀԲ-ական ներկանյութային լազերներում ինքնաբերաբար ապահովվում է ղեկավարվող հետադարձ կապ: Ներկանյութով հարստացրած ՀԲ-ական ակտիվ միջավայրերում, ԽՀԲ-ի ընտրողաբար անդրադարձման տիրույթը կարող է իր մեջ ներառել ներկանյութի ֆլուորեսցենցիայի տիրույթը և հակառակը՝ ՖԱԳ-ի սպեկտրային տիրույթը կարող է ընկած լինել ֆլուորեսցենցիայի տիրույթում: Այդ պատճառով ՀԲ-ական լազերների գեներացիայի ալիքի երկարությունների տիրույթը կախված է լազերի ակտիվ միջավայրի ԽՀԲ-ի պարույրի քայլից:

Ցույց է տրվել, որ ԽՀԲ-ական ներկանյութային լազերներում, լազերային գեներացիա կարելի է ստանալ ընտրողաբար անդրադարձման տիրույթի՝ ՖԱԳ-ի եզրերից: Այս երևույթը բացատրվում է այն հանգամանքով, որ ԽՀԲ-ի ՖԱԳ-ի տիրույթում ֆոտոնների խտությունը գրեթե զրո է, այնինչ դրա եզրերում ֆոտոնների խտությունը շատ մեծ է [51]:

Լազերային ներկանյութի դիպոլային մոմենտի և ՀԲ-ի տեղային ուղղորդի փոխադարձ դասավորվածությունից կախված, լազերային ճառագայթում կարող է ստացվել ֆոտոնային արգելված գոտու ինչպես կարճալիքային և երկարալիքային եզրերից առանձին, այնպես էլ երկու եզրերից միաժամանակ [52, 53]:

Ինչպես արդեն նշվել է, ՀԲ-ները շատ զգայուն են այնպիսի արտաքին ազդեցությունների նկատմամբ, ինչպիսիք են էլեկտրական դաշտը, ջերմաստիճանի փոփոխությունը, մեխանիկական ազդեցությունները և այլն: Նույնիսկ ոչ մեծ արտաքին ներգործությունները կարող են ազդել ԽՀԲ-ի մոլեկուլների կողմնորոշման վրա (հետևաբար, նաև պարույրի քայլի վրա), ինչը բերում է ԽՀԲ-ի օպտիկական հատկությունների փոփոխության կամ, նույնիսկ նոր օպտիկական հատկությունների դրսևորման: Պարզվում է, որ արտաքին ազդեցությունների նկատմամբ ՀԲ-ների զգայունության շնորհիվ, ՀԲ-ական ներկանյութային լազերներում կարելի է հեշտորեն կառավարել լազերային ճառագայթման գեներացիայի ալիքի երկարությունը, ինչի կիրառական նշանակությունը հանրահայտ է և շատ կարևոր: Էլեկտրական դաշտի, ջերմաստիճանի և լուսային դաշտի ազդեցությունները ՀԲ-ական լազերների ճառագայթման հատկությունների վրա ուսումնասիրվել են համապատասխանաբար [54-57] աշխատանքներում:

[58] աշխատանքում ուսումնասիրվել է ՀԲ-ային ներկանյութային լազերի առանձնահատկությունները ջերմադինամիկական փուլային անցումների ջերմաստիճանի մոտակայքում: Փորձնականորեն ցույց է տրվել, որ օպտիկական մղման շեմային արժեքը կտրուկ ընկնում է (դրսևորում է կրիտիկական վարք) ՀԲ-ի փուլային անցման ջերմաստիճաններին մոտենալիս: Միաժամանակ այդ ջերմաստիճանների մոտակայքում դիտվում է գեներացիայի ալիքի երկարության կարճալիքային շեղում:

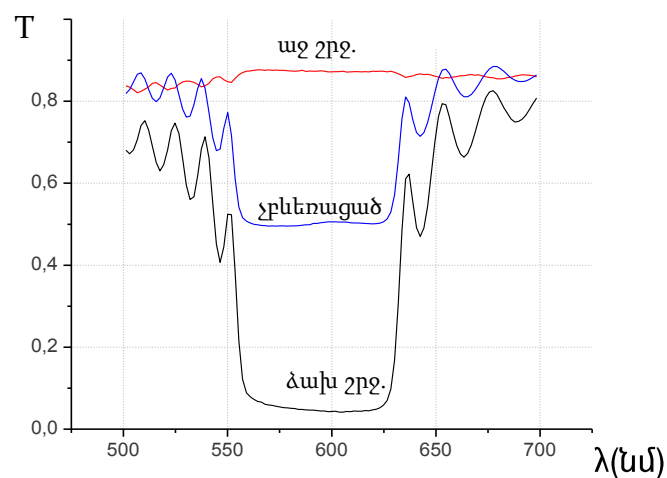
1.5. Խոլեստերիկ հեղուկ բյուրեղային ֆոտոնային կառուցվածքների օպտիկական հատկությունները

Ինչպես արդեն ասվել է, ՖԲ-ները հիմնականում արհեստական կրկնվող դիէլեկտրական թափանցելիությամբ պարբերական կառուցվածքներ են, որոնք օժտված են ֆոտո-

նային արգելված գոտիով՝ ՖԱԳ-ով, որը արգելում է լույսի տարածմանը հաճախությունների որոշակի տիրույթում: Ըստ էության, դրանք այնպիսի կառուցվածքներ կամ միջավայրեր են, որոնցում դիէլեկտրական թափանցելիությունը տարածության մեջ փոխվում է այնպիսի պարբերականությամբ, որը թույլ է տալիս լույսի բրեգման դիֆրակցիա: Այսինքն դրանց պարբերությունը լույսի ալիքի երկարության կարգի է:

ԽՀԲ-ներում, ուղղորդի պարուրածն կառուցվածքի շնորհիվ, բեկման ցուցիչը պարույրի երկայնքով պարբերաբար փոխվում է $n_o \div n_e$ միջակայքում, ինչի շնորհիվ դրանք օժտված են լույսի ընտրողաբար անդրադարձմամբ, այսինքն ՖԱԳ-ով: Դա է պատճառը, որ ԽՀԲ-ները համարվում են ինքնակազմավորվող միաչափ՝ 1D ՖԲ-ներ: Ի տարբերություն ոչ խիրալ ՖԲ-ների, խիրալ ՖԲ-ների (ԽՖԲ) համար, ինչպիսիք են ԽՀԲ-ներն ու խիրալ ՆՀԲ-ները, ՖԱԳ-ը գոյություն ունի միայն որոշակի նշանով շրջանային բևեռացված լույսի համար: Նշենք մի կարևոր հանգամանք ևս: ԽՀԲ-թաղանթի վրա ընկած շրջանային բևեռացված լույսի էլեկտրական դաշտի վեկտորը չի փոխում իր պտտման ուղղությունը ԽՀԲ թաղանթից անդրադառնալիս [7]: Ընտրողաբար անդրադարձման հատկությունը բնորոշվում է նրանով, որ որոշակի անկյան տակ ընկնող լույսի համար ԽՀԲ-ի շերտը իրեն դրսևորում է որպես դիֆրակտային ցանց անդրադարձնելով $n_o p < \lambda < n_e p$ ալիքի երկարությունների միջև ընկած լույսի շրջանային բևեռացումներից մեկը, այստեղ n_o -ն և n_e -ն համապատասխանաբար սովորական և անսովոր բեկման ցուցիչներն են, իսկ $2p$ -ն պարույրի քայլն է [59]: Որպես կանոն ԽՀԲ-ի շերտը ունենում է հենց այն գույնի երանգավորում, որը համապատասխանում է լույսի ընտրողաբար անդրադարձման տիրույթին: Վերը նշված բանաձևից երևում է, որ անդրադարձվող լույսի ալիքի երկարությունը որոշվում է ԽՀԲ-ի պարույրի քայլով, որն էլ իր հերթին կախված է խոլեստերիկի հատկություններից [60]: ԽՀԲ-ի ընտրողաբար անդրադարձման սպեկտրային տիրույթը կախված է նաև նրանից, թե լույսը թաղանթի նորմալի նկատմամբ (ԽՀԲ պարույրի առանցքի նկատմամբ) ինչ անկյան տակ է ընկնում: ԽՀԲ-ի ՖԱԳ-ում գտնվող քվանտի էներգիայով լույսի շրջանային բևեռացումներից մեկն ազատորեն տարածվում է ԽՀԲ-ում (այն, որի բևեռացման վեկտորի պտույտի ուղղությունը համընկնում է ԽՀԲ-ի ուղղորդի

պատման ուղղությամբ), մինչդեռ հակառակ շրջանային բևեռացվածը անդրադառնում է ԽՀԲ-ից [59]: ՖԱԳ-ի սպեկտրային տիրույթի կարճալիքային և երկարալիքային սահմանները որոշվում են $m\lambda_{min} = pn_o \cos \theta$ և $m\lambda_{max} = pn_e \cos \theta$ բանաձևերով, որտեղ m - ը ամբողջ թիվ է, իսկ θ -ն լույսի ալիքային վեկտորի և ԽՀԲ-ի պարույրի առանցքի կազմած անկյունն է: ԽՀԲ-ներում բացակայում են բարձր կարգի բրեգյան անդրադարձումները (պարուրաձև կառուցվածքի պատճառով, այնպես որ բերված բանաձևում $m = 1$), ինչը հիմնավորված է տեսականորեն և հաստատված է փորձերով [61]: Պլանար սահմանային պայմաններով բջջի վրա նորմալ անկման դեպքում, երբ $\cos \theta = 1$, ՖԱԳ-ի $\Delta\lambda$ սպեկտրային լայնությունը և կենտրոնական ալիքի λ_0 երկարությունը համապատասխանաբար որոշվում են $\Delta\lambda = p\Delta n$ և $\lambda_0 = p\bar{n}$ բանաձևերով, որտեղ $\bar{n} = (n_o + n_e)/2$ -ը ԽՀԲ-ի միջին բեկման ցուցիչն է, իսկ $\Delta n = n_e - n_o$ - ն ԽՀԲ-ի օպտիկական անիզոտրոպությունն է: 1.6 նկարում բերված է ԽՀԲ-ի թաղանթով տարբեր բևեռացումներով և չբևեռացված լույսի անցման բնութագրական սպեկտրները [59, 62]: Ինչպես երևում է նկարից, ՖԱԳ-ի տիրույթում, որն ընկած է $\sim 560 - 640$ նմ տիրույթում, ձախ շրջանային բևեռացված լույսի անցման գործակիցը շատ մոտ է զրոյին, այսինքն այն գրեթե ամբողջովին անդրադառնում է, աջ բևեռացվածն առանց լուրջ կորուստների



Նկ.1.6. Պարույրի պատման աջ ուղղությամբ ԽՀԲ բջջի անցման սպեկտրները աջ և ձախ շրջանային բևեռացված և չբևեռացված լուսային փնջերի համար: λ – ն ալիքի երկարությունն է իսկ T – ն՝ անցման գործակիցը

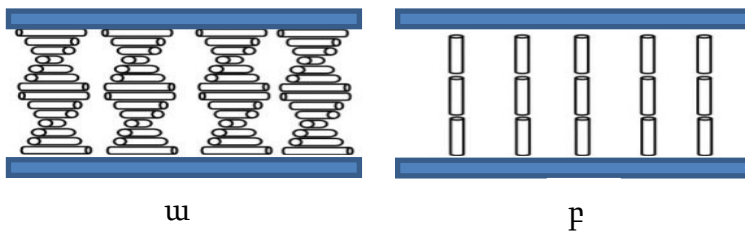
անցնում է թաղանթը, իսկ չբևեռացվածը տրոհվում է գրեթե երկու հավասար մասերի. ձախ բևեռացվածն անդրադառնում է, աջը՝ անցնում:

Նշենք նաև, որ ԽՀԲ-ները օպտիկապես ակտիվ միջավայրեր են: ԽՀԲ-ական թաղանթով անցնելիս, գծային բևեռացված լույսի բևեռացման հարթությունը պտտվում է որոշակի անկյան տակ: Բևեռացման հարթության պտույտի անկյունը կախված է ԽՀԲ-ի հատկություններից, ԽՀԲ քայլից և թաղանթի հաստությունից, [6, 7, 18, 41]: Երբ ԽՀԲ-ի քայլը շատ մեծ է նրանով անցնող լույսի ալիքի երկարությունից՝ $p \gg \lambda$, ապա գծային բևեռացված լույսի բևեռացումը հետևում է ԽՀԲ-ի ուղղորդի պտույտին: Հակառակ դեպքում, երբ $p \ll \lambda$ այդ անկյունը որոշվում է հանրահայտ $\varphi = \rho d$ բանաձևով, որտեղ ρ -ն անվանում են բևեռացման ուղղության տեսակարար պտույտ: Համեմատության համար նշենք, որ օրինակ եթե քվարցի բյուրեղի համար այն միջինում $15,5^\circ/\text{մմ}$ է, ապա ԽՀԲ-ում այն $6000 \div 7000^\circ/\text{մմ}$ է, որը չափազանց մեծ արժեք է [62]: Ընդհանուր դեպքում ԽՀԲ-ի թաղանթով անցած լույսի բևեռացման վիճակը տարբերվում է ընկնողի բևեռացման վիճակից և հանդիսանում է էլիպսական [63]: Այդ պարագայում փոփոխվում են բևեռացման էլիպսը բնութագրող պարամետրերը՝ էլիպսականությունն ու ազիմուտը [64]:

ՀԲՖԿ-ների ձևավորման և դրանց օպտիկական հատկություններն ու հատկապես ՖԱԳ-ի պարամետրերի ղեկավարման համար, վերջին տարիներին իրականացվել են բազմաթիվ աշխատանքներ, որոնք նվիրված են ԽՀԲ-ական թաղանթով անցնող լույսի բևեռացման վարքին: Մասնավորապես [65-67] աշխատանքներում փորձնականորեն ուսումնասիրվել է ԽՀԲ-ային բջջի ըստ թաղանթի հաստության տարբեր դիրքերում արտաքին էլեկտրական դաշտով մակածված արատի բնութագրերի ղեկավարման հնարավորությունը և առաջին անգամ տրվել է դրա տեսական հիմնավորումը, ցույց է տրվել, թե ԽՀԲ-ական բջջում պլանար արատի տեղակայման ո՞ր դիրքում է բևեռացման հարթության պտույտն առավելագույնը, ցույց է տրվել, որ էլեկտրամակածված պլանար արատով ՀԲՖԿ-ն անշրջելի է լույսի բևեռացման նկատմամբ: Փորձնականորեն և տեսականորեն հետազոտվել է անհամասեռ քայլով խիրալ հեղուկբյուրեղական արատով ՀԲՖԿ-ների ազդեցությունը նրանով անցնող լույսի բևեռացման վիճակի վրա, ցույց է

տրվել, որ նման համակարգերում հնարավոր է դիտել օպտիկական անշրջելիության երևույթը, գրադիենտային քայլով ՀԲՖԿ-ում ցույց է տրվել օպտիկական դիողի էֆեկտի գոյությունը շրջանային բևեռացած լույսի համար: Աշխատանքների թվարկված ցիկլն ամփոփված է [68] ատենախոսական աշխատանքում:

ԽՀԲ-ների օպտիկական հատկությունները հիմնականում պայմանավորված են ԽՀԲ-ի պարույրի քայլով: Ինչպես նշվել է, ԽՀԲ-ական փուլ կարող ենք ստանալ ՆՀԲ-ին մաքուր խոլեստերիկի, կամ խիրալ մոլեկուլների հավելումով (խառնուկով): Հենց այդ խիրալ մոլեկուլների առկայությունն է ստիպում նեմատիկի ուղղորդին պտտվել, այդ իսկ պատճառով, կախված խառնուկի կոնցենտրացիայից, դրա հատկություններից և նրանից թե ինչպես են փոխազդում խառնուկի մոլեկուլները ՀԲ-ի մոլեկուլների հետ, ԽՀԲ-ի պարույրի քայլը կարող է տարբեր լինել: Խառնուկի պարույրի պտտման ուժը արտա-



Նկ. 1.7. ԽՀԲ քիչները ա) պլանար և բ) հոմոտրոպ կողմնորոշմամբ

հայտվում է մկմ⁻¹ միավորով և կարող է մի քանիսից մինչև մի քանի հարյուր արժեքներ ընդունել:

Խիրալ ՆՀԲ-ները, ինչպես ԽՀԲ-ներն են, շատ զգայուն են արտաքին ազդեցությունների (ջերմաս-

տիճանի փոփոխության, էլեկտրամագնիսական դաշտի, ճնշման և այլն) նկատմամբ, այդ իսկ պատճառով թեթև արտաքին ազդեցություն կիրառելով, կամ արտաքին ազդեցության ուժգնությունը փոփոխելով, կարելի է դեկավարել ԽՀԲ-ի պարույրի քայլը, որն էլ իր հերթին փոխում է ԽՀԲ-ի օպտիկական հատկությունները:

Սովորաբար ԽՀԲ-ները, ինչպես նաև մյուս ՀԲ-ներն ուսումնասիրելու համար, ՀԲ-ի բարակ շերտ են ձևավորում երկու ապակիների միջև, ստեղծելով ՀԲ-ի ուսումնասիրման համար նախատեսված <<քիչ>> (նկ.1.7): Ապակիներին տրված սահմանային պայմաններից ելնելով տարբերում են ՀԲ-ների կողմնորոշման մի քանի տեսակ: Եթե ապակիները մշակված են այնպես, որ ԽՀԲ-ի պարույրի առանցքն ուղղահայաց է քջի ապակիների հարթությանը, ապա ԽՀԲ-ի մոլեկուլները կունենան պլանար կողմնորոշում: Այն դեպքում,

երբ ապակիների վրա տրված է այնպիսի սահմանային պայմաններ, որի դեպքում ԽՀԲ-ի պարույրի առանցքը զուգահեռ է ապակիների հարթությանը, ԽՀԲ-ի մոլեկուլները կունենան հոմեոտրոպ կողմնորոշում: Հիբրիդ կողմնորոշման դեպքում, ապակիները մշակվում են այնպես, որ առաջին ապակու հարթության մոտ մոլեկուլներն ունենան պլանար կողմնորոշում իսկ մյուս ապակու մակերևույթի մոտ ԽՀԲ-ի մոլեկուլները ունենան հոմեոտրոպ կողմնորոշում:

1.6. Լազերային ճառագայթման գեներացիան ներկանյութով հարստացրած հեղուկ բյուրեղային ֆոտոնային կառուցվածքներում

Ներկանյութով հարստացրած ԽՀԲ-ային կառուցվածքներից հնարավոր է ստանալ լազերային ճառագայթում ԽՀԲ-ի ընտրողաբար անդրադարձման տիրույթի եզրերից [51, 69]: Ինչպես արդեն նշվել է, ՖԱԳ-ում ֆոտոնների խտությունը ձգտում է զրոյի, իսկ ՖԱԳ-ի եզրերում ֆոտոնների խտությունը մեծ է, այդ պատճառով լազերային ճառագայթումը ստացվում է արգելված գոտու եզրերից: Ներկանյութով հարստացրած ԽՀԲ-ի ՖԱԳ-ը կարող է գտնվել ներկանյութի ֆլուորեսցենցիայի տիրույթում, կամ պարունակել ֆլուորեսցենցիայի տիրույթն իր մեջ: Քանի որ ԽՀԲ-ի ՖԱԳ-ը կարելի է հեշտությամբ կառավարել թույլ դաշտերով և չնչին արտաքին ներգործություններով, ուստի ներկանյութով հարստացրած ԽՀԲ-ական կառուցվածքներից լազերային ճառագայթման ստացման և ղեկավարման հնարավորությունների հետազոտումը մեծ հետաքրքրություն է ներկայացնում:

Վերջին տասնամյակում շատ փորձարարական և տեսական աշխատանքներ են իրականացվել ներկանյութով հարստացրած ԽՀԲ-ից լազերային ճառագայթման ստացման և ղեկավարման ուղղությամբ:

[70] աշխատանքում տեսականորեն ուսումնասիրվել է ներկանյութով հարստացրած ԽՀԲ-ում լազերային ճառագայթման գեներացիայի վրա թաղանթի հաստության և ԽՀԲ-ում ներկանյութի մոլեկուլների կոնցենտրացիայի ազդեցությունը: Այդ աշխատանքում ցույց է տրված, որ ներկանյութով հարստացրած ԽՀԲ-ական թաղանթում լազերային ճառագայթման գեներացիայի կախվածությունը թաղանթի հաստությունից տարբեր է մղման

փնջի տարբեր ալիքի երկարությունների դեպքում: Նկատվել է լազերային ճառագայթման անոմալ աճ արգելված գոտու կարճալիքային եզրում, երբ խառնուրդում ներկանյութի մոլեկուլների կոնցենտրացիան և թաղանթի հաստությունը համեմատաբար փոքր է: Այս արդյունքները ստացվել են երբ անցման դիպոլ մոմենտներն ուղղված են եղել ուղղորդի տեղային ուղղությամբ:

[71] աշխատանքում փորձնականորեն ստացել են գույնի (ալիքի երկարության) կոնական բաշխմամբ լազերային ճառագայթում ներկանյութով հարստացրած ԽՀԲ-ական, պարույրի որոշակի քայլով, միաբյուրեղ (միադոմեն) կառուցվածքից, իսկ [72]-ում փորձնականորեն ստացել են տարբեր ալիքի երկարություններով գույնի կոնական բաշխմամբ լազերային ճառագայթում պարույրի տարբեր քայլերով 6 նմուշների համար: Նմուշները տարբերվել են խառնուրդի բաղադրիչների տարբեր հարաբերակցությամբ, այդ պատճառով ունեցել են պարույրի տարբեր քայլեր: Նմուշներից յուրաքանչյուրից ստացվել է կոնական բաշխմամբ լազերային ճառագայթում, ինչպես մղման փնջի ԽՀԲ-ի պարույրի առանցքի ուղղությամբ անկման դեպքում, այնպես էլ պարույրի առանցքի նկատմամբ որոշակի անկյունների տակ անկման դեպքում: Աշխատանքում ցույց է տրվել, որ ներկանյութով հարստացրած ԽՀԲ-ում կարելի է կառավարել լազերային ճառագայթման ալիքի երկարությունը, փոփոխելով պարույրի քայլը:

[73] աշխատանքում ցույց է տրված, որ տեսանելի տիրույթում հնարավոր է ղեկավարել լազերային ճառագայթման գեներացիայի ալիքի երկարությունը ԽՀԲ-ի սեպաձև պոլիմերային կառուցվածքներում կապիլյար եղանակով ներմուծված ՆՀԲ-ի միջոցով:

Դիտարկվող կառուցվածքներում կարելի է նաև ղեկավարել գեներացիայի բևեռացումը: Մասնավորապես [74] աշխատանքում, որտեղ նմուշը բաղկացած է եղել ներկանյութով հարստացրած ԽՀԲ-ային թաղանթից և ՆՀԲ-ային թաղանթից, ստացվել և ուսումնասիրվել է լազերային գիներացիայի ճառագայթման բևեռացումը ղեկավարելու հնարավորությունը, ՆՀԲ թաղանթի նկատմամբ կիրառելով էլեկտրական դաշտ:

Ներկանյութով հարստացրած, պարույրի քայլի գրադիենտով ՀԲՖԿ-ում լազերային ճառագայթման գեներացիայի ալիքի երկարության ղեկավարման հետաքրքիր հետա-

գոտություն է ներկայացված [72] աշխատանքում, որտեղ հեղինակները կարողացել են ղեկավարել տեսանելի տիրույթում լազերային ճառագայթման ալիքի երկարությունը 1 նմ ճշտությամբ: Աշխատանքում պարույրի քայլի գրադիենտն ապահովվել է բջջի սեպա-ծնությամբ:

Վերջին տարիներին մի շարք աշխատանքներ են իրականացվել մաքուր և ներկանյութով հարստացրած խիրալ ՀԲՖԿ-ների սպեկտրային առանձնահատկությունների, դրանցում արատներով պայմանավորված նոր ֆոտոնային արգելված գոտիների, հիդրոդինամիկական հոսքերով մակածված արատների հայտնաբերման և փորձարարական ուսումնասիրման ուղղությամբ [75-79]: Մասնավորապես ցույց է տրվել, որ լազերային ներկանյութով հարստացրած պոլիմերային արատով խիրալ ՀԲՖԿ-ի ՖԱԳ-ը կարելի է ղեկավարել փոխելով վերջինիս ջերմաստիճանը: Փորձնականորեն հաստատվել է, որ վերը նշված ՀԲՖԿ-ի ֆլուորեսցենցիան կարելի է ղեկավարել, նմուշի ջերմաստճանի միջոցով փոխելով վերջինիս ՖԱԳ-ի դիրքն ու լայնությունը: Ցույց է տրվել նաև, որ լազերային մղմամբ լյումինեսցենցիայի ինտենսիվությունը ՖԱԳ-ի որոշակի դիրքում ունի առավելագույն արժեք: Հայտնաբերվել և ուսումնասիրվել է ասիմետրիկ սահմանային պայմաններով (պլանար-ազատ) քիրալ ՀԲ թաղանթի ՖԱԳ-ի միաժամանակ դիտվող երկու տիրույթների գոյությունը, և փորձնականորեն ցույց է տրվել, որ դրանց առաջացման հիմնական պատճառն ազատ տակդիրի մոտ ծագող կողմնորոշումային արատներն են: Այս աշխատանքներում ստացված հիմնական արդյունքներն ամփոփված են [80] ատենախոսական աշխատանքում:

1.7. Առաջին գլխի ամփոփումը

Ամփոփելով գրականության վերլուծությունը, հակիրճ ներկայացնենք ատենախոսության թեմայի վերաբերյալ այն խնդիրներն ու անելիքները որոնք, մեր կարծիքով, մոտ ապագայում լուծելու անհրաժեշտություն ունեն:

Ինչպես տեսանք, ՖԲ-ներն ընդհանրապես և ՀԲՖԿ-ները մասնավորապես, լայն հնարավորություններ են ընձեռում օպտիկական հավաք և մանրանրբին տարատեսակ

տարրերի ստեղծման համար՝ կառավարվող նեղձերտ լուսազտիչներ, լույսի բևեռիչներ, մաքուր օպտիկական տրամաբանական սարքեր, օպտիկական դիոդ և տրանզիստոր, միկրոռեզոնատորներ և ղեկավարվող պարամետրերով միկրոլազերներ և այլն: Ինչպես ցույց են տալիս հետազոտությունները, ՖԲ-ների արատային տարբերակները շատ ավելի հետաքրքրական են, ինչպես արատային կիսահաղորդիչներն են, քանի որ դրանց ՖԱԳ-ում ծագող արատային մոդաները հաճախ թույլ են տալիս կենտրոնացնել էլեկտրամագնիսական դաշտը, որն օգտագործվում է լազերային միկրոռեզոնատորներում և նրանց հիման վրա կառուցված օպտիկական տարրերում [59, 62, 68, 80-84]:

Այստեղ, կարևոր խոչընդոտներից մեկը կապված է ղեկավարվող անիզոտրոպ բարակ (միկրոմետրերի կարգի) թաղանթների ստեղծման հետ, որը թույլ կտա լուսային ալիքի փուլը սահուն փոխել: ՀԲՖԿ-ների տեսակետից, այստեղ կարևոր է նաև դրանց ՀԲ-ների հետ համատեղելիությունն ու ճառագայթակայունությունը:

Այուս կողմից, վերոնշյալ նպատակին կարելի է հասնել օգտագործելով ՀԲ-ներում ծագող արատները: Դժվար չէ նկատել, որ այստեղ կարևորվում է արատների մակաձված տարբերակների դերը, քանի որ դրանք կարելի է մակաձել անհրաժեշտ և ղեկավարելի պարամետրերով:

Հաշվի առնելով ՀԲ-ների օպտիկական մեծ ոչգծայնությունը, կարելի է սպասել, որ ՀԲՖԿ-ներում տարատեսակ արատներ կարելի է մակաձել լազերային փնջերով:

Մեկ այլ հնարավորություն, կապված է ՀԲ-ների ջերմային և հիդրոդինամիկական հոսքերի նկատմամբ շատ մեծ զգայունության հետ: Հնարավոր է, որ այդ հոսքերը թույլ տան մակաձել կանխատեսելի արատներ, ինչպես նաև ղեկավարել ՀԲ-ներում ինքնաբերաբար ծագող արատների պարամետրերը:

Սույն ատենախոսության սահմաններում, մենք կանդրադառնանք վերը նշված արատներից որոշներին: Սակայն պետք է նշել, որ այս ուղղությամբ կա բազմակողմանի հետազոտությունների խնդիր՝ հատկապես փորձարարական:

Մեկ այլ խնդիր, որ թվում է չափազանց հեռանկարային, կապված է ԽՀԲ-ների կապույտ փուլի հետ: Չնայած այն փաստին, որ փորձնականորեն ԽՀԲ-ի կապույտ փուլը

հայտնաբերվել է ավելի քան 100 տարի առաջ Լեմանի փորձերում, երկար ժամանակ չէր հաջողվում ցույց տալ որ դա ԽՀԲ-ի ջերմադինամիկական կայուն փուլ է [85]: Այդ փուլում գտնվող ԽՀԲ-ների ուսումնասիրությունները ցույց են տալիս, որ դրանցում ձևավորվում է եռաչափ (3D) ՖԲ: ԽՀԲ կապույտ փուլը գտնվում է ԽՀԲ - իզոտրոպ փուլ անցման միջև, և զբաղեցնում է շատ նեղ ջերմաստիճանային միջակայք, որի պատճառով դրա ուսումնասիրությունը կապված է եղել լուրջ բարդությունների հետ: Այժմ հայտնում են բավականին լայն ջերմաստիճանային միջակայքում դիտվող ԽՀԲ-ային կապույտ փուլի մասին [86, 87]: Հավանաբար դա թույլ կտա ԽՀԲ-ային կապույտ փուլն օգտագործել տարատեսակ ՀԲՖԿ-ներ ստեղծելու համար:

ԳԼՈՒԽ 2. ՆԵՐԿԱՆՅՈՒԹՈՎ ՀԱՐՍՏԱՑՐԱԾ ԽԻՐԱԼ ՆԵՄԱՏԻԿ ՀԵՂՈՒԿ ԲՅՈՒՐԵՂ- ՆԵՐՈՒՄ ՀԻԴՐՈԴԻՆԱՄԻԿԱԿԱՆ ՀՈՍՔԵՐՈՎ ԵՎ ԼՈՒՅՍՈՎ ՄԱԿԱԾՎԱԾ ԱՐԱՏՆԵՐԻ ՓՈՐՁԱՐԱՐԱԿԱՆ ՀԵՏԱԶՈՏՈՒՄԸ

2.1. Ներածություն

Ինչպես արդեն նշվել է, այսօր կան բազմաթիվ աշխատանքներ, որտեղ ցուցադրված է իդեալական ՖԲ-ների բազմաթիվ կիրառություններ: Դրա հետ միասին ցույց է տրվել, որ դրանց արատային տարբերակները, ինչպես արատային կիսահաղորդիչների դեպքում է, առավել հետաքրքրական են և հեռանկարային: Դրա պատճառն այն է, որ ՖԲ-ի կառուցվածքում արատի առկայությունը հանգեցնում է ՖԱԳ-ի ներսում արատային մոդաների առաջացմանը, ինչը թույլ է տալիս ՖԱԳ-ի օպտիկական բնութագրերը կառավարել: Մասնավորապես կարելի է կառավարել ՖԱԳ-ի սպեկտրալ դիրքը, լայնությունը, կառուցվածքը և այլն:

Ահա այս տեսակետից, շարունակում է հետազոտողների ուշադրության կենտրոնում մնալ արատային ՖԲ-ների օպտիկական հատկությունների ուսումնասիրումը, քանի որ դրանք կարող են ունենալ տեխնիկական մեծ կիրառություն նոր սերնդի օպտիկական տրամաբանական սարքերում, ղեկավարվող, հավաք ճառագայթման կոհերենտ աղբյուրներում, լազերային միկրոռեզոնատորներում, լազերային ճառագայթման բևեռացման, ալիքի երկարության և գեներացիայի գծի լայնության ղեկավարման բարակ թաղանթային տարրերում և այլն: Յուրօրինակ օպտիկական հատկությունների շնորհիվ, ինչպես արդեն ասվել է, առավել մեծ հետաքրքրություն են ներկայացնում ՀԲՖԿ-ները՝ ԽՀԲ-ները, խիրալ ՀԲ-ները և այլն:

ՀԲՖԿ-ներում տարատեսակ արատներ հնարավոր է ստեղծել բազմազան ճանապարհներով: Կարելի է ԽՀԲ-ի երկու շերտերի միջև տեղադրել իզոտրոպ բարակ թաղանթ [88, 89], երկու խիրալ ՖԲ-ների հպման սահմանին, դրա երկու կողմերում ուղղորդի փուլային թռիչքով [90], ԽՀԲ-ի քայլի գրադիենտով [91], կամ դրա տեղային փոփոխու-

թյամբ [92], խիրալ ՀԲ պարույրի քայլին ուղղահայաց կիրառված արտաքին էլեկտրական դաշտով [62, 65, 93] և այլն:

Հաշվի առնելով, որ ՀԲ-ներն օժտված են արտաքին ազդեցությունների նկատմամբ մեծ զգայունությամբ (ստատիկ էլեկտրական և մագնիսական դաշտեր, լուսային դաշտեր, մեխանիկական տատանումներն, ջերմային և հիդրոդինամիկական հոսքեր և այլն), ԽՀԲ-ական թաղանթում արտաքին ազդեցություններով կարող են մակածվել տարբեր տիպի արատներ, որոնց օպտիկական հատկությունները կարելի է հեշտությամբ ղեկավարել այդ նույն արտաքին ազդեցություններով, ի տարբերություն ԽՀԲ-ում ինքնաբերաբար ծագող «ստացիոնար» արատների: Մասնավորապես, երբ հիդրոդինամիկական հոսքի հետևանքով ԽՀԲ-ի կառուցվածքի աղավաղումը տեղի է ունենում պլանար կողմնորոշմամբ ԽՀԲ-ի պարույրի առանցքին ուղղահայաց, ԽՀԲ թաղանթի ներսում կարող է ստեղծվել բջջի տակդիրներին զուգահեռ հարթության մեջ հարթ արատ: Կարևոր է, որ մակածված այդպիսի արատի օպտիկական պարամետրերը կարելի է ղեկավարել ինչպես այդ նույն հիդրոդինամիկական հոսքերով, այնպես էլ արտաքին այլ ներգործություններով:

[94, 95] աշխատանքում ցույց է տրվել, որ նմանատիպ հարթ արատը, անկախ նրա ծագման մեխանիզմի, ունի հետաքրքիր առանձնահատկություններ: Սակայն, անհրաժեշտ է նշել, որ ԽՀԲ-ում հարթ արատի մակածումը կապված է որոշակի դժվարությունների հետ:

Դժվար չէ նկատել, որ այստեղ կարևորվում է մակածված արատներով տարբերակների դերը, քանի որ դրանք կարելի է մակածել մի կողմից անհրաժեշտ և ղեկավարելի պարամետրերով, մյուս կողմից բջջի պահանջվող կետում և ժամանակի անհրաժեշտ պահին, ի տարբերություն ինքնաբերաբար առաջացող «ստատիկ» արատների:

Ատենախոսության այս գլխում, առաջին անգամ փորձնականորեն ուսումնասիրվել է ներկանյութով հարստացրած ՀԲՖԿ-ում հիդրոդինամիկական հոսքերով հարթ անիզոտրոպ արատի մակածման և դրա օպտիկական բնութագրերի ղեկավարման հնարավորությունը:

Առաջին անգամ, ներկանյութով հարստացրած խիրալ ՆՀԲ-ում, լազերով մակածվել է տեղային արատ և փորձնականորեն ուսումնասիրվել է այդ արատի և դրան զուգահեռ ծագող «Գրանժան-Կանոյի» տիպի դիսկլինային գծերի առաջացման, զարգացման և անհետացման դինամիկան:

2.2. Խիրալ նեմատիկներում ծագող որոշ արատների և դիսկլինային գծերի մասին

Կարգավորվածության արատների ֆիզիկան ավանդաբար հանդիսանում է կոնդենսացված միջավայրերի ֆիզիկայի առավել արդիական բնագավառներից մեկը: Դա բացատրվում է նրանով, որ դրանք մեծ ազդեցություն ունեն տարբեր պրոցեսների ընթացքի վրա (փուլային փոխակերպումներ, պլաստիկ դեֆորմացիաներ, էլեկտրոնային պրոցեսներ և այլն): Այս տեսակետից, բացառություն չեն կազմում արատները ՀԲ-ներում, որոնք ազդում են մի շարք օպտիկական, դաշտային, հիդրոդինամիկական և այլ երևույթների ի հայտ գալուն և դրսևորմանը:

ՀԲ-ում ուղղորդի անհամասեռ բաշխումների բազմազանությունը շատ մեծ է: Այստեղ կարելի է դիտել սինգուլյար և ոչսինգուլյար առանձնահատկություններ, գծային (դիսլոկացիաներ, դիսկլինացիաներ) և կետային արատներ (ծավալում կարելի է դիտել ոգնիատիպ արատներ), մոնոպոլներ և սոլիտոններ, դոմենային պատեր և այլն: Դրանց բնույթն ուղղակիորեն կապված է ՀԲ-ի մոլեկուլների կարգավորվածության ձգտման մեխանիզմների հետ:

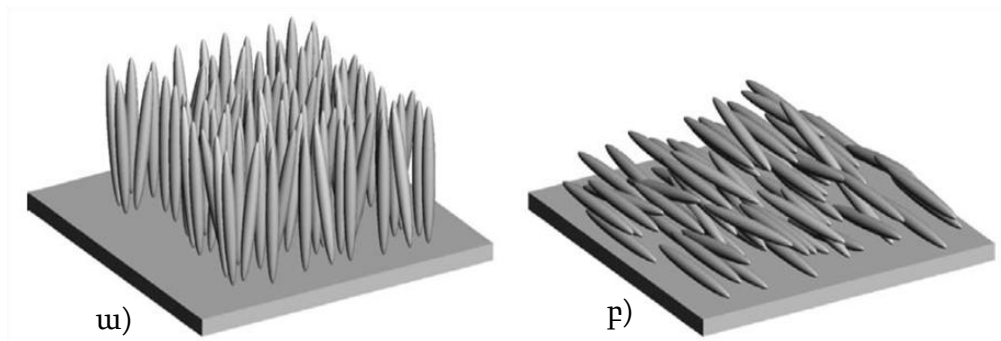
Ինչպես հայտնի է [96], առաջին անգամ տոպոլոգիայի լեզվով հնարավոր դարձավ միարժեքորեն կապել միջավայրի կարգավորվածության բնույթը և դրանում ծագող արատների տիպերը, լուծել արատների կառուցվածքին վերաբերվող խնդիրներ, գնահատել դրանց կայունությունը համասեռ վիճակին ռելաքսավելու (relaxation) նկատմամբ, բացատրել փուլային անցումների և արտաքին դաշտերի ազդեցության ժամանակ դրանց վարքը և այլն: Այս մոտեցման մեջ կենտրոնական դեր է խաղում տոպոլոգիական լիցքի հասկացությունը, որը բնորոշ է յուրաքանչյուր արատի: Վերջինիս կայունությունը հավաս-

տիացվում է տոպոլոգիական լիցքի պահպանմամբ [97]: Այդ լիցքերի պահպանման օրենքները, ինչպես էլեկտրական լիցքինն է, կարգավորում է արատների բաժանումն ու միավորումը, դրանց ծնվելը, ոչնչանալն ու փոխազդեցությունը:

Այսօր տոպոլոգիական մեթոդները ինտենսիվ կիրառվում են դաշտի տեսությունում, կենսաֆիզիկայում, աստղաֆիզիկայում, գերհոսելության վերաբերյալ ուսումնասիրություններում, ՀԲ-ների ֆիզիկայում և այլն: Սակայն բոլոր բնագավառներից թերևս միայն ՀԲ-ների համար է, որ այսօր հնարավոր է իրականացնել կարգավորվածության արատների մանրակրկիտ փորձարարական հետազոտություններ: ՀԲ-ներում արատների նկարագրման տոպոլոգիական մոտեցման վրա հիմնված տեսությունը կարելի է համարել արդեն կայացած գիտություն: Ինչ վերաբերվում է ՀԲ-ներում արատների փորձարարական հետազոտություններին, ապա չնայած դրանց օրեցօր աճող քանակին, դրանք առայժմ չեն ընդգրկում բոլոր հետաքրքիր և սկզբունքային հարցերը, մասնավորաբար այնպիսին ինչպիսիք են՝ ՀԲ-ում սոլիտոնների գոյության ու հատկությունների, դիսկլինացիաների կառուցման, կապույտ փուլի արատային կառուցվածքի, տարբեր սիմետրիայի արատների փոխակերպումը մեկը մյուսի վերաբերյալ և այլն: Առավել ևս, գրեթե փորձնականորեն ուսումնասիրված չէ ՀԲ-ներում ինքնաբերաբար առաջացող արատների ղեկավարման, դրանց մակաձման, ստիպողաբար փոխակերպման և կառավարման հնարավորությունները և այլն:

Ինչպես արդեն ասվել է, այս գլխում մենք կքննարկենք որոշ արատների հետ կապված դրանց մակաձման և ղեկավարման հնարավորությունները, սակայն նյութը պատկերավոր և դյուրըմբռնելի դարձնելու համար, փորձենք որակապես դիտարկել ՀԲ-ներում դիտվող հիմնական արատների և դիսկլինային գծերի դասակարգումը, առանց խորանալու դրանց ֆիզիկայի մեջ: Բնական է հիմնականում կանդրադառնանք ՆՀԲ-ում և ԽՀԲ-ում այն արատներին, որոնք կարևոր են սույն ատենախոսության տեսանկյունից:

ՀԲ-ի մոլեկուլները սովորաբար կողմնորոշում են տակդիրների վրա նախապես նստեցնելով մակերևութային ակտիվ միամոլեկուլյար շերտեր, կամ պոլիմերային թաղանթներ, որոնք այնուհետև ենթարկվում են տարբեր տիպի մշակումների՝ նրբահղկման, ջերմամշակման, լուսամշակման և այլն: Եթե ՀԲ-ի մոլեկուլները չեն թրջում մակերևութային ակտիվ նյութը, ապա դրանք մակերևութամոտ շերտերում դասավորվում են մակերևութին ուղղահայաց (հոմեոտրոպ), հակառակ դեպքում, երբ թրջում են՝ զուգահեռ (պլանար) (նկ. 2.1): Միջմոլեկուլյար փոխազդեցության ուժերը ստիպում են, որ ՀԲ-ի ուղղորդը սահուն փոփոխվելով բջջի տակդիրներից մեկի վրա տրված ուղղությունից անցնի մյուսի վրա տրված ուղղությանը: Սակայն բջջի տակդիրների վրա, մասնա-



Նկ. 2.1. Բջջի տակդիրների մոտ մոլեկուլների կողմնորոշումը հեղուկ բյուրեղի (ա) հոմեոտրոպ և (բ) պլանար սահմանային պայմանների դեպքում

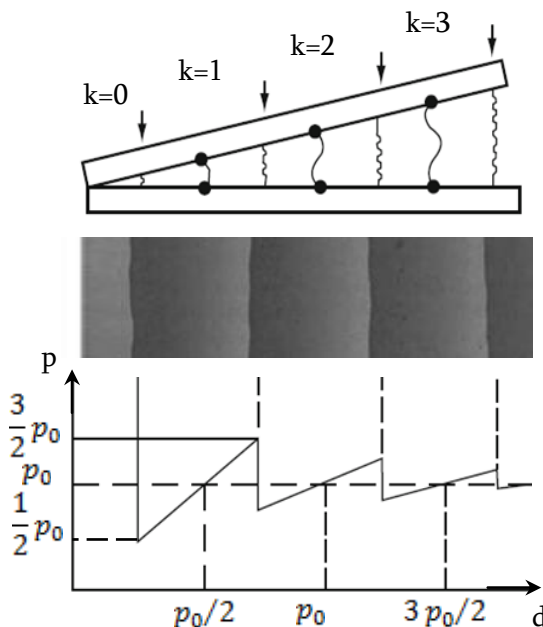
վորաբար, միշտ չէ, որ ՀԲ-ի մոլեկուլների համար հնարավոր է ապահովել միևնույն համասեռ եզրային պայմանները: Ավելին, ՀԲ-ական միջավայրը չի կարող ունենալ իդեալական մաքրություն և այն, այսպես թե այնպես, հաճախ պարունակում է «անցանկալի» մոլեկուլներ կամ գոյացություններ:

Վերը նշվածի պատճառով ՀԲ-ական բջջում կարող են առաջանալ արատներ (կողմնորոշումային աղավաղումներ): Դրանք ունենալով ծագման տարբեր պատճառներ, բևեռացված լույսով դիտելիս ունենում են տարբեր տեսքեր: Արատի գաղափարն ինչպես հայտնի է, բյուրեղագիտության մեջ ծագել է կապված պինդ բյուրեղների հետ, որպես իդեալական բյուրեղական կառուցվածքից շեղումներ: Դրանք հիմնականում արտահայտ-

վում են դատարկությունների՝ կետային արատներ և շեղումների՝ գծային արատներ տեսքով: Ի տարբերություն պինդ բյուրեղների ՀԲ-ական փուլերում հանդիպում են արատներ, որոնցից շատերը չեն դիտվում պինդ բյուրեղներում:

ՀԲ-ական օպտիկական սարքերում և տեխնոլոգիաներում ընդհանրապես, որպես կանոն, արատները համարվել են հիմնականում խանգարող հանգամանք, որոնք սովորաբար հանգեցրել են անցանկալի ցրումների և աղավաղումների: Դրանով հանդերձ, վերջերս իրականացված հետազոտությունները փաստում են, որ արատային կառուցվածքները լուրջ կիրառություններ են գտնում ՀԲՖԿ-ներում, օպտիկական դիոդներում, ակտիվ դիսպլեյներում և այլն:

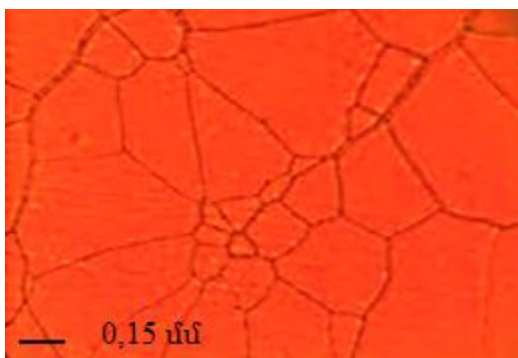
Ինչպես ակադեմիական, այնպես էլ կիրառական առումներով կարևոր է ՀԲ-ներում արատների համակողմանի ուսումնասիրումը [98]: ՀԲ-ներում, այդ թվում նաև ԽՀԲ-ներում և խիրալ ՆՀԲ-ներում, կողմնորոշումային արատների տիպերն ու դրանց առանձնահատկությունները հանգամանորեն քննարկված է [99] աշխատանքում: Կոշտ սահմանային պայմաններով պլանար կողմնորոշված խիրալ ՀԲ-ական բջիջներում արատները հիմնականում ունեն դիսկլինային գծերի տեսք: Հաճախ դրանց անվանում են Գրանժան-Կանոյի դիսկլինային գծեր կամ պատեր:



Նկ. 2.2. Գրանժան-Կանոյի դիսկլինային գծերի դիտման համար ԽՀԲ-ով լցված սեպաձև բջջի գծապատկերը (վերևում), մանրադիտակի տակ դիտվող պատկերը (միջնամասում) և ԽՀԲ-ի քայլի կախումը բջջի հաստությունից (ներքևում)

Գրանժան-Կանոյի դիսկլինային գծերը շատ հեշտ է դիտել սեպածև բջիջներում: 2.2 նկարում (վերևից) բերված է կոշտ սահմանային պայմաններով, պլանար սեպածև խիրալ ՀԲ-ական բջջի գծապատկերը, իսկ նույն նկարի ներքևում խիրալ ՀԲ-ի պարույրի քայլի կախումը թաղանթի *d* հաստությունից [99]: Ըստ հաստության պարույրի քայլի թռիչքներից յուրաքանչյուրում կիսապարույրների թիվը փոխվում է մեկով: ԽՀԲ-ի քայլի թռիչքային տիրույթները տարանջատված են Գրանժան-Կանոյի դիսկլինային գծերով, որը հստակ դիտվում է մանրադիտակի տակ (նկ. 2.2-ի միջնամասում բերված է մանրադիտակի տակ դիտվող պատկերը): Թռիչքներից յուրաքանչյուրին համապատասխանում է դիսկլինային մեկ գիծ: Այդ դիսկլինային գծերով տարանջատված հարևան տիրույթներում ԽՀԲ-ի կիսապարույրների թվերը տարբերվում են մեկով, այնպես որ պարույրի քայլը տիրույթից տիրույթ անցնելիս փոխվում է թռիչքով: Այսինքն, դիսկլինային գիծն առաջանում է ուղղորդի բաշխման թռիչքածև փոփոխության հետևանքով:

ԽՀԲ-ներում դիսկլինային գծերի մեկ այլ օրինակ են «յուղային շերտագծերը» («oily streaks») [100]: Դրանց ծագման պատճառներն ավելի բարդ են, քիչ ուսումնասիրված և դժվար ըմբռնելի: Նկ. 2.3-ում բերված է մեր կողմից հետազոտված բջիջներում դիտվող յուղային շերտագծերի պատկերը, որը դիտվում է 20X խոշորացմամբ օբյեկտիվով BK-POL բևեռացումային մանրադիտակի դաշտում [19]: Փորձերը ցույց են տալիս, որ այդ շերտագծերը կարող են ծագել, և գոյատևել շատ երկար ժամանակ (օրեր և նույնիսկ ամիսներ), չնչին արտաքին ազդեցություններից: Ժամանակի ընթացքում դրանք շարժվում են, միավորվում և տրոհվում: Առանց արտաքին ազդեցությունների դրանք ժամանակի ընթացքում որպես կանոն վերանում են: ԽՀԲ-ներում դիսկլինային գծերը (մասնա-



վորապես, յուղանման շերտագծերը) չեն փոխազդում, ի տարբերություն ՆՀԲ-ների, որոնցում դիսկլինային գծերը միմյանց հետ փոխազդում են՝ ձգում են կամ վանում, կախված արատի ներսում ուղղորդի բաշխումից:

[100] աշխատանքում ուսումնասիրելով բջջի էլեկտրաունակության փոփոխությունը, հեղինակները ցույց են տվել, որ ժամանակի ընթացքում դիսկլինային գծերի երկարությունը նվազում է լոգարիթմական օրենքով: Նրանք փորձարարական ճանապարհով եկել են այն եզրահանգման, որ նվազման արագությունը կախված է ՀԲ-ի ջերմաստիճանից և



Նկ. 2.4. Օղակաձև դիսկլինային գծերի մարումը ժամանակի ընթացքում [94]

պարույրի քայլից: Ցույց են տվել, որ որքան բարձր է ջերմաստիճանը, և մեծ է պարույրի քայլը, այդքան արագ են մարում արատները:

Ցածր շեմային (գործնականում անշեմ) միկրոլազերներում, լազերային փնջերի ղեկավարման բարակ թաղանթային տարրերում, օպտիկական դիոդներում, տրանզիստորներում և այլն, լայն կիրառությունների տեսլականով ԽՀԲ-ներում հետազոտողների կողմից առավել մեծ հետաքրքրություն են ներկայացնում հարթ, կամ ինչպես հաճախ ասում են պլանար արատները: Այստեղ, հարթ արատ ասելով հասկանում ենք ուղղորդի այն աղավաղումները, որոնց դեպքում ուղղորդի բաշխումը համասեռ է բջջի տակդիրներին զուգահեռ հարթություններում [62, 65, 67, 68, 75-80]: Արատների այս դասին կանդրադառնանք նաև հետագայում: Այժմ նշենք միայն, որ կառուցվածքային տեսակետից դրանք կարող են լինել ստատիկ և մակաձվաձև, իսկ լազերային գեներացիայի տեսակետից՝ պասիվ և ակտիվ:

Խիրալ ՀԲ-ներն ունեն հետաքրքիր օպտիկական հատկություններ և տարատեսակ կիրառություններ, սակայն արատներ պարունակող խիրալ ՀԲ-ներն այս տեսակետից, շնորհիվ դրանցում օպտիկական երևույթների հարուստ բազմազանության, ավելի հե-

տաքրքիր են: Մասնավորապես, արատի առկայությամբ խիրալ ՀԲ-ի ընտրողաբար անդրադարձման տիրույթում առաջանում են արատային մոդաներ: Մակածված արատների միջոցով կարելի է ղեկավարել ՖԱԳ-ի օպտիկական բնութագրերը:

Ինչպես նշել ենք ներածությունում, խիրալ ՆՀԲ-ական կառուցվածքներում տարբեր մեխանիզմների գործադրմամբ կարելի է ստեղծել տարատեսակ արատներ՝ օրինակ երկու խիրալ ՀԲ շերտերի միջև տեղադրելով իզոտրոպ թափանցիկ բարակ թաղանթ [88, 89], խիրալ ՀԲ-ի պարույրի առանցքին ուղղահայաց ուղղությամբ կիրառելով արտաքին էլեկտրական դաշտ [62, 65]: Խիրալ ՆՀԲ-ում արատները կարող են նաև պայմանավորված լինել պարույրի տարբեր քայլեր ունեցող խիրալ ՀԲ-երի սահմանին պարույրի քայլի թռիչքաձև փոփոխությամբ [90], խիրալ ՆՀԲ-ի պարույրի քայլի տեղային փոփոխությամբ [92] կամ պարույրի քայլի գրադիենտով [91, 67, 68], և այլն: Կան նաև աշխատանքներ, որոնցում ուսումնասիրվել է խիրալ ՆՀԲ-ում հիդրոդինամիկական հոսքերով արատի մակածումը և մակածված արատի հատկությունները [79, 80]:

Այժմ հակիրճ կանգ առնենք այն հիմնական փորձարարական մեթոդների վրա, որոնք օգտագործվում են ՀԲ-ական կառուցվածքներում արատների ուսումնասիրման ժամանակ:

Վաղուց հայտնի է, որ ՀԲ-ներում արատների ուսումնասիրման համեմատաբար պարզ և վստահելի մեթոդ է հանդիսանում բևեռացումային մանրադիտարկման (polarization microscopy) մեթոդը [96]: Ընդհանրապես, հաշվի առնելով անիզոտրոպ միջավայրերում բևեռացված լույսի տարածման առանձնահատկությունները [101], և դրա վրա հիմնված հետազոտական մեթոդները, դժվար է թերագնահատել բևեռացումային մանրադիտարկման հնարավորությունները բյուրեղագիտության մեջ ընդհանրապես, և ՀԲ-ներում արատների ուսումնասիրմանը մասնավորապես:

Օրինակի համար, թափանցիկ տակդիրների միջև լցված ՀԲ-ական բարակ թաղանթը բևեռացումային մանրադիտակի տակ դիտելիս հստակ տեսանելի է բնութագրական բազմագույն պատկեր, որն անվանում են կառուցվածք, կամ երբեմն տեքստուրա (texture): Եթե հատուկ միջոցներ չկիրառենք ՀԲ-ի մոլեկուլների համասեռ կողմնորոշման համար,

ապա բջջում միշտ առկա են մեծ թվով տարատեսակ արատներ, որոնք ունեն երկբեկման տարբեր առանձնահատկություններ, և հետևաբար տեքստուրա:

Տեքստուրայի կարևոր առանձնահատկությունն այն է, որ նրանում առկա են լինում մութ շերտեր, որոնք որոշ տեղամասերում զուգամիտում են կետային կենտրոններում: Մութ շերտերը համապատասխանում են այն տիրույթներին, որոնցում տեղային օպտիկական առանցքն ուղղված է կամ բևեռիչի (polarizer) կամ վերլուծիչի (analyzer) ուղղությամբ: Այդ դեպքում լույսը տարածվում է կամ որպես մաքուր սովորական՝ օ-ալիք, կամ որպես մաքուր անսովոր՝ e-ալիք: Մյուս կողմից, քանի որ օպտիկական առանցքի բաշխումն ուղղակիորեն կապված է ՀԲ-ում մոլեկուլների առանցքների բաշխման հետ, ապա դիտելով մութ շերտերի ճյուղավորումների դիրքերը բջջի տարբեր դիրքերում, կարելի է հստակ պատկերացում կազմել տեքստուրայում մոլեկուլների բաշխման վերաբերյալ (տես, օրինակ, [102]):

ՀԲ-ների և դրանցում արատների ուսումնասիրման համար կիրառում են, փաստորեն, ժամանակակից լուսային մանրադիտարկման բոլոր մեթոդները: Այսպես, նմուշների լուսավորումն իրականացվում է գծային և շրջանային բևեռացված լույսով, սպիտակ և միագույն (monochrome) լույսով, անցած և անդրադարձած լույսով և այլն:

ՀԲ-ներում արատների ստացման և ուսումնասիրման համար կարևոր նշանակություն ունեն սահմանային պայմաններն ու փորձի երկրաչափությունը: Չխորանալով բջջի մակերևույթի վրա ՀԲ-ի կողմնորոշման նրբությունների մեջ, նշենք միայն, որ փորձի երկրաչափության ընտրությունը, որպես կանոն, որոշվում է հետազոտվող արատների յուրահատկություններով: Ինչպես արդեն դիտարկել ենք, օրինակ, սեպաձև բջիջներ վաղուց կիրառում են ԽՀԲ-ներում և ՍՀԲ-ներում գծային արատների ստացման և ուսումնասիրման համար:

Հիշեցնենք նաև, որ ՀԲ-ական բջջում մոլեկուլների, հետևաբար ուղղորդի համասեռ բաշխումը հաճախ ստուգում են բևեռացումային մանրադիտակով: Եթե ուղղորդի բաշխումը համասեռ է, ապա բջջի հարթության մեջ բոլոր մասերում լույսը ենթարկվում է

միևնույն ազդեցությանը, և խաչված բևեռարդների միջև ՀԲ բջիջը մանրադիտակով դիտելիս երևում է համասեռ միագույն պատկեր:

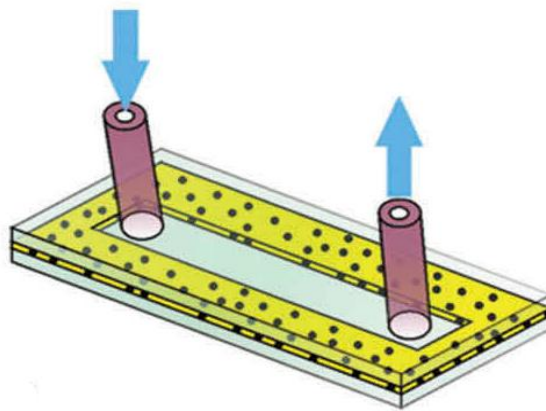
2.3. Հիդրոդինամիկական հոսքերի հնարավորություն ապահովող հեղուկ բյուրեղական բջջի և փորձարարական սարքավորման նկարագրությունը

Ներկանյութով հարստացրած խիրալ ՆՀԲ-ական կառուցվածքում հիդրոդինամիկական հոսքեր առաջացնելու և դրանք հետազոտելու նպատակով պատրաստվել է հատուկ «սենդվիչ» տիպի բջիջ, որի գծապատկերը բերված է նկ.2.5-ում [11]: Բջջի պատրաստման համար օգտագործվել են երկու հարթ զուգահեռ ապակիներ, որոնցից մեկի վրա արվել են 4 մմ տրամագծով երկու անցքեր: Բջջի ապակիները նախ մանրակրկտորեն լվացվել, մաքրվել են և չորացվել, այնուհետև ապակիների վրա ցենտրիֆուգային եղանակով նստեցվել է պոլիմիդի շերտ և տաքացվել մինչև 300°C: Ապակիների մոտ ԽՀԲ-ի մոլեկուլներին բջջի երկայնքով պլանար կողմնորոշում տալու նպատակով, բջջի ապակիները մշակվել են մանրահղկման (rubbing) եղանակով, տակդիրների վրա ստեղծելով միմյանց զուգահեռ միկրոակոսներ: Բջջի տակդիրների միջև, դրանց եզրերով լցվել է ուլտրամանուշակագույն լույսով ֆոտոպոլիմերվող սոսնձի UV (NO68, Norland) և 10 մկմ տրամագիծ ունեցող սֆերիկ փոշեհատիկների խառնուրդ, այնպես որ ապակիների միջնամասում ձևավորվի ուղղանկյունաձև հարթ մազանոթային ազատ տարածություն, որն ընդգրկում է ապակիներից մեկի վրա արված անցքերը: Այնուհետև սոսինձը երկու րոպեի ընթացքում չորացվել է (պոլիմերացվել է) ուլտրամանուշակագույն լամպի ճառագայթմամբ: Բջջի ապակիների միջև ստեղծված ազատ հարթ մազանոթային տարածքն ունեցել է 4 մմ լայնություն, 40 մմ երկարություն և 10 մկմ հաստություն: Հարթ մազանոթն այնուհետև լցվել է խիրալ ՆՀԲ-ի ներկանյութային լուծույթով՝ այսպիսով ձևավորվել է 10 մկմ հաստությամբ ներկանյութով հարստացրած խիրալ ՆՀԲ-ական բջիջ, որում, ինչ որ ձևով ստեղծելով ճնշումների տարբերություն, կարելի է առաջացնել հիդրոդինամիկական հոսք: Ապակիներից մեկի վրա արված անցքերին ամրացվել են երկու գլանաձև բաց անոթներ:

Գլանաձև անոթները մի կողմից նախատեսված են ներկանյութով հարստացրած խիրալ ՆՀԲ-ի որոշ պաշար ունենալու համար, մյուս կողմից, հիդրոդինամիկական հոսք առաջացնելու համար, դրանց միջոցով ճնշումների տարբերություն է ստեղծվում խիրալ ՆՀԲ-ի թաղանթի եզրերում: Գլանաձև անոթների միջով, կապիլյար ուժերի ազդեցությամբ ներկանյութով հարստացրած խիրալ ՆՀԲ-ը լցվել է բջջի մեջ: Անոթների միջոցով օդի մղմամբ, ստեղծվում է ճնշումների տարբերություն, որի միջոցով խիրալ ՆՀԲ-ական բջջում առաջացվում է հիդրոդինամիկական հոսքեր: Դրանց արագությունը ղեկավարվում է անոթներում փոփոխելով ճնշումների տարբերությունը:

Ներկանյութով հարստացրած խիրալ ՆՀԲ-ական ֆոտոնային կառուցվածքում հիդրոդինամիկական հոսքեր առաջացնելու և դրանք հետազոտելու նպատակով պատրաստվել է խառնուրդ, որը բաղկացած է եղել Merck ֆիրմայի E7 տիպի ՆՀԲ-ից, նույն ֆիրմայի BDH1305 խիրալ խառնուկից և Pyrromethene 597 (PM597, Exciton) ֆլուորեսցենտ ներկանյութից:

Փորձում օգտագործել ենք երկու տեսակի խառնուրդ, որոնք տարբերվել են միմյանցից բաղադրիչների հարաբերակցությամբ: Ներկանյութով հարստացրած խիրալ ՆՀԲ-ական առաջին խառնուրդի համար բաղադրիչների զանգվածային հարաբերակցություն-



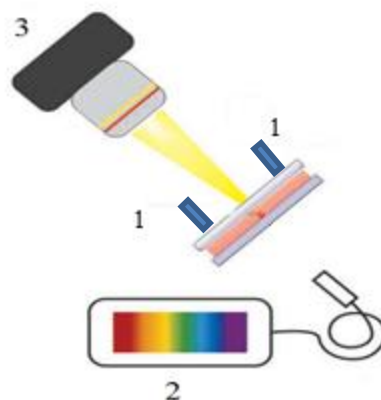
Նկ.2.5. Ներկանյութով հարստացրած խիրալ ՆՀԲ-ական բջջում հիդրոդինամիկական հոսքերի հետազոտման համար պատրաստված բջջի գծապատկերը: Սլաքներով ցույց է տրված օդի մղման համար մուտքը և ելքը [11]

ներն են եղել՝ E7(ՆՀԲ) : BDH1305(խիրալ դոպանտ) : PM597(ներկանյութ) համապատասխանաբար՝ 92,9% : 6,1% : 1%, իսկ երկրորդ խառնուրդի համար՝ E7(ՆՀԲ) : BDH1305 (խիրալ դոպանտ) : PM597(ներկանյութ) համապատասխանաբար՝ 93,8% : 5,2% : 1%:

Փորձում օգտագործված պիրոմետրեն 597 (PM 597) ներկանյութի կլանման տիրույթը սպեկտրի մոտավորապես 450 նմ – 560 նմ միջակայքում է, ներկանյութի կողմից առավելագույն կլանման ալիքի երկարությունը մոտ 530 նմ է: Տվյալ ներկանյութի համար ֆլուորեսցենցիայի տիրույթը մոտավորապես 550 նմ – 650 նմ սպեկտրային միջակայքում է, ֆլուորեսցենցիայի առավելագույնը՝ 570 նմ ալիքի երկարության մոտակայքում:

Ներկանյութով հարստացրած խիրալ ՆՀԲ-ական բջջում հիդրոդինամիկական հոսքերի ուսումնասիրման համար նախատեսված փորձարարական սարքավորման գծապատկերը բերված է նկ. 2.6-ում:

Խիրալ ՆՀԲ-ական բջջում հիդրոդինամիկական հոսքերն ուսումնասիրելու նպատակով բջիջը տեղադրվել է հորիզոնական հարթակի վրա: Սպեկտրոմետրի լուսատարը հարմարեցվել է խիրալ ՆՀԲ-ական բջջի ետնամասում, այնպես որ գրանցի



Նկ. 2.6. Ներկանյութով հարստացրած խիրալ ՆՀԲ-ական բջջում հիդրոդինամիկական հոսքերի ուսումնասիրման փորձարարական սարքի պարզեցված գծապատկերը, որտեղ 1-ը հոսքի առաջացման և ղեկավարման գլանաձև խողովակներն են, 2-ը՝ սպեկտրոմետրը, 3-ը՝ տեսախցիկը

ի ՖԱԳ-ի փոփոխությունը, որն առաջանում է հիդրոդինամիկական հոսքերի պատճառով:

Բջջի մակերևույթին զուգահեռ, բջջի մյուս կողմում հարմարեցվել է CCD տեսախցիկը, որը թույլ է տվել գրանցել և ուսումնասիրել ներկանյութով հարստացրած խիրալ ՆՀԲ-ական բջջում ՀԲ-ի կառուցվածքային փոփոխությունները:

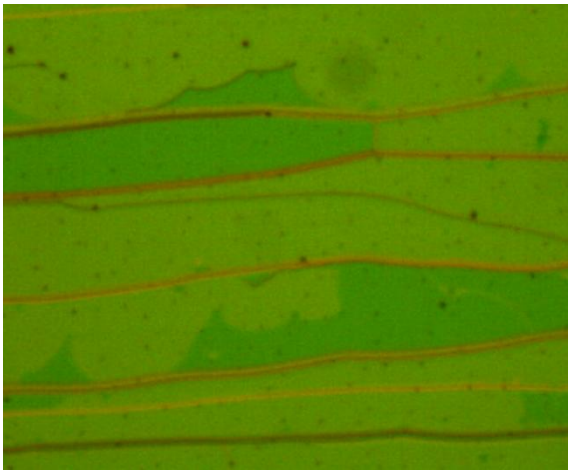
2.4. Հիդրոդինամիկական հոսքերով հարթ արատի մակածումը ներկանյութով հարստացրած խիրալ նեմատիկ հեղուկ բյուրեղներում

Ներկանյութով հարստացրած խիրալ ՆՀԲ-ական բջջում օդի մղման միջոցով հիդրոդինամիկական հոսքերի մակածումն անկասկած, շնորհիվ Մաքսվելի երևույթի (տես առաջին գլխի 1.2.4 կետը), պետք է փոփոխություններ առաջացնի խիրալ ՆՀԲ-ական ֆոտոնային կառուցվածքում և հետևաբար իր ազդեցությունը թողնի նաև ՀԲՖԿ-ի օպտիկական հատկությունների վրա: Տարբեր մեխանիկական դեֆորմացիաների և հիդրոդինամիկական հոսքերի ազդեցությունների հետևանքով խիրալ ՆՀԲ-ի օպտիկական հատկությունների փոփոխությունը վերջին ժամանակներում եղել է բազմաթիվ տեսական և փորձնական հետազոտությունների առարկա: [79, 103-109] աշխատանքներում համակողմանիորեն հետազոտվել է խիրալ ՆՀԲ-ի և ԽՀԲ-ի օպտիկական հատկությունների վրա հիդրոդինամիկական հոսքերի ազդեցությունները, ԽՀԲ-ի պարույրի տարբեր ուղղությունների և հիդրոդինամիկական հոսքերի տարբեր արագությունների համար: [79, 109] աշխատանքներում տեսականորեն ուսումնասիրվել է այն հանգամանքները, որոնց ժամանակ տեղի է ունենում ԽՀԲ-ի պարույրի ապապարուրման (քանդման) պրոցեսը: [105, 107-109, 110] աշխատանքներում փորձնականորեն ցույց է տրվել, որ հիդրոդինամիկական հոսքերի ազդեցությամբ ԽՀԲ-ի ընտրողաբար անդրադարձման տիրույթի անդրադարձման ալիքի երկարության մաքսիմումը տեղաշարժվում է դեպի կարճալիքային տիրույթ: Այդ աշխատանքում նկատվել է ընտրողաբար անդրադարձման տիրույթի տեղաշարժ դեպի կարճալիքային տիրույթ, բջջում մակածված հիդրոդինամիկական հոսքերի արագությունները մեծացնելիս:

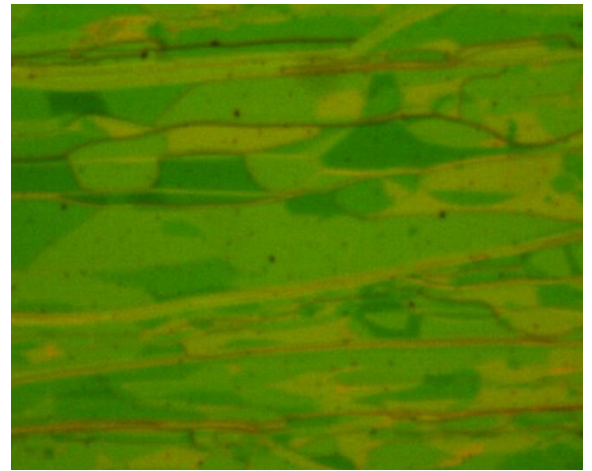
Այստեղ ներկայացվող մեր փորձերում [11], ուսումնասիրվել է լազերային ներկանյութով հարստացրած ԽՀԲ-ի ընտրողաբար անդրադարձման տիրույթի վրա, օդի մղմամբ

ստեղծված ճնշումների տարբերությամբ առաջացված, հիդրոդինամիկական հոսքերի ազդեցությունը: Ինչպես արդեն նշվել է ներկանյութով հարստացրած խիրալ ՆՀԲ-ն լցվել է բջջի գլանաձև խողովակներից մեկի մեջ: Մազանոթային ուժերի և խողովակների մեջ խառնուրդի մակարդակների տարբերության շնորհիվ, ներկանյութով հարստացրած խիրալ ՆՀԲ-ն հոսելով բջջի հարթ մազանոթով լցվել է նաև մյուս խողովակի մեջ: Բջջի ապակիների համապատասխան մշակման շնորհիվ, ներկանյութով հարստացրած խիրալ ՆՀԲ-ի մոլեկուլներին տրվել է պլանար կողմնորոշում, որի արդյունքում խիրալ ՆՀԲ-ի մոլեկուլները ձևավորել են պարուրաձև կառուցվածք, բջջի տակդիրներին ուղղահայաց ուղղված պարույրի առանցքով: Պայմանավորված այն հանգամանքով, որ բջջի տարբեր հատվածներում դրա և, հետևաբար խիրալ ՆՀԲ-ական թաղանթի, հաստությունը տարբեր է (տակդիրները իդեալական հարթ չեն) և խիրալ ՆՀԲ-ի հոսքի արագությունն անհամասեռ է, հանգեցնում է ներկանյութով հարստացրած խիրալ ՆՀԲ-ում բազմադոմեն կառուցվածքի առաջացման: Նկ.2.7-ում ցույց է տրված «կարճալիքային» ընտրողաբար անդրադարձման տիրույթով, վերը նկարագրված խառնուրդներից առաջինով լցված, բջջում խիրալ ՆՀԲ-ի, Tucsen CCD տեսախցիկով և 20X խոշորացման օբյեկտիվով BK-POL քլեռացումային մանրադիտակով արված, կառուցվածքը՝ տեքստուրան: Անգեն աչքով անգամ դժվար չէ տեսնել հարևան դոմենների գունավորման տարբերությունը: Հարևան դոմենները տարբերվում են միմյանցից խիրալ ՆՀԲ-ի պարույրի կես քայլով: Նկ. 2.7 ա)-ն համապատասխանում է խիրալ ՆՀԲ-ի կառուցվածքի՝ տեքստուրայի տեսքին, երբ բջջում կիրառված հիդրոդինամիկական հոսքի միջին արագությունը մոտավորապես 0,08 մմ/վրկ է, նկ. 2.7 բ)-ն, խիրալ ՆՀԲ-ի կառուցվածքի տեսքն է, երբ հիդրոդինամիկական հոսքի արագությունը մոտավորապես 0,3 մմ/վրկ կարգի է: Ինչպես տեսնում ենք հիդրոդինամիկական հոսքի ավելի մեծ արագության դեպքում խիրալ ՆՀԲ-ում ձևավորված դոմենների քանակը զգալիորեն շատ է, ավելի փոքր արագությամբ հոսքով ձևավորված դոմենների քանակից: Լազերային ներկանյութով հարստացրած խիրալ ՆՀԲ-ական կառուցվածքում ձևավորված դոմենները կարելի է տեղաշարժել բջջի գլանաձև խողովակներից մեկում օդի մղմամբ ճնշում կիրառելով: Նկարում նաև երևում է հարևան դոմենների

միջև, բջջում հիդրոֆինամիկական հոսքի առկայությամբ ձևավորված դիսկլինային արատները՝ յուղանման շերտագծերը (oily streak), որոնք նկարի մեջ ունեն շագանակագույն գծերի տեսք:



ա

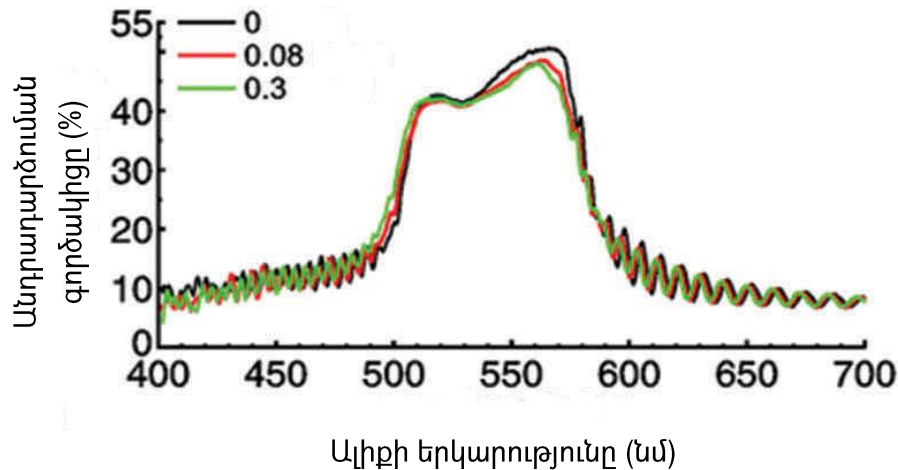


բ

Նկ.2.7. Առաջին խառնուրդով լցված խիրալ ՆՀԲ-ական բջջում խիրալ ՆՀԲ-ի կառուցվածքը՝ տեքստուրան, դոմենները, դիսկլինային արատները, հիդրոֆինամիկական հոսքի արագության ա) 0,08 մմ/վրկ արժեքի և բ) 0,3 մմ/վրկ արժեքի դեպքում [11]

Նկ. 2.8-ում և 2.9-ում ցույց է տրված 10 մկմ հաստությամբ առաջին և երկրորդ խառնուրդներով լցված նմուշների համար խիրալ ՆՀԲ-ի ընտրողաբար անդրադարձման տիրույթը՝ ՖԱԳ-ը, հիդրոֆինամիկական հոսքի բացակայության և դրա առկայության դեպքում, երբ այն առաջացնում է, կամ երբեմն կասենք մակածում է, ՖԱԳ-ի փոփոխություն, հոսքի տարբեր արագությունների դեպքում [11]: Չափումները կատարվել են չբևեռացված լույսով: Անդրադարձման տիրույթի գրանցման համար օգտագործվել է ալիքատարային (StellarNet Black Comet) սպեկտրոմետրը, որը թույլ է տալիս գրանցել անդրադարձման սպեկտրները 1 նմ ճշտությամբ, և նույն կազմակերպության արտադրության օպտիկական մանրաթելային 100 մկմ տրամագծով տեղեկության մալուխը: Օպտիկական մալուխը բաղկացած է 7 մանրաթելային լուսատարերից, որոնց միջոցով չբևեռացված լույսը ընկնում է բջջի վրա, և կենտրոնական մանրաթելից, որի միջոցով

խիրալ ՆՀԲ-ից անդրադարձած լույսը գրանցվում է սպեկտրոմետրի կողմից: Ինչպես երևում է Նկ.2.8-ից և 2.9-ից խիրալ ՆՀԲ-ական բջջում հիդրոդինամիկական հոսքերի արագության մեծացման հետ համատեղ, խիրալ ՆՀԲ-ի ՖԱԳ-ը տեղաշարժվում է դեպի կարճալիքային տիրույթ: Նկատվում է նաև ընտրողաբար անդրադարձման տիրույթի

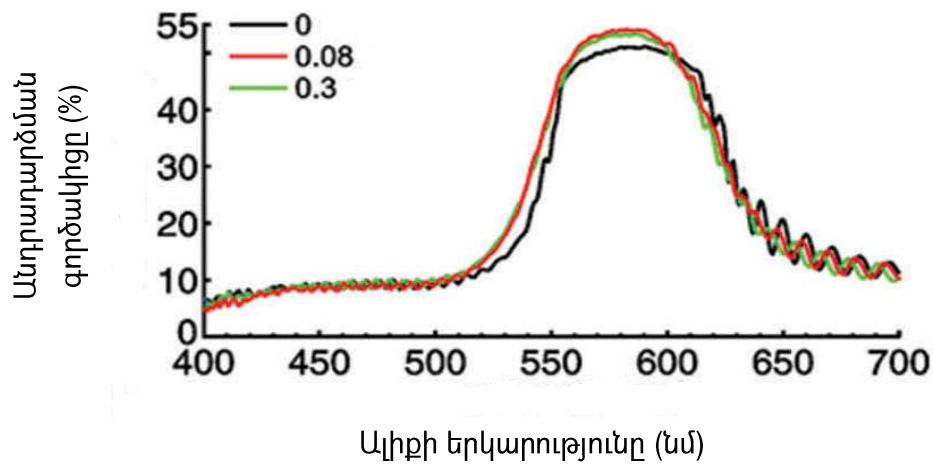


Նկ.2.8. Հիդրոդինամիկական հոսքի ազդեցությամբ խիրալ ՆՀԲ-ական առաջին նմուշի ՖԱԳ-ի տիրույթը, հոսքի տարբեր արագությունների դեպքում: Սև գույնին համապատասխանում է հոսքի արագության 0 մմ/վրկ, կարմիր գույնին՝ 0,08 մմ/վրկ, կանաչին՝ 0,3 մմ/վրկ արժեքը

եզրերի կտրուկության նվազում:

Այս երևույթը բացատրվում է այն փաստով, որ սպեկտրոմետրի լուսատարը գրանցում է լույսի անդրադարձում մի քանի դոմեններից, որոնք միմյանցից տարբերվում են պարույրի մեկ լրիվ կամ կես քայլով: Հիդրոդինամիկական հոսքի առկայությունը հանգեցնում է խիրալ ՆՀԲ-ում նոր դոմենների առաջացման և դոմենների արագ տեղաշարժի այն տիրույթով, որտեղից գրանցվում է լույսի անդրադարձումը լուսատարի կողմից: Ստացվում է որ լույսի անդրադարձումը չափվում է մի քանի դոմենների անդրադարձումների միջինացված արժեքով:

Խիրալ ՆՀԲ-ի ընտրողաբար անդրադարձման տիրույթի տեղաշարժը դեպի կարճալիքային տիրույթ բացատրվում է հիդրոդինամիկական հոսքով պայմանավորված խիրալ ՆՀԲ-ի պարույրում առաջացած դեֆորմացիաներով: Հեղուկ բյուրեղի մածուցիկության



Նկ.2.9. Հիդրոդինամիկական հոսքի ազդեցությամբ խիրալ ՆՀԲ-ական երկրորդ նմուշի ՖԱԳ-ի տիրույթի սպեկտրը, հոսքի տարբեր արագությունների դեպքում: Սև գույնին համապատասխանում է հոսքի արագության 0 մմ/վրկ, կարմիր գույնին՝ 0,08 մմ/վրկ, կանաչին՝ 0,3 մմ/վրկ արժեքը [11]

անհամասեռության պատճառով, խիրալ ՆՀԲ-ի պարույրի առանցքին ուղղահայաց լամինար հոսքը ազդեցություն է ունենում խիրալ ՆՀԲ-ում ուղղորդի կողմնորոշման ուղղության վրա, ինչը ներառում է իր մեջ ուղղորդի պտույտ և հեղուկ բյուրեղի մոլեկուլների թեքում: Հեղուկ բյուրեղում ուղղորդի համար նախընտրելի կողմնորոշումային ուղղություն է դառնում, հիդրոդինամիկական հոսքի ուղղությունը: Ուղղորդի պտտման շնորհիվ խիրալ ՆՀԲ-ի պարույրը դեֆորմացվում է, սակայն պարույրի քայլը մնում է անփոփոխ: Ենթադրաբար ուղղորդի պտույտը պետք է մեծ լինի այն տիրույթներում, որտեղ մինչև հիդրոդինամիկական հոսք կիրառելը ուղղորդը կողմնորոշված է եղել հոսքի ուղղությանը ուղղահայաց, և հակառակը ուղղորդի պտույտը փոքր պետք է լինի այն տիրույթներում, որտեղ նախապես ուղղորդի կողմնորոշումը համընկել է կիրառված հիդրոդինամիկական հոսքի ուղղության հետ (տես սույն ատենախոսության առաջին գլխի 1.1-ը): Պետք է հաշվի առնել նաև այն փաստը, որ բջջի տակդիրներին մոտ շերտերում կառչման ուժերի գոյության շնորհիվ ուղղորդի պտույտը ավելի փոքր է քան հեղուկ բյուրեղային թաղանթի միջնամասային շերտերում: Խիրալ հեղուկ բյուրեղի ՖԱԳ-ի կարճալիքային տեղաշարժի մեջ, հավանաբար, ներդրում ունի նաև հիդրոդինամիկական հոսքի պատճառով հեղուկ բյուրեղի

մոլեկուլների թեքման երևույթը, դրանց ուղղության դուրս գալը տակդիրներին զուգահեռ հարթությունից:

2.5. Խիրալ ՆՀԲ-ներում լուսամակածված արատների դիտման համար բջջի և փորձարարական սարքավորման նկարագրությունը

Խիրալ ՆՀԲ-ներում լուսամակածված արատների դիտման և հետազոտման համար պատրաստվել է «սենդվիչ» տիպի բջիջ: Բջջի պատրաստման համար որպես տակդիրներ օգտագործվել է երկու ապակյա հարթ զուգահեռ թիթեղներ, որոնք նախ տարբեր լու-



Նկ.2.10. Խիրալ ՆՀԲ-ում լուսամակածված արատների դիտման համար նախատեսված բջջի կառուցվածքը: Կապույտ գույնի ուղղանկյունները ապակիներն են, կարմիր կլորները՝ 6,3 մկմ հաստությամբ միջադիրները, դեղինով ցուցադրված է նեյլոնի շերտերը

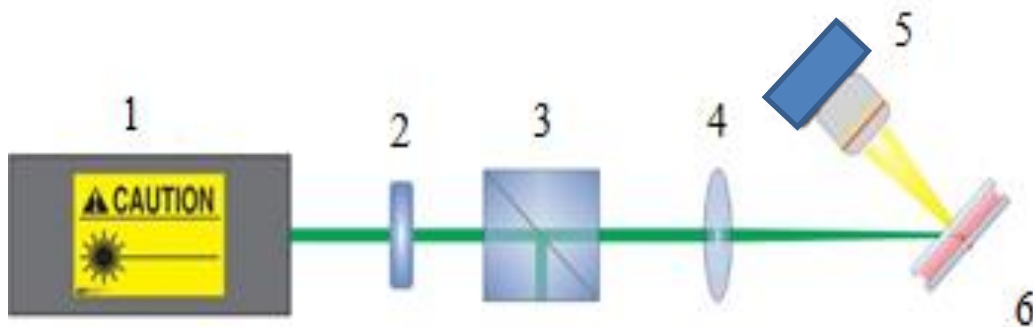
ծիչներով լվացվել, մաքրվել, յուղագրկվել և չորացվել են, այնուհետև ցենտրիֆուգային մեթոդով նրանց վրա նստեցվել է նեյլոն 6/6-ի (Neylon 6/6) բարակ շերտ: Ապակիները մշակվել են այնպես, որ խիրալ ՆՀԲ-ի մոլեկուլները դրանց վրա ունենան պլանար կողմնորոշում: Ապակիների միջև տեղադրվել են երկու միջադիրներ 6,3 մկմ հաստությամբ, այնուհետև ապակիները հատուկ լուսապոլիմերվող սոսնձով ամրացվել են միմյանց (նկ. 2.10):

Խիրալ ՆՀԲ-ական խառնուրդի պատրաստման համար օգտագործվել է նեմատիկ ՀԲ E7 և BDH 1305 խիրալ խառնուկը: Խիրալ ՆՀԲ-ում լուսամակածված արատների հետազոտման համար պատրաստվել է երկու տեսակի խառնուրդ, որոնց տարբերությունը միմյանցից եղել է խիրալ ՆՀԲ-ի բաղադրիչների զանգվածային հարաբերակցությունը: Առաջին խառնուրդի համար բաղադրիչների զանգվածային հարաբերակցությունը եղել է 94% : 6% համապատասխանաբար ՆՀԲ-ի և խիրալ խառնուկի համար: Երկրորդ խառ-

նուրդի համար ՆՀԲ-ի և խիրալ խառնուկի զանգվածային հարաբերակցությունը եղել է համապատասխանաբար 95% և 5%: Երկու խառնուրդներին ավելացվել է զանգվածի 1%-ի չափով պիրոմեթեն 597 տեսակի ներկանյութ:

Պիրոմեթեն 597 տիպի ներկանյութի կլանման տիրույթը գտնվում է սպեկտրի 450 նմ ից 560 նմ ընկած ալիքի երկարությունների տիրույթում: Այս ներկանյութի ֆլուորեսցենցիայի զբաղեցնում է մոտավորապես 550 նմ - 650 նմ ալիքի երկարությունների տիրույթը: Երկու խառնուրդներն ել նախ տաքացվել են մինչև իզոտրոպ փուլ, այնուհետև կապիլյար եղանակով լցվել են բջիջների մեջ և սառեցվել մինչև սենյակային ջերմաստիճանը: Արդյունքների համեմատության համար, պատրաստվել են նաև երկու նույն հաստության բջիջ, որոնք լցվել են մաքուր խիրալ ՆՀԲ խառնուրդներով (առանց ներկանյութի):

Նկ. 2.11-ում ցույց է տրված խիրալ ՆՀԲ-ում լուսամակածված արատների ուսումնասիրման համար նախատեսված փորձարարական սարքի գծապատկերը: Նմուշների օպ-



Նկ.2.11. Խիրալ ՆՀԲ-ում լուսամակածված արատների դիտման և հետազոտման համար նախատեսված փորձարարական սարքի գծապատկերը: 1-ը իմպուլսային լազերն է, 2-ը՝ $\lambda/2$ ալիքային թիթեղը, 3-ը՝ բևեռացումային փնջի բաժանարարը, 4-ը՝ ոսպնյակը, 5-ը՝ CCD տեսախցիկը, 6-ը ԽՀԲ նմուշը

տիկական մղման համար օգտագործել ենք (ЛТИПЧ-7) Nd:YAG տիպի իմպուլսային լազերի երկրորդ հարմոնիկը, որն ունեցել է 532 նմ ալիքի երկարություն և 12,5 Հց իմպուլսների

կրկնման հաճախություն: Այս լազերը գեներացնում է իմպուլսներ 12 նվ տևողությամբ: Լազերային ճառագայթման հզորությունը ղեկավարելու նպատակով օգտագործվել է $\lambda/2$ ալիքային թիթեղ և փնջի բևեռացումային բաժանարար: Լազերային ճառագայթումը, 100 մմ կիզակետային հեռավորություն ունեցող ոսպնյակով, կիզակետվել է նմուշի վրա, նմուշի նորմալի նկատմամբ 45° անկյան տակ: Նմուշի մի կողմում, դրա հարթությանը տարված նորմալի ուղղությամբ տեղադրվել է CCD տեսախցիկը, լազերային ճառագայթման ազդեցությամբ խիրալ ՆՀԲ-ի կառուցվածքային փոփոխություններն ընթացքից ուսումնասիրելու նպատակով:

2.6. Ներկանյութով հարստացրած խիրալ նեմատիկներում լուսամակածված արատների փորձարարական հետազոտումը

Խիրալ ՆՀԲ-ներում ֆոտոնային արգելված գոտու առկայությունը հնարավորություն է տալիս ստանալ անհայելի և ալիքի երկարությունների տեսանելի տիրույթում ղեկավարելի լազերային ճառագայթում ներկանյութով հարստացրած խիրալ ՆՀԲ-ական կառուցվածքներից [51, 12]: Լազերային ճառագայթում ստացվում է ներկանյութով հարստացրած խիրալ ՆՀԲ-ի ՖԱԳ-ի եզրերից, երբ արգելված գոտին վերածածկվում է ներկանյութի ֆլուորեսցենցիայի տիրույթի հետ: Ներկանյութով հարստացրած խիրալ ՆՀԲ-ային միջավայրերում լազերային ճառագայթման գեներացիայի ստացման համար որպես օպտիկական մղման աղբյուր հիմնականում օգտագործում են նանովայրկյանային իմպուլսային լազերներ, որոնց ալիքի երկարությունն ընկած է ներկանյութի կլանման կենտրոնական մասում: Մի շարք աշխատանքներում, մասնավորապես տես [111-113] աշխատանքները, տեսականորեն կանխատեսվել և փորձնականորեն հաստատվել է լույսի անոմալ մեծ կլանում ԽՀԲ-ի ՖԱԳ-ի ներսում:

Բնականաբար մղման լազերային փնջի ազդեցությամբ կարող է ՀԲՖԿ-ներում առաջանալ կառուցվածքային աղավաղումներ՝ արատներ, որոնք կարող են պայմանավորված լինել տարբեր մեխանիզմներով: Մղման փնջի ազդեցությունը ներկանյութով հարստացրած ԽՀԲ-ական կառուցվածքների վրա հետազոտվել է տարբեր աշխա-

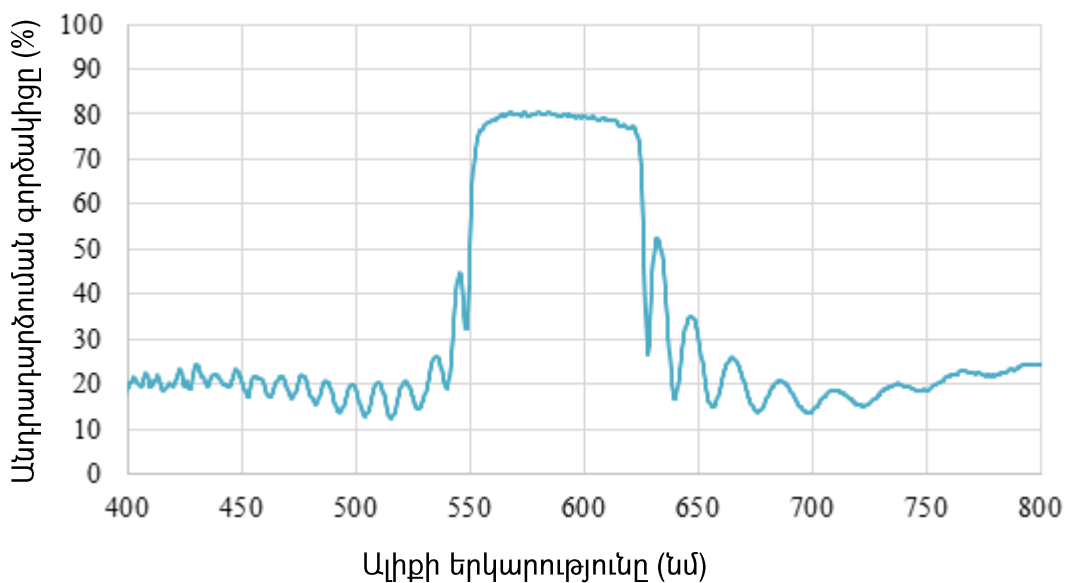
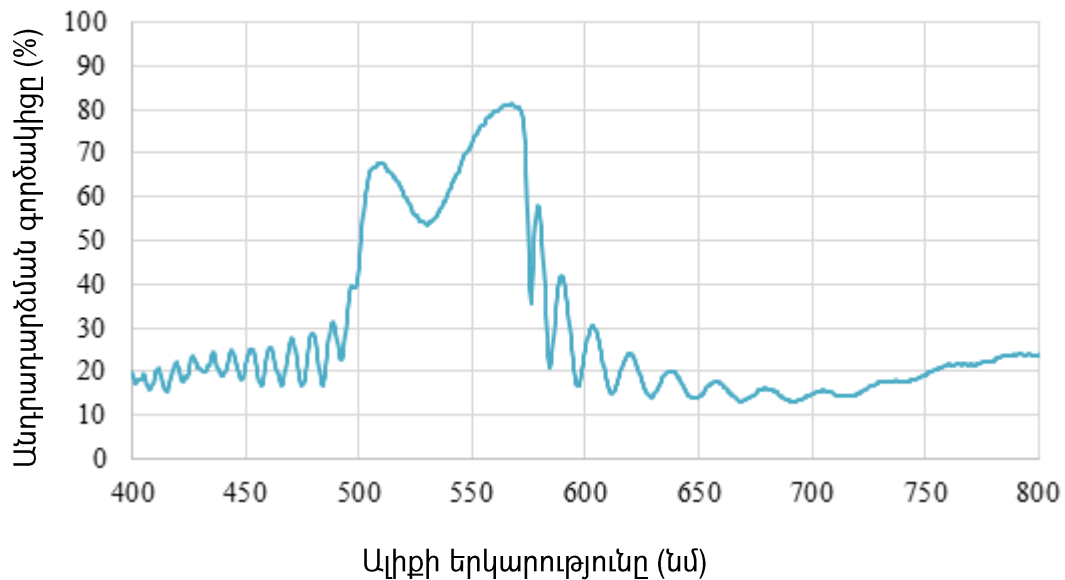
տանքներում [114, 115, 116]: [116] աշխատանքում ուսումնասիրվել է գաուսյան բաշխմամբ լազերային փնջի ազդեցությամբ միջավայրի լոկալ տաքացման արդյունքում ՖԱԳ-ի սպեկտրային դիրքի փոփոխությունը ներկանյութով հարստացրած ԽՀԲ-ական կառուցվածքներում: Դրա արդյունքում համակարգում ծագում են ԽՀԲ-ի ուղղորդի և հետևաբար պարույրի քայլի պարբերական տատանումներ, ինչն էլ հանգեցնում է ՖԱԳ-ի տիրույթի կանոնավոր պարբերական փոփոխությունների:

[115, 117] աշխատանքներում ուսումնասիրվել է ԽՀԲ-ի պարույրի թռիչքաձև փոփոխությունը, որի պատճառ է հանդիսացել մղման փնջի էլեկտրական դաշտի ազդեցությամբ ԽՀԲ-ի մոլեկուլների ոչ գծային օպտիկական վերակողմնորոշումը, պայմանավորված Ֆրեդերիկսի լուսամակածված երևույթով (տես առաջին գլխի 1.2.3 պարագրաֆը): Թվարկված աշխատանքներում ԽՀԲ-ի պարույրի քայլի փոփոխությունը հետազոտվել է արգելված գոտու եզրերից լազերային ճառագայթման ուսումնասիրմամբ:

Ինչպես նշել ենք, ԽՀԲ-ական կառուցվածքների յուրահատկություններից է դրանցում գծերի տեսքով դիսկլինային արատների առաջացումը: Դիսկլինային արատները տարանջատում են երկու հարևան դոմենները, որոնք տարբերվում են պարույրի կես քայլով: Դիսկլինային արատների առաջացումը նկատվել է Կանո-Գրանժենյան սեպաձև բջիջներում կամ ԽՀԲ-ական կառուցվածքների ձևավորման ընթացքում, երբ հեղուկ բյուրեղը իզոտրոպ վիճակից սառեցվել է խոլեստերիկ վիճակի [6]: Սառեցման եղանակով փուլային անցմամբ պայմանավորված դիսկլինային արատներն անվանում են նաև յուղանման շերտագծեր (տես սույն գլխի 2.2 պարագրաֆը): ԽՀԲ-ում ձևավորված յուղանման շերտագծերի խտությունը պայմանավորված է նրանով, թե ինչ արագությամբ է հեղուկ բյուրեղը սառեցվել: Առաջին և երկրորդ կարգի դիսկլինային արատներ դիտվել են, երբ ԽՀԲ-ի պարույրը ապապարուրվել է արտաքին անհամասեռ էլեկտրական դաշտի ազդեցությամբ [117]: Ամեն դեպքում չկան հետազոտություններ և աշխատանքներ կապված լազերային ճառագայթման ազդեցությամբ ներկանյութով հարստացրած խիրալ ՆՀԲ-ական կառուցվածքներում դիսկլինային արատների՝ յուղանման շերտերի վերաբերյալ:

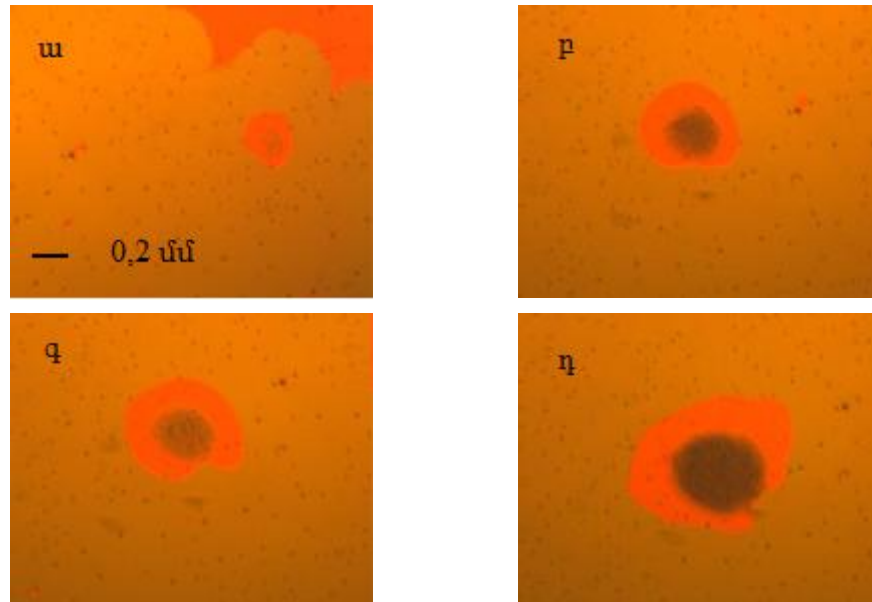
Այս պարագրաֆում կներկայացնենք մեր փորձարարական հետազոտությունների արդյունքները, որոնք վերաբերվում են լազերային ճառագայթման ազդեցությանը ներկանյութով հարստացրած խիրալ ՆՀԲ-ի օպտիկական հատկությունների վրա, դրանցում մակածվող արատների արդյունքում [13]: Մեր փորձերում մղման փունջը կլանվում է ՀԲՖԿ-ում առկա ներկանյութի մոլեկուլների կողմից, որը մասամբ վեր է ածվում ջեռմության, տաքացնելով ներկանյութով հարստացրած ՀԲ-ական ֆոտոնային կառուցվածքը: Դա հանգեցնում է խիրալ ՆՀԲ-ի պարույրի ազատ քայլի փոփոխությանը, սակայն այն սահմանափակված լինելով կոշտ սահմանային պայմաններով, չի կարող փոխել հաստատված քայլը, թեև այդ փոփոխությունը կհամապատասխաներ խիրալ ՆՀԲ-ի թաղանթի ազատ էներգիայի նվազագույնին, հետևաբար նաև կայուն հավասարակշռության վիճակին: Տրամաբանական է, որ ազատ քայլի այս փոփոխությունը չի կարող տեղի ունենալ անվերջ և դրա ինչ որ կրիտիկական արժեքի դեպքում պետք է սպասել թռիչքաձև՝ շեմային փոփոխություն: Մեզ հաջողվել է գաուսյան լազերային փնջով մակածել և բևեռացումային մանրադիտակի օգնությամբ հետազոտել խիրալ ՆՀԲ-ի պարույրի թռիչքաձև փոփոխությունը և ԽՀԲ քայլի թռիչքաձև փոփոխության սահմանին դիսկլինային արատների առաջացումը [13]: Նկ. 2.12-ում ցույց է տրված ներկանյութով հարստացրած վերը նշված առաջին և երկրորդ ԽՀԲ-ական խառնուրդների անդրադարձման սպեկտրները: Նկարից երևում է որ, համապատասխանաբար առաջին և երկրորդ խառնուրդների ընտրողաբար անդրադարձման տիրույթները գտնվում են ալիքի երկարությունների 500 նմ - 574 նմ և 550 նմ - 626 նմ տիրույթներում: Երկրորդ խառնուրդի ՖԱԳ-ը առաջինի նկատմամբ շեղված է դեպի երկարալիքային տիրույթ: Նկարից պարզ է դառնում, որ առաջին խառնուրդի ՖԱԳ-ը վերածածկվում է ներկանյութի կլանման տիրույթի հետ: Խառնուրդների պարույրների քայլերը ստացվել են 331 նմ և 361 նմ համապատասխանաբար առաջին և երկրորդ խառնուրդների համար: Մղման փնջի ազդեցությամբ ներկանյութով հարստացրած խիրալ ՆՀԲ-ի պարույրը փոփոխության է ենթարկվում, որը կարելի է նկատել բջջում անդրադարձման գույնի փոփոխությամբ: Անդրադարձման գույնի փոփոխությունը համապատասխանում է դեպի այդ գույնի տիրույթ, ընտրողաբար անդրադարձ-

ման տիրույթի շեղմանը: Նկ. 2.13 -ում ցույց է տրված մղման փնջի տարբեր հզորությունների ազդեցությամբ, ներկանյութով հարստացրած խիրալ ՆՀԲ-ական երկրորդ խառնուրդում կառուցվածքային փոփոխությունները: Նկարները արվել են մղման փնջի միացման պահից 15 վայրկյան անց: Մղման փնջի հզորությունները եղել են 96 մկՋ/իմպուլս,



Նկ.2.12. Ներկանյութով հարստացրած համապատասխանաբար առաջին և երկրորդ խիրալ ՆՀԲ-ական խառնուրդներով լցված նմուշների անդրադարձման սպեկտրները

144 մկՋ/իմպուլս, 192 մկՋ/իմպուլս, 288 մկՋ/իմպուլս համապատասխանաբար բերված է նկ. 2.13 ա, բ, գ, դ –ում: Նկարներից պարզ երևում է, մղման փնջի ազդեցությանը ենթարկված տիրույթում, խիրալ ՆՀԲ-ի պարույրի քայլի փոփոխությունը, որը դրսևորվում է այդ տիրույթի կարմիր գույնի երանգավորմամբ: Ինչպես տեսնում ենք պարույրի քայլի

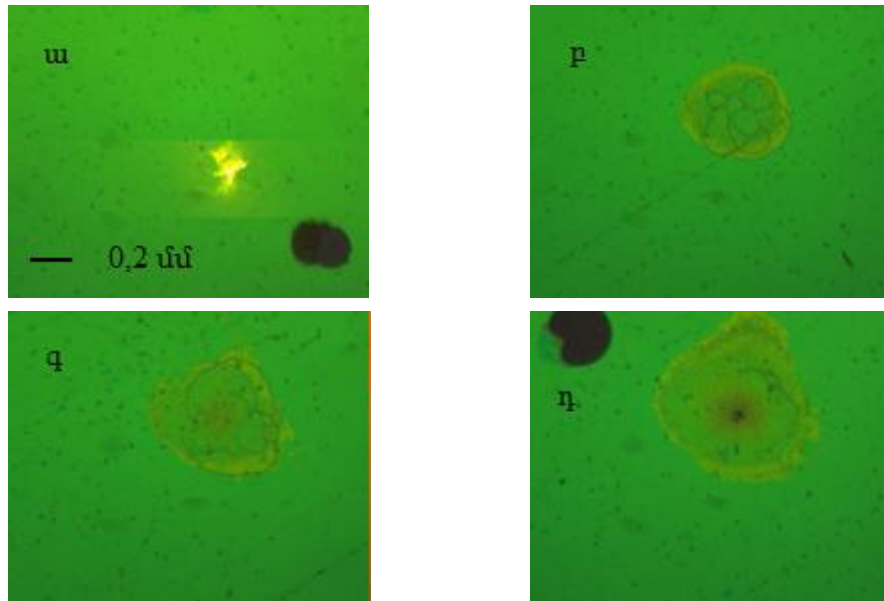


Նկ.2.13. Մղման փնջի ազդեցությամբ ներկանյութով հարստացրած խիրալ ՆՀԲ-ական երկրորդ խառնուրդում կառուցվածքային փոփոխությունները մղման փնջի 96 մկՋ/իմպուլս (ա), 144 մկՋ/իմպուլս (բ), 192 մկՋ/իմպուլս (գ), 288 կՋ/իմպուլս (դ) հզորությունների դեպքում

փոփոխության տիրույթը մեծանում է մղման լազերի փնջի հզորության մեծացմանը զուգընթաց:

Ներկանյութով հարստացրած խիրալ ՆՀԲ-ական կարճալիքային ՖԱԳ-ով խառնուրդի համար արդյունքները ներկայացված են նկ. 2.14-ում: Մղման լազերի հզորությունը չափումների ժամանակ եղել է 4 մկՋ/իմպուլս, 12 մկՋ/իմպուլս, 24 մկՋ/իմպուլս, 48 մկՋ/իմպուլս համապատասխանաբար նկարներ (ա), (բ), (գ), (դ) դեպքերում: Ինչպես երևում է նկ. 14 (ա)-ում, մղման փնջի հզորությունը չի բավականացնում ներկանյութով հարստացրած խիրալ ՆՀԲ-ի կառուցվածքում զգալի փոփոխություններ մտցնելու համար: Մղման փնջի հզորության հետագա մեծացումը հանգեցնում է ներկանյութով հարստացրած խիրալ ՆՀԲ-ում պարույրի քայլի փոփոխությանը և նոր, անդրադարձման տար-

բեր գույներով դոմենների առաջացման: Նկ. 14 (բ, գ, դ)-ում բացի պարույրի քայլի թռիչքաձև փոփոխությունից պարզ երևում են նաև խառնուրդում մղման փնջի ազդեցությամբ ձևավորված դիսկլինային արատները:



Նկ.2.14. Մղման փնջի ազդեցությամբ ներկանյութով հարստացրած խիրալ ՆՀԲ-ական առաջին խառնուրդում պարույրի թռիչքաձև փոփոխությունները և Կանո-Գրան-ժենյան արատները մղման փնջի 4 մկՋ/իմպուլս (ա), 12 մկՋ/իմպուլս (բ), 24 մկՋ/իմպուլս (գ), 48 մկՋ/իմպուլս (դ) մղման իմպուլսների էներգիաների դեպքում

Մղման լազերային փնջի էլեկտրական դաշտի ուղղակի ազդեցությամբ, խիրալ ՆՀԲ-ի մոլեկուլները վերակողմնորոշվում են, որը հանգեցնում է խիրալ ՆՀԲ-ի պարուրաձև կառուցվածքի ապապարուրման [118, 12]: Բավականին մեծ կառչման ուժերի ազդեցությամբ խիրալ ՆՀԲ-ի պարույրը ձևափոխվում է այնպես, որ խիրալ ՆՀԲ-ական բջջում տեղավորվեն միայն ամբողջ թվով պարույրի կես քայլեր: Սա հանգեցնում է խիրալ ՆՀԲ-ի պարույրի քայլի թռիչքաձև փոփոխության: Այս երևույթը դիտվել է ներկանյութով հարստացրած երկու խառնուրդներով նմուշների դեպքում: Նմանատիպ հետազոտություններ կատարվել է նաև առանց ներկանյութի խառնուրդներում, սակայն որևէ զգալի կառուցվածքային փոփոխություններ մաքուր խիրալ ՆՀԲ-ական խառնուրդներում չի գրանցվել: Նկ. 2.13(ա)-ում երևում է երկու կարմիր գունավորմամբ տիրույթներ, որոնցից մեկը

գոյացել է բջջի պատրաստման ընթացքում, իսկ մյուսը մղման փնջի ընկած տիրույթում: Առաջին խառնուրդով լցված բջջում, մղման փնջի 24 մկՋ/իմպուլս և 48 մկՋ/իմպուլս հզորությունների դեպքում, խիրալ ՆՀԲ-ի պարույրը ամբողջովին ապապարուրվում է, ինչը հանգեցնում է Կանո-Գրանժենի դիսկլինային արատների առաջացման:

2.7. Երկրորդ գլխի ամփոփումը

Ամփոփելով ատենախոսության երկրորդ գլուխն ասենք, որ մենք այստեղ փորձնականորեն ուսումնասիրեցինք լազերային ներկանյութով հարստացրած խիրալ ՆՀԲ-ային թաղանթում տարբեր տիպի՝ հարթ և ոչ հարթ արատների մակաձման և դրանց ու յուղանման շերտագծերի ղեկավարման հնարավորությունը: Ներկանյութով հարստացրած խիրալ ՆՀԲ-ում հիդրոդինամիկական հոսքերով մակաձվել է հարթ արատ և ուսումնասիրվել է այդ արատի և «Գրանժան-Կանոյի» տիպի դիսկլինային գծերի վարքը:

Այս գլխում մենք ցույց ենք տվել, որ ներկանյութով հարստացրած խիրալ ՆՀԲ-ական ՖԿ-ում լազերային ճառագայթամաբ կարելի է մակաձել արատ և «Գրանժան-Կանոյի» տիպի դիսկլինային գծեր: Փորձարարական ճանապարհով ուսումնասիրվել է դրանց առաջացման, զարգացման և անհետացման դինամիկան:

ԳԼՈՒԽ 3. ՀԻՂՐՈՂԻՆԱՄԻԿԱԿԱՆ ՀՈՍՔԵՐՈՎ ՄԱԿԱԾՎԱԾ ՀԱՐԹ ԱՐԱՏՈՎ ՆԵՐԿԱ- ՆՅՈՒԹՈՎ ՀԱՐՍՏԱՑՐԱԾ ՀԵՂՈՒԿ ԲՅՈՒՐԵՂԱՅԻՆ ՖՈՏՈՆԱՅԻՆ ԿԱՌՈՒՑՎԱԾՔՆԵՐՈՒՄ ԼԱՋԵՐԱՅԻՆ ՃԱՌԱԳԱՅԹՄԱՆ ԳԵՆԵՐԱՑԻԱՅԻ ՓՈՐՁԱՐԱՐԱԿԱՆ ՀԵՏԱԶՈՏՈՒՄԸ

3.1. Ներածություն

Ինչպես արդեն ասվել է ՀԲՖԿ-ներն օժտված են առանձնահատուկ օպտիկական հատկություններով, որոնք կարող են լուրջ կիրառություններ գտնել դյուրին ղեկավարվող միկրոլազերային տեխնոլոգիաներում: Մոլեկուլների խիրալության շնորհիվ խիրալ ՆՀԲ-ի մոլեկուլները, ձևավորում են տարածապարբերական պարուրած կառուցվածք, որի պարբերությունը համեմատելի է տեսանելի լույսի ալիքի երկարության հետ: Հաշվի առնելով նաև այն փաստը, որ հեղուկ բյուրեղական փուլում առկա է մեծ օպտիկական անիզոտրոպություն, այդ պատճառով խիրալ ՆՀԲ-ներն օժտված են լույսի ընտրողաբար անդրադարձման հատկությամբ: Փաստորեն այս հատկության շնորհիվ է, որ խիրալ ՆՀԲ-ները համարում են միաչափ ՖԲ-ներ, իսկ լույսի ընտրողաբար անդրադարձման տիրույթն ըստ էության նույնն է, ինչ որ ՖԱԳ-ը: Մի շարք աշխատանքներում, ինչպես նշել ենք, ցույց է տրվել, որ ներկանյութով հարստացրած ՀԲՖԿ-ներում, դրանց ՖԱԳ-ի եզրերում, կարելի է ստանալ անհայելի լազերային ճառագայթում, եթե ներկանյութի ֆլուորեսցենցիայի սպեկտրն իր մեջ ամբողջովին կամ մասամբ ընդգրկում է ՖԱԳ-ը [51, 119, 120]: Տարբեր արտաքին ազդեցություններով (ջերմաստիճանի փոփոխությամբ, էլեկտրական կամ մագնիսական դաշտերով, մեխանիկական դեֆորմացիաներով և այլն) ՖԱԳ-ի սպեկտրային դիրքի և լայնության փոփոխման միջոցով, ներկանյութով հարստացրած հեղուկ բյուրեղական ֆոտոնային կառուցվածքներում լազերային ճառագայթման ղեկավարումը հետազոտվել է [121, 57, 122, 55, 123, 124] աշխատանքներում: Ներկանյութով հարստացրած ՀԲՖԿ-ներում բազմալիքային ճառագայթման ստացումը նույնպես հնարավոր է, այն փաստի շնորհիվ, որ խիրալ ՆՀԲ-ի ընտրողաբար անդրադարձման տիրույթի սպեկտրային դիրքը և լայնությունը կախված է խառնուրդի բաղադրիչների քիմիական կառուցվածքից, խիրալ

ՆՀԲ-ին տրված սահմանային պայմաններից և արտաքին ազդեցություններից: Մասնավորապես, խիրալ ՆՀԲ-ի օպտիկական հատկությունները փոփոխվում են, երբ նրա պարուրածն կառուցվածքը դեֆորմացվում է, անկախ այն առաջացնող պատճառների: Բազմաթիվ տեսական և փորձնական աշխատանքներ են իրականացվել հիդրոդինամիկական հոսքով խիրալ ՆՀԲ-ական կառուցվածքներում արատների մակածման և դրանց ուսումնասիրման շուրջ, որոնց արդեն անդրադարձել ենք առաջին գլխում: Ներկանյութով հարստացրած լազերները սակայն ունեն որոշ սահմանափակումներ, որոնցից են մղման փնջի ազդեցությամբ ներկանյութի մոլեկուլների դեգրադացիան, կամ մղման փնջի ազդեցությամբ հեղուկ բյուրեղի մոլեկուլների վերադասավորումը [34, 114]: Վերջինիս պատճառ կարող է հանդիսանալ, մասնավորապես, լոկալ տաքացումը, որը հանգեցնում է խառնուրդում հոսքի առաջացման, կամ մղման փնջի օպտիկական դաշտը [114]: Այս ազդեցություններից խուսափելու նպատակով, [125] աշխատանքում հեղինակները նմուշը տեղադրել են պտտվող մեխանիզմի վրա, նպատակ ունենալով անընդհատ փոխել ՀԲՖԿ-ի լազերով գրգռվող տիրույթը:

Թեև այսօր դժվար է պատկերացնել հզոր լազերային ճառագայթման գեներացումը բարակ ճկուն (elastic) թաղանթներում, որը միանգամից գրավում է լազերային տեխնոլոգիաներով զբաղվողների ուշադրությունը, այնուամենայնիվ բարակ թաղանթային լազերային ճկուն համակարգերը ունեն ոչ պակաս կարևորություն: Ավելին, եթե հաշվի առնենք այդ համակարգերի կարևորությունը պաշտպանական համակարգերում կիրառման տեսանկյունից, ապա դժվար է թերագնահատել այն: Այստեղ, թեթևակի ակնարկված նպատակների համար, չափազանց կարևոր է «խելոք» միջավայրերի ստեղծումն ու ուսումնասիրումը: Այնպես, որ ներկանյութով հարստացրած խիրալ ՆՀԲ-ական լազերների հզորությունը հաստատուն պահելու համար կարևոր է նոր եղանակների փնտրտուքն ու ուսումնասիրումը, ինչպես նաև եղած տեխնոլոգիաների զարգացումը:

Ատենախոսության այս գլխում, լազերային ներկանյութով հարստացրած խիրալ ՆՀԲ-ի պարույրի առանցքին ուղղահայաց ուղղությամբ հիդրոդինամիկական հոսք կիրա-

ռելով, մենք փորձել ենք դրանում մակաձել հարթ արատ և, փոխելով հիդրոդինամիկական հոսքի արագությունը, փորձել ենք կառավարել լազերային ճառագայթման գեներացիան:

Պարզվում է, որ վերը նշվածը թույլ է տալիս կառավարել լազերային ճառագայթման ալիքի երկարությունը նանոմետրերի ճշտությամբ, ինչպես նաև թույլ է տալիս ստանալ բազմալիքային լազերային ճառագայթում: Կներկայացնենք նաև ներկանյութով հարստացրած ՀԲՖԿ-ում հիդրոդինամիկական հոսքի արագության ազդեցությունը դրանում գեներացվող լազերային ճառագայթման վրա:

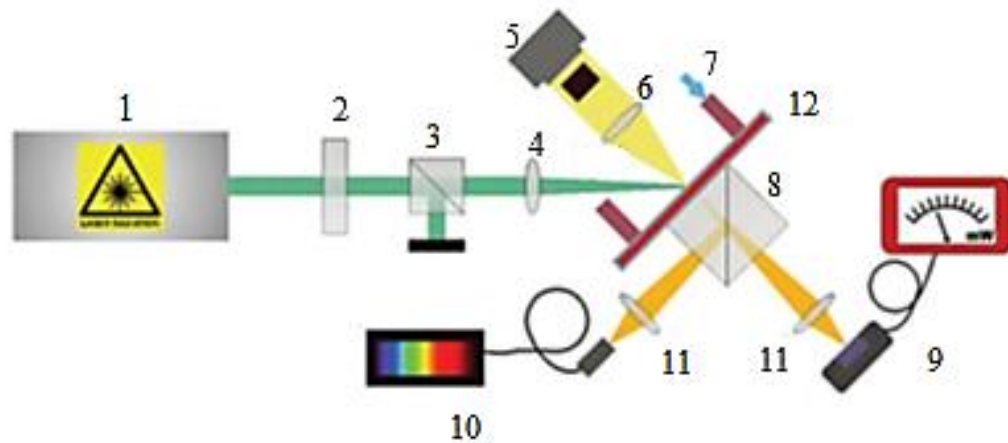
3.2. Հիդրոդինամիկական հոսքերով ներկանյութով հարստացրած խիրալ հեղուկ բյուրեղում լազերային ճառագայթման ուսումնասիրման համար փորձարարական սարքավորման նկարագրությունը

Հիդրոդինամիկական հոսքերով մակաձված հարթ արատով ներկանյութով հարստացրած ՀԲՖԿ-ներում լազերային ճառագայթման գեներացիայի փորձարարական հետազոտման նպատակով մշակվել և պատրաստվել է գլանաձև անոթներով «սենդվիչ» բջիջ: Բջջի պատրաստման համար օգտագործված նյութերն ու պատրաստման տեխնոլոգիան ներկայացված է երկրորդ գլխի 2.2 պարագրաֆում: Նշենք, որ լազերային ճառագայթման ուսումնասիրման համար մենք 2.2-ում նկարագրված երկու խառնուրդներն էլ օգտագործել ենք: Դրանք երկուսն էլ Pyrromethene 597 (PM597, Exciton) ներկանյութով հարստացրած խիրալ ՀԲՖԿ-ներ են, որոնք տարբերվում են բաղադրիչների տոկոսային հարաբերություններով: Որպես ՆՀԲ ծառայել է Merck ֆիրմայի E7 ՀԲ-ն, իսկ որպես խիրալ հավելում կրկին Merck ֆիրմայի BDH1305 միացությունը: Պայմանականորեն, առաջին խառնուրդը բաղկացած է եղել 92,9% նեմատիկից, 6% խիրալ հավելումից և 1,1% ներկանյութից, երկրորդը՝ 93,8% նեմատիկից, 5,2% խիրալ հավելումից և 1% ներկանյութից (հարաբերակցությունները բերված է ըստ կշիռների): Բերված բաղադրամասերով առաջին լուծույթի կլանման տիրույթը, որը չափվել է 0,2 – 0,5 նմ ճշտությամբ Q Wave սպեկտրոֆոտոմետրով, ընկած է ալիքի երկարությունների մոտավորապես 450 նմ ÷ 560 նմ սպեկտրային տիրույթում, իսկ ֆլուորեսցենցիայի սպեկտրային տիրույթը, որը չափվել է

նույն սպեկտրոմետրով, ընկած է ալիքի երկարությունների մոտավորապես 550 նմ ÷ 650 նմ միջակայքում:

Ներկանյութով հարստացրած ՀԲՖԿ-ում լազերային ճառագայթման հետազոտությունների համար նախապատրաստված փորձարարական սարքի գծապատկերն ուրվագծորեն ներկայացված է 3.1 նկարում [11]: Ներկանյութով հարստացրած խիրալ ՆՀԲ-ի օպտիկական մղման համար օգտագործվել է 532 նմ ալիքի երկարություն ունեցող, 300 պիկովայրկյան իմպուլսների տևողությամբ (Team photonics) ֆիրմայի (Powerchip PNG-MO2010) Nd:YAG իմպուլսային (1) լազերի երկրորդ հարմոնիկը: Մղման լազերի իմպուլսների կրկնման հաճախությունը կարելի էր փոփոխել 10 Հց-ից մինչև 1000 Հց: Փորձի նպատակներից ելնելով, մենք օգտագործել ենք իմպուլսների կրկնման 10 Հց և 1000 Հց հաճախությունները: Դա հիմնականում պայմանավորված է եղել ՀԲՖԿ-ում ռելաքսային (relaxation) գործնթացներով և անհրաժեշտության դեպքում մղման միջին մեծ հզորություններ կիրառելու անհրաժեշտությունով:

Մղման փնջի միջին հզորությունը անընդհատ հսկելու և ղեկավարելու նպատակով օգտագործվել է $\lambda/2$ ալիքային թիթեղը (2) և փնջի բևեռացումային բաժանարարը (3), որի միջոցով մղման փունջն ուղղվում է հզորաչափի վրա (տես նկ. 3.1-ը): Այնուհետև մղման փունջը, 75 մմ կիզակետային հեռավորություն ունեցող (4) ոսպնյակի միջոցով, կիզակետվել է (12) նմուշի վրա, դրա նորմալի նկատմամբ 45° անկյան տակ: Մղման փնջի համապատասխան հզորության դեպքում ներկանյութով հարստացրած ՀԲՖԿ-ում ծագում է լազերային ճառագայթում, որի փնջերը տարածվում են ՀԲՖԿ-ի թաղանթի նորմալի ուղղությամբ (բջջում խիրալ ՆՀԲ-ի պարույրի առանցքի ուղղությամբ): Ներկանյութային լազերի ճառագայթման հետազոտման նպատակով, բջջի մի կողմից դուրս եկած ելքային փնջերից մեկի դիմաց տեղադրվել է 50%-անոց (8) բաժանարարը, որը փունջը բաժանել է երկու հավասար մասերի: Փնջի մի մասը 35 մմ կիզակետային հեռավորություն ունեցող (11) ոսպնյակի միջոցով կիզակետվել է մանրաթելային (Q-Wave) տիպի (10) սպեկտրոմետրի վրա, իսկ մյուս մասը նմանատիպ մեկ այլ ոսպնյակով կիզակետվել է Newport 1936-C տիպի օպտիկական (9) հզորաչափի վրա: Բջջի մյուս կողմում, դրա նորմալի ուղղու-



Նկ. 3.1. Հիդրոդինամիկական հոսքերով մակածված հարթ արատով ներկանյութով հարստացրած հեղուկ բյուրեղային ֆոտոնային կառուցվածքներում լազերային ճառագայթման հետազոտման փորձարարական սխեման: 1) Իմպուլսային լազեր, 2) $\lambda/2$ ալիքային թիթեղ, 3) փնջի բևեռացումային բաժանարար, 4) 75մմ ֆոկուսային հեռավորությամբ ոսպնյակ, 5) CCD տեսախցիկ, 6) միկրոսկոպի օբյեկտիվ, 7) օդի մղման ուղղությունը, 8) փնջի բաժանարար, 9) օպտիկական հզորաչափ, 10) սպեկտրոմետր, 11) 35մմ ֆոկուսային հեռավորությամբ ոսպնյակ, 12) նմուշ

թյամբ, տեղադրվել է մանրադիտակային (6) օբյեկտիվով «զինված» Tucsen CCD տեսախցիկը (5), որի միջոցով հետազոտվել է խիրալ ՆՀԲ-ական բջջում լազերով մակածված կառուցվածքային փոփոխությունները:

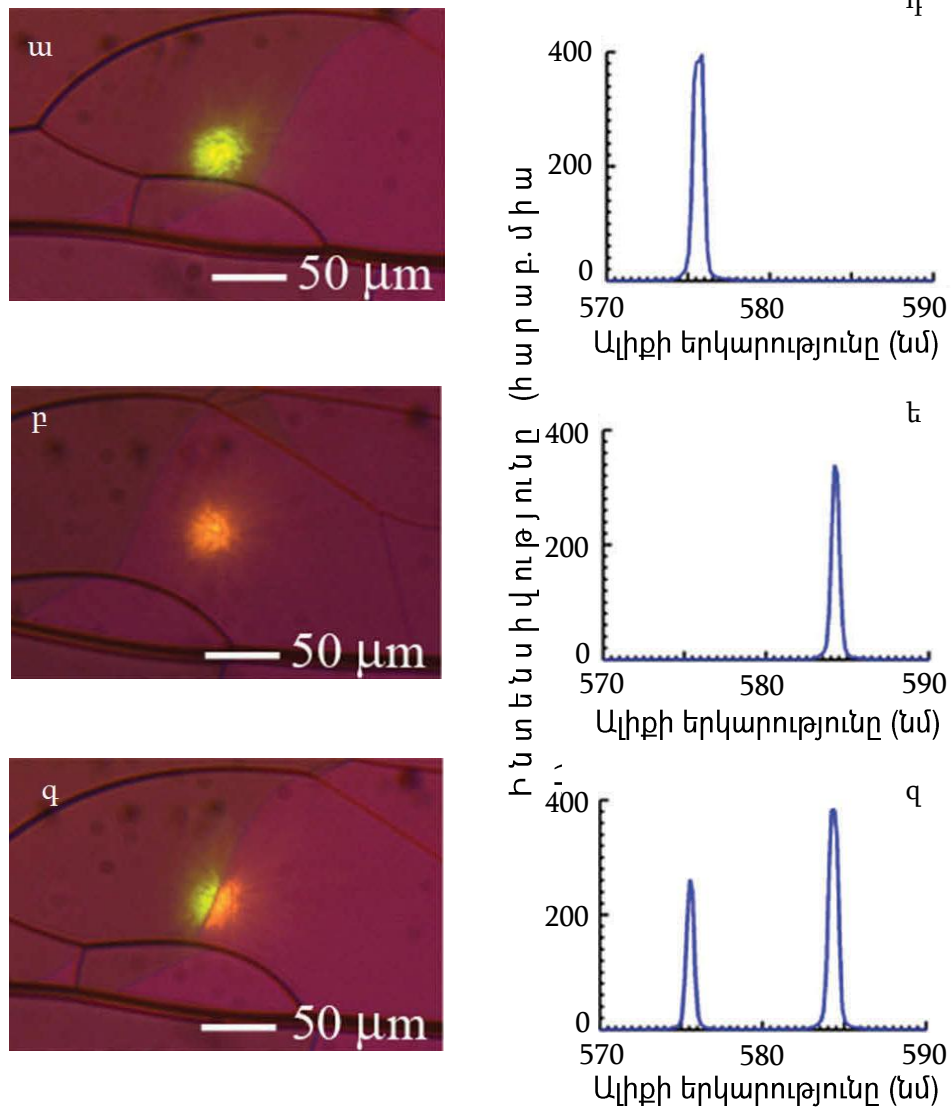
3.3. Լազերային ճառագայթման գեներացիայի փորձարարական հետազոտումը հիդրոդինամիկական հոսքերով մակածված հարթ արատով ներկանյութով հարստացրած խիրալ հեղուկ բյուրեղում

Հիդրոդինամիկական հոսքերով մակածված հարթ արատով ներկանյութով հարստացրած ՀԲՖԿ-ներում լազերային ճառագայթումը հետազոտելու նպատակով խիրալ ՆՀԲ-ի ներկանյութային խառնուրդը լցվել է 2.3 պարագրաֆում նկարագրված բջջի գլանաձև անոթներից մեկի մեջ: Կապիլյար ուժերի և գլանաձև անոթներում խառնուրդների մակարդակների միջև տարբերության շնորհիվ խիրալ ՆՀԲ-ի ներկանյութային խառնուրդը գլաններից մեկից ապակիների միջև ձևավորված մազանոթով հոսում է դեպի մյուս

գլանաձև անոթը: Քանի որ բջջի տակդիրները նախապես մշակվել են խառնուրդի ՀԲ-ական մոլեկուլներին պլանար կողմնորոշում հաղորդելու համար, ուստի ներկանյութով հարստացրած խիրալ ՆՀԲ-ում ձևավորվում է պարուրաձև կառուցվածք, որի պարույրի առանցքն ուղղահայաց է ապակե տակդիրների հարթությանը: Բջջի տակդիրների ոչ իդեալական զուգահեռության, ՀԲ-ական մոլեկուլների և տակդիրների միջև կառչման ուժերի անհամասեռության, ինչպես նաև խառնուրդի հիդրոդինամիկական հոսքի արագության գրադիենտների հետևանքով, բջջում ձևավորվում է բազմադոմեն կառուցվածք: Փորձում CCD տեսախցիկով արված լուսանկարներում, որ բերված է Նկ. 3.2-ում, հստակ երևում է, որ երկու հարևան դոմեններն ունեն անդրադարձման տարբեր գունավորումներ, այսինքն խիրալ ՆՀԲ-ի պարույրի քայլի տարբեր արժեքներ [11]:

Nd:YAG լազերի մղման փունջը միացնելով կարելի է տեսնել նաև, որ տարբեր դոմենների կողմից գեներացված լազերային ճառագայթման գույներն ունեն տարբեր երանգներ՝ այսինքն դոմեններից լազերային գեներացիա ստացվում է լույսի տարբեր ալիքի երկարությունների համար (տես նկ. 3.2 ա-ն և բ-ն): Խիրալ ՆՀԲ-ի ներկանյութային խառնուրդում ձևավորված դոմենների դիրքը բջջում կարելի է տեղաշարժել բջջի գլանաձև անոթներից մեկում օդի մղմամբ լրացուցիչ ճնշում ստեղծելով: Մղման փնջի դիրքը թողնելով անփոփոխ, հիդրոդինամիկական հոսք կիրառելով մենք տեղաշարժել ենք դոմենները: Փորձը ճշտադրել ենք այնպես, որ հիդրոդինամիկական հոսքի բացակայության ժամանակ մղման փունջն ընկնի միայն մեկ՝ պայմանականորեն առաջին դոմենի վրա (նկ. 3.2 ա): Այնուհետև նույն ձևով մղման փունջն ուղղվում է հարևան՝ պայմանականորեն երկրորդ դոմենի վրա (նկ. 3.2 բ): Հաջորդիվ դոմենները տեղաշարժելով բերել ենք այնպիսի դիրքի, որ մղման փունջն ընկնի երկու դոմենների հատման տիրույթի վրա (յուլանման շերտագծերի վրա), այնպես որ լազերային ճառագայթում ստացվի երկու հարևան դոմեններից միաժամանակ (նկ. 3.2 գ):

Նկ. 3.2-ի դ, ե, գ գրաֆիկներով պատկերված է լազերային ճառագայթման սպեկտրները, որոնք համապատասխանում են նույն նկարի ա, բ, գ-ում բերված դոմենային տիրույթներին: Դոմենային տիրույթներում գեներացված լազերային ճառա-



Նկ. 3.2. Հիդրոդինամիկական հոսքերով մակածված պլանար արատով ներկանյութով հարստացրած խիրալ ՆՀԲ-ական բջջի կառուցվածքը մղման փնջի ազդեցությամբ, դրանից ստացվող լազերային ճառագայթումը (ա, բ, գ) և ներկանյութային լազերային ճառագայթման սպեկտրը (դ, ե, զ)

գայթման գագաթնակետերը ստացվում են ա դեպքում մոտավորապես 575,5 նմ և բ դեպքում մոտավորապես 584,3 նմ ալիքի երկարությամբ, համապատասխանաբար առաջին և երկրորդ դոմեններից: Նկ. 3.2 ա, բ և գ-ում մուգ գունավորմամբ երևում են յուղանման շերտագծերը (oily streak), որոնք հատկանշական են խիրալ ՆՀԲ-ների համար և առաջանում են խառնուրդը իզոտրոպ վիճակից սառեցման ժամանակ կամ բջջում արտա-

քին ազդեցություններ կիրառելիս: Ընդհանրապես յուղանման շերտագծերն ունեն բարդ կառուցվածք և նրանցից չի ստացվում լազերային ճառագայթում [96, 98] (հավանաբար մեծ ցրումների պատճառով):

Երկու հարևան դոմեններից տարբեր ալիքի երկարությամբ լազերային ճառագայթում ստացվել է Կանո-Գրանժենյան դիսկլինային գծերով սեպածն բջջում [126] և ներկանյութով հարստացրած խիրալ ՆՀԲ-ական բջջում, որտեղ եղել է խիրալ հավելման կամ նանոմասնիկների գերբնակեցվածություն, երբ դրանք ձևավորում են խմբավորումներ, այսինքն խախտվում է դրանց համասեռ բաշխումը [124, 127]:

Մենք տեսնում ենք, որ ինչպես [57, 59, 69, 81, 119 և այլն] աշխատանքներում, այնպես էլ մեր դեպքում [11], նմուշից լազերային ճառագայթումն առաջանում է ներկանյութով հարստացրած խիրալ ՆՀԲ-ի ֆոտոնային արգելված գոտու երկարալիքային սահմանի մոտակայքում (տես նկ. 2.8-ը): Հայտնի է, որ լազերային ճառագայթման ալիքի երկարության կախվածությունը հեղուկ բյուրեղի պարույրի քայլից տրվում է $\lambda = n_s p$ հավասարումով: Այս հավասարումից ելնելով կարելի է որոշել, արդյո՞ք հարևան դոմենների միջև կա պարույրի կես քայլի տարբերություն, թե՞ ոչ: Դժվար չէ տեսնել, որ խիրալ ՆՀԲ-ի պարույրների քայլերի տարբերությունը երկու հարևան դոմենների համար կարելի է ներկայացնել հետևյալ կերպ $\Delta N = N_2 - N_1 = n_s d / \lambda_2 - n_s d / \lambda_1$: Չափումների ընթացքում դոմեններից գրանցված լազերային ճառագայթման ալիքների երկարությունների համար, հաշվի առնելով նաև, որ մեր կողմից օգտագործված ՀԲՖԿ-ի համար $n_s \approx 1,75$, բջջի հաստությունը՝ $d = 10$ նմ, իսկ $\lambda_1 = 575,5$ նմ և $\lambda_2 = 584,5$ նմ ստանում ենք, որ հարևան դոմենների միջև խիրալ ՆՀԲ-ի պարույրների քայլերի տարբերությունը՝ $\Delta N \approx 0,5$:

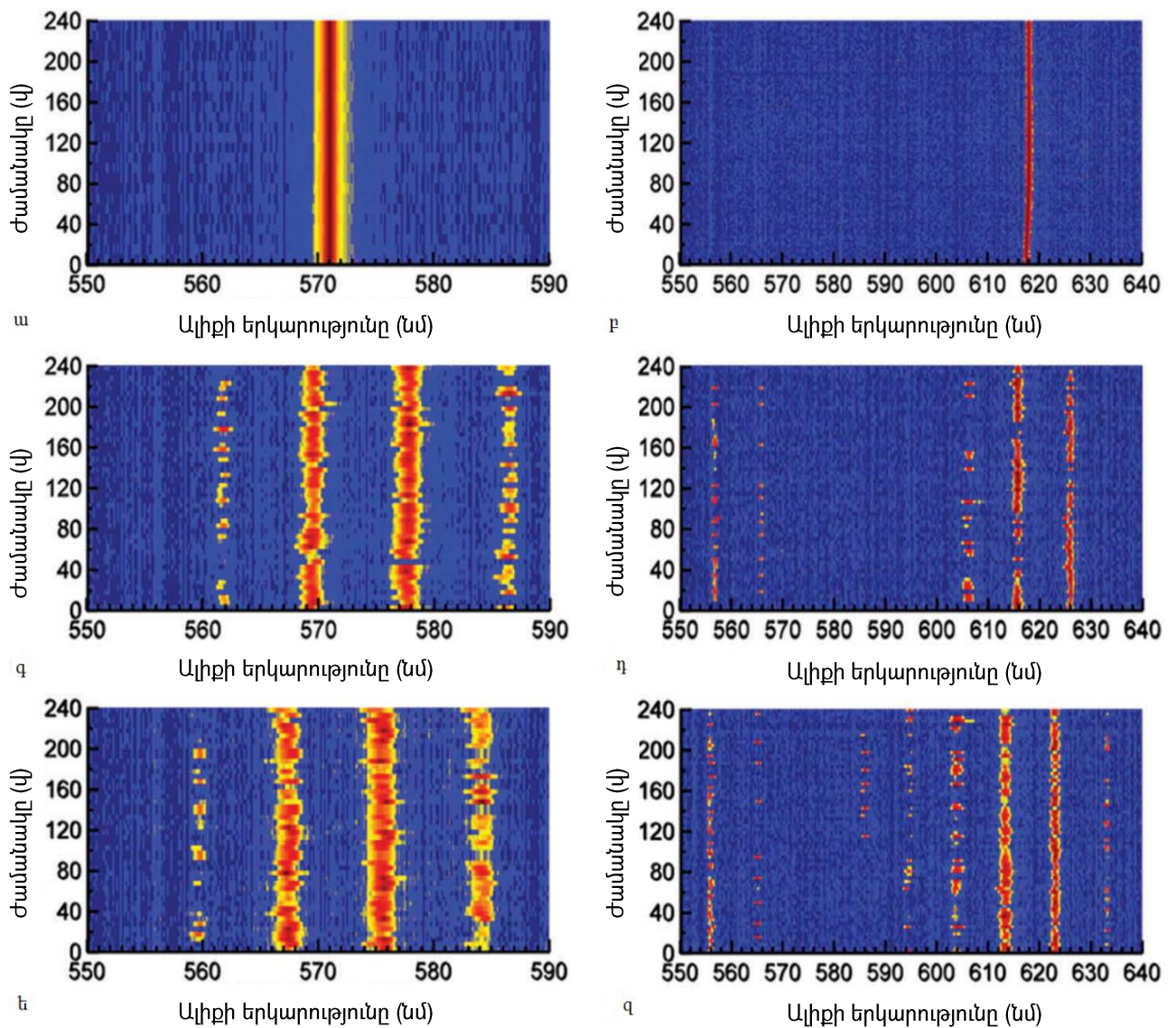
Հայտնի է, որ դժվար է խիրալ ՆՀԲ-ական թաղանթի բավականաչափ մեծ տիրույթում ստանալ միադոմեն կառուցվածք, առանց շատ արագ սառեցման կամ դանդաղ հովվացման կիրառման [128]: Այդ պատճառով զարմանալի չէ խիրալ ՆՀԲ-ական բջջում ստանալ բազմադոմեն կառուցվածք, քանի որ այս փորձում բջջի պատրաստման հատուկ եղանակներ չեն կիրառվել, այլ խառնուրդը հոսելով մի անոթից մյուսի մեջ ձևավորվել է ներկանյութով հարստացրած խիրալ ՆՀԲ-ական բջիջ:

3.4. Լազերային ճառագայթման գեներացիայի ժամանակային էվոլյուցիան հիդրոդինամիկական հոսքերով մակածված հարթ արատով ներկանյութով հարստացրած խիրալ հեղուկ բյուրեղում

Փորձնականորեն հետազոտվել է ներկանյութով հարստացրած խիրալ ՆՀԲ-ական բջջում հիդրոդինամիկական հոսքի ազդեցությունը լազերային ճառագայթման բնութագրերի վրա: Ուսումնասիրվել է գեներացիայի ալիքի երկարության կախումը հիդրոդինամիկական հոսքի միջին արագությունից, բազմալիքային գեներացիայի առաջացումն ու դրա ժամանակային էվոլյուցիան [11]:

Բջջում ներկանյութով հարստացրած խիրալ ՆՀԲ-ի հիդրոդինամիկական հոսքի արագությունը կառավարվել է դրա գլանաձև անոթներից մեկում օդի մղմամբ տարբեր լրացուցիչ ճնշումներ ստեղծելով: Հետազոտության համար պատրաստված 10 նմ հաստությամբ երկու բջիջներ լցվել են նախկինում նշված առաջին և երկրորդ խառնուրդներով: Ներկանյութի գրգռման համար մղումն իրականացվել է Nd:YAG իմպուլսային լազերի երկրորդ հարմոնիկով, որի իմպուլսի էներգիան եղել է 10 մկՋ/իմպուլս, իսկ կրկնման հաճախությունը՝ 10 Հց: 3.3 նկարում ցույց է տրված, թե ինչպես է ներկանյութով հարստացրած ՀԲՖԿ-ում գեներացվող լազերային ճառագայթումը փոփոխվում 240 վրկ ժամանակահատվածում, հիդրոդինամիկական հոսքի 0,08 մմ/վրկ և 0,3 մմ/վրկ արագությունների համար: Մեր ուսումնասիրությունները ցույց են տվել, որ ճնշումների տարբերություն ստեղծելիս, հիդրոդինամիկական հոսքերը բջջում կայունանում են մոտավորապես 30÷40 վ-ում: Ուստի այս փորձերում չափումներն իրականացվել են ճնշումների տարբերություն կիրառելու պահից մոտավորապես 1 րոպե անց, որպեսզի բջջում հիդրոդինամիկական հոսքի միջին արագությունը կարելի լինի համարել հաստատված:

Հիդրոդինամիկական հոսքի բացակայության դեպքում (երբ անոթներում լրացուցիչ ճնշումը բացակայում է) ուսումնասիրվող ՀԲՖԿ-ային համակարգում լազերային ճառագայթումը ստացվում է մոտավորապես 572 նմ և 617 նմ ալիքի երկարությունների համար, համապատասխանաբար առաջին և երկրորդ խառնուրդներով լցված բջիջներում (Նկ. 3.3 (ա, բ)):



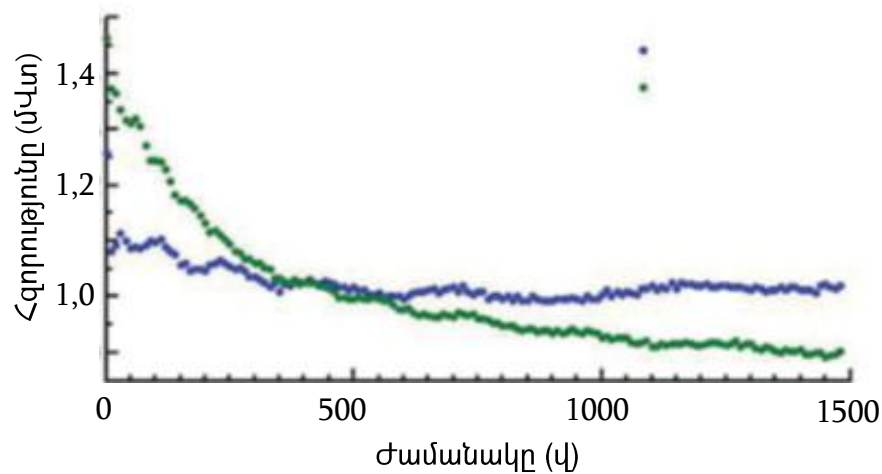
Նկ. 3.3. Ներկանյութով հարստացրած ՀԲՖԿ-ում լազերային ճառագայթման սպեկտրի ժամանակային էվոլյուցիան 240 վ-ի ընթացքում, հիդրոդինամիկական հոսքի տարբեր արագությունների դեպքում: Բջջի հաստությունը 10 մկմ է: ա, գ, ե դեպքում բջիջը լցված է առաջին խառնուրդով, բ, դ, զ դեպքում՝ երկրորդ խառնուրդով: Հիդրոդինամիկական հոսքի արագություններն են՝ 0 մմ/վ (ա, բ) դեպքերում, 0,08 մմ/վ (գ, դ) դեպքերում և 0,3 մմ/վ (ե, զ) դեպքերում

Հիդրոդինամիկական հոսքի միջին արագությունը մեծացնելիս կարելի է նկատել, որ սկզբնական լազերային ճառագայթման գագաթնակետը տեղաշարժվում է դեպի կարճալիքային տիրույթ և առաջանում են լազերային ճառագայթման նոր գագաթներ:

Լազերային ճառագայթման սկզբնական գազաթնակետի տեղաշարժ դեպի կարճալիքային տիրույթ կարելի է նկատել նաև հիդրոդինամիկական հոսքի արագության 0,03 մմ/վ արժեքի դեպքում, ինչը սակայն չի ցուցադրված նկարում: Փորձերը ցույց են տալիս, որ 10 մկմ հաստությամբ ներկանյութով հարստացրած ՀԲՖԿ-ով բջջում լազերային ճառագայթման սկզբնական գազաթնակետի սպեկտրային դիրքը կարելի է ղեկավարել հոսքի արագությունը մեծացնելով 0-ից մինչև 0,3 մմ/վրկ: Այդ դեպքում լազերային ճառագայթման գազաթնակետի դիրքը տեղաշարժվում է մոտ 4 նմ-ով:

Նկ. 3.3-ում երևում է, որ հիդրոդինամիկական հոսքի արագությունը մեծացնելիս առաջանում են լազերային ճառագայթման նոր գազաթներ: Երկու հարևան գազաթնակետերի միջև հեռավորությունը կազմում է 8,6 նմ (ինչը երևում էր նաև նկ. 3.3-ում) և 10 նմ համապատասխանաբար առաջին և երկրորդ խառնուրդների համար: Հիդրոդինամիկական հոսքի առավելագույն արագության դեպքում առաջին խառնուրդով լցված նմուշից ընդհանուր առմամբ մենք դիտել ենք լազերային ճառագայթման 4 գազաթներ, իսկ երկրորդ խառնուրդով լցված նմուշից լազերային ճառագայթման 8 գազաթներ: Նկ. 3.3-ում բերված է երկու խառնուրդներով լցված նմուշներից տարբեր ալիքի երկարությունների վրա գեներացված լազերային ճառագայթման ժամանակային էվոլյուցիան (կարմիր գունավորմամբ կետերը համապատասխանում են այդ ալիքի երկարության վրա լազերային գեներացիայի մեծ ինտենսիվությանը, դեղին կետերը հակառակը՝ փոքր ինտենսիվությանը, կապույտ երանգավորմամբ տիրույթները համապատասխանում են լազերային գեներացիայի բացակայությանը):

Հիդրոդինամիկական հոսքերի առկայությամբ ներկանյութով հարստացրած ՀԲՖԿ-ում բազմաալիքային ճառագայթման առաջացումը ցույց է տալիս, որ խիրալ ՆՀԲ-ական կառուցվածքներում հիդրոդինամիկական հոսքի առկայությունը հանգեցնում է տարբեր դոմենների առաջացման, որոնք միմյանցից տարբերվում են հեղուկ բյուրեղի պարույրի կես քայլով:

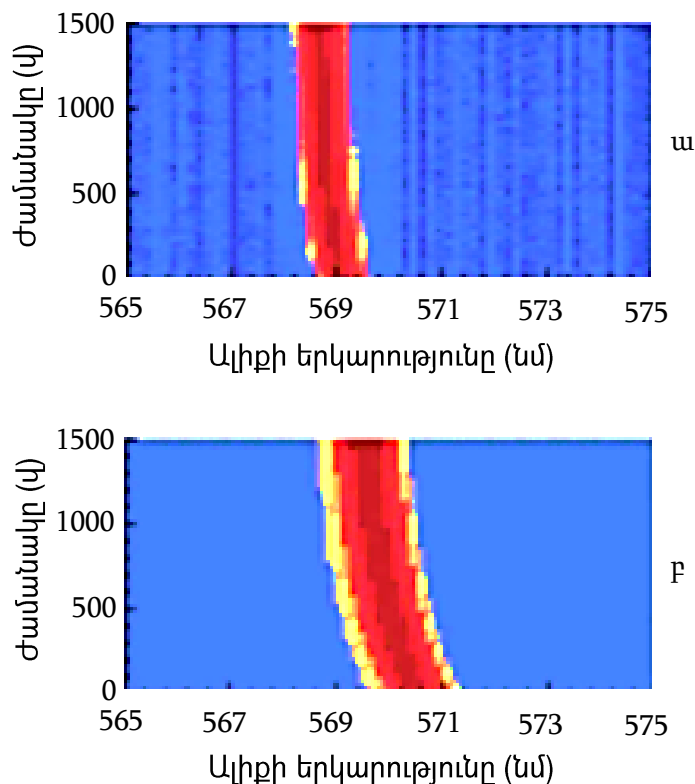


Նկ. 3.4. ՀՔՖԿ-ից լազերային ճառագայթման միջին հզորության կախումը ժամանակից: Կանաչ կորը համապատասխանում է հիդրոդինամիկական հոսքի բացակայության դեպքին, կապույտը՝ 0,001 մմ/վ արագության դեպքին

Նկ. 3.4-ում ցույց է տրված առաջին խառնուրդով լցված երկու նմանատիպ բջիջներում ներկանյութով հարստացրած ՀՔՖԿ-ից լազերային ճառագայթման հզորության կախումը ժամանակից հիդրոդինամիկական հոսքի բացակայության և հիդրոդինամիկական հոսքի միջին արագության 0,001 մմ/վրկ արժեքի դեպքում:

Ներկանյութով հարստացրած ՀՔՖԿ-ի օպտիկական մղման համար օգտագործվել է 25 մկՋ իմպուլսների էներգիայով և 1 կՀց հաճախությամբ իմպուլսային լազեր, որի միջին հզորությունը չափումների ընթացքում եղել է 25 մՎտ: Ներկանյութով հարստացրած խիրալ ՆՀԲ-ական կառուցվածքներից լազերային ճառագայթման հզորության և լազերային ճառագայթման սպեկտրի կախումը ժամանակից, մղման փնջի միացման պահից հաշված 1500 վ-ի ընթացքում, որից հետո էական փոփոխություններ չեն նկատվում, բերված է համապատասխանաբար 3.4 և 3.5 ա, բ նկարներում: Չափումների ժամանակ մղման փնջի դիրքը բջջի նկատմամբ ճշտադրվել է այնպես, որ այն ամբողջովին տեղավորվի չափերով փունջը զգալիորեն գերազանցող մեկ դոմենի մեջ՝ չափումների ընթացքում ՀՔՖԿ-ում բազմալիքային ճառագայթման գեներացիայից խուսափելու նպատակով:

Նկ. 3.4-ից երևում է լավ հայտնի երևույթը, երբ ներկանյութով հարստացրած ՀԲՖԿ-ից լազերային ճառագայթման հզորությունը ժամանակի ընթացքում սկսում է ընկնել, տևական ժամանակ մղման փնջի ազդեցությանը ենթարկվելիս: Դա սովորաբար բացատրվում է ներկանյութի մոլեկուլների դեգրադացիայով և ՀԲ-ում ֆոտոքիմիական ռեակցիաներով: Ատենախոսության թեմայի շրջանակներում մենք նման երևույթների հետազոտման նպատակ չենք հետապնդել, սակայն նշենք, որ նման երևույթները ներկա-



Նկ. 3.5. Ներկանյութով հարստացրած ՀԲՖԿ-ում լազերային ճառագայթման գեներացիայի սպեկտրի փոփոխությունը ժամանակի ընթացքում՝ ա-ն հոսքի առկայության և բ-ն դրա բացակայության դեպքում

նյութային լազերներում մեղմվում են ներկանյութային լուծույթի ստիպողական շրջապատուտով, անընդհատ «թարմացնելով» մղման փնջի ներգործությանը ենթարկվող տիրույթը:

Հիդրոդինամիկական հոսքի բացակայության դեպքում ներկանյութով հարստացրած խիրալ ՆՀԲ-ական կառուցվածքից ստացվող լազերային ճառագայթման միջին հզորությունը 1500 վ ընթացքում ընկնում է 1,6 մվտ-ից հասնելով 1,1 մվտ-ի (3.4 նկարում նշված է կանաչ օղակներով): Հիդրոդինամիկական հոսքի առկայությամբ կատարված չախումների ժամանակ գեներացված լազերային ճառագայթման միջին հզորությունը բա-

վականին երկար ժամանակ մնում է անփոփոխ (նկ. 3.4-ում այն պատկերված է կապույտ օղակներով):

Հստակության համար նշենք նաև այն հանգամանքը, որ գրաֆիկներում պատկերված լազերային ճառագայթման հզորության արժեքները կազմում են իրական հզորության արժեքների մեկ քառորդ մասը, քանի որ չափումների ընթացքում լազերային ճառագայթում ստացվում է բջջի երկու կողմերից, իսկ լազերային ճառագայթման գրանցում կատարվել է բջջի միայն մեկ կողմից, ընդ որում ճառագայթման գրանցման համար օգտագործվել է այդ փնջի 50%-ը:

Նկ. 3.5 (ա, բ)-ում ցույց է տրված ներկանյութով հարստացրած խիրալ ՆՀԲ-ում գեներացված լազերային ճառագայթման սպեկտրները, որը համապատասխանում է նկ. 3.4-ում բերված դեպքերին, երբ առկա է հիդրոդինամիկական հոսք և, երբ այն բացակայում է: Չափումներում, մղման փնջի միացման պահից հաշված 1500 վ-ի ընթացքում, նկատվում է լազերային ճառագայթման գազաթնակետի տեղաշարժ դեպի ալիքի երկարությունների կարճալիքային տիրույթ: Հիդրոդինամիկական հոսքի բացակայությամբ կատարված չափումներում նկատվում է լազերային ճառագայթման գազաթնակետի տեղաշարժ 1,5 նմ-ով (նկ. 3.5 բ), հիդրոդինամիկական հոսքի առկայության դեպքում ճառագայթման գազաթնակետի տեղաշարժը 1 նմ-ից պակաս է (նկ. 3.5 ա):

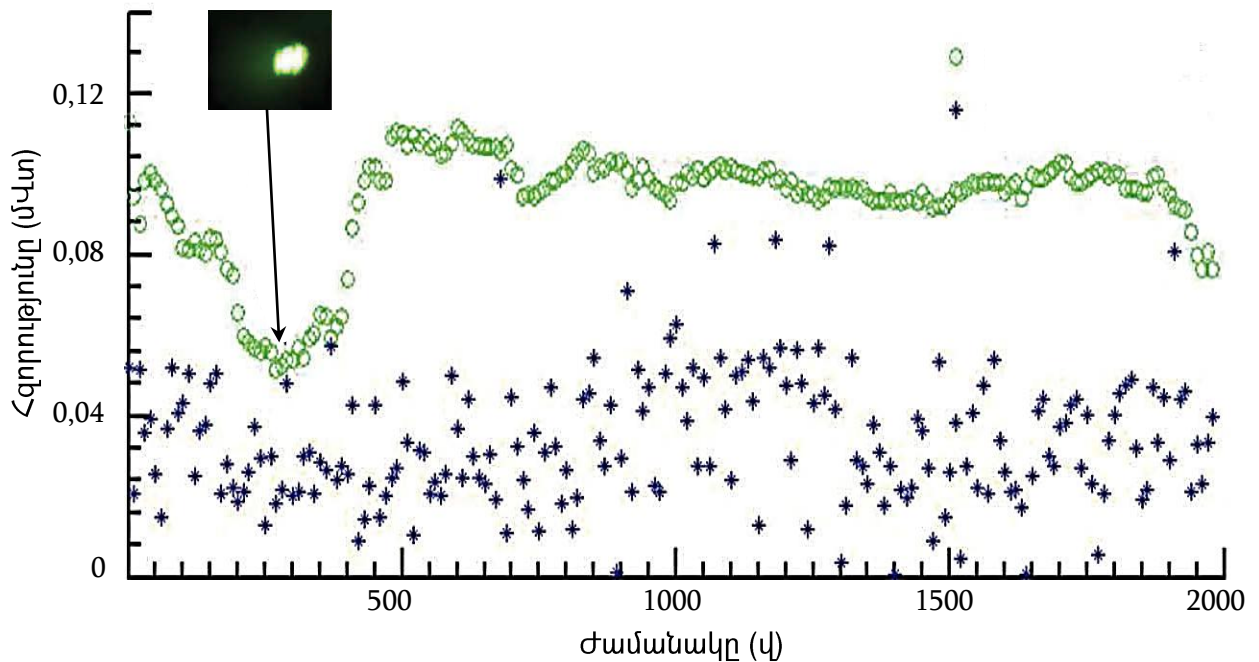
Առաջին խառնուրդով լցված բջջի օրինակով փորձնականորեն հետազոտվել է նաև ներկանյութով հարստացրած ՀԲՖԲ-ների ՖԱԳ-ի վարքը, կախված ջերմաստիճանից, տաքացնելով նմուշը 25°C ից մինչև 45°C ջերմաստիճանը: Մեր փորձերում օգտագործված միջավայրերի համար իրականացված չափումները ցույց են տալիս, որ հեղուկ բյուրեղի ՖԱԳ-ի սպեկտրային տեղաշարժը նշված ջերմաստիճանային միջակայքում 5 նմ-ի կարգի է՝ դեպի կարճալիքային տիրույթ:

Ներկանյութով հարստացրած ՀԲՖԿ-ներից գեներացված լազերային ճառագայթման հզորության նվազման պատճառը, հավանաբար մղման փնջի ազդեցությամբ, խառնուրդում առկա լազերային ներկանյութի դեգրադացիան է և խառնուրդի մոլեկուլների վերակողմնորոշումը տեղային տաքացման և մղման փնջի էլեկտրամագնիսական դաշտի

ազդեցության հետևանքով (տես առաջին գլխի 1.2.3 պարագրաֆը): Հիդրոդինամիկական հոսքի առկայության դեպքում լազերային ճառագայթման հզորության հաստատուն մնալը, բացատրվում է խառնուրդի ստիպողական շրջապտույտով, որի շնորհիվ անընդհատ «թարմ» և «չվնասված» խառնուրդ է հոսում մղման փնջի ներգործությանը ենթարկվող տիրույթով:

Ուսումնասիրվել է նաև հիդրոդինամիկական հոսքի ազդեցությունը ներկանյութով հարստացրած ՀԲՖԿ-ում լազերային ճառագայթման գեներացիայի բնութագրերի վրա, հիդրոդինամիկական հոսքի ավելի մեծ արագությունների դեպքում, որի ժամանակ մեծ թվով տարբեր դոմեններ են առաջանում և հայտնվում այն տիրույթում, որտեղ ընկնում է մղման փունջը, հանգեցնելով ներկանյութով հարստացրած խիրալ ՆՀԲ-ական կառուցվածքներից բազմալիքային լազերային ճառագայթման առաջացմանը: Նկ. 3.6-ում ցույց է տրված 10 մկմ հաստությամբ առաջին խառնուրդով լցված բջջում ներկանյութով հարստացրած խիրալ ՆՀԲ-ական կառուցվածքներից գեներացված լազերային ճառագայթման ընդհանուր (գումարային) հզորության ժամանակային կախվածությունը հիդրոդինամիկական հոսքի 0,03 մմ/վ և 0,08 մմ/վ արագությունների դեպքում: Մղման փնջի միջին հզորությունը չափումների ժամանակ եղել է 18 մՎտ, իսկ իմպուլսների կրկնման հաճախությունը՝ 1 կՀց:

Ինչպես երևում է նկ. 3.6-ից, ներկանյութով հարստացրած ՀԲՖԿ-ից լազերային ճառագայթման գումարային հզորությունը նվազում է, երբ լազերային ճառագայթումը գրանցվում է մի քանի դոմեններից միաժամանակ: Ինչպես տեսնում ենք նկարից լազերային ճառագայթման գումարային հզորությունը նվազում է նաև այն ժամանակ, երբ մղման փնջի ընկած տիրույթում հայտնվում է յուղանման շերտագիծ: Խիրալ ՆՀԲ-ի ներկանյութային լուծույթի հիդրոդինամիկական հոսքի արագության 0,03 մմ/վ արժեքի դեպքում ներկանյութի դեգրադացիան երկար ժամանակ բացակայում է և լազերային ճառագայթման հզորությունը 2000 վայրկյանի ընթացքում մնում է քիչ թե շատ հաստատուն: Հիդրոդինամիկական հոսքի 0,08 մմ/վ արագության դեպքում ավելի մեծ թվով դոմեններից է ստացվում լազերային ճառագայթումը, այդ պատճառով լազերային ճառա-



Նկ. 3.6. Ներկանյութով հարստացրած խիրալ ՆՀԲ-ական կառուցվածքներից գեներացված լազերային ճառագայթման ընդհանուր (գումարային) հզորության կախումը ժամանակից: Չափումներն արվել են առաջին խառնուրդով լցված նմուշի համար, երբ հիդրոդինամիկական հոսքի արագությունը 0,03 մմ/վ է և երբ այն 0,08 մմ/վ է

գայթման հզորության տատանումներն ավելի մեծ են (այստեղ, հավանաբար մեծ դեր է խաղում նաև օպտիկական անհամասեռությունների վրա լույսի ցրումը):

3.5. Երրորդ գլխի ամփոփումը

Տվյալ գլխում փորձնականորեն հետազոտվել է հիդրոդինամիկական հոսքերով մակածված հարթ արատով ներկանյութով հարստացրած ՀԲՖԿ-ից լազերային ճառագայթման գեներացիան: Փորձնականորեն ցույց է տրվել, որ գեներացված լազերային ճառագայթման ալիքի երկարությունը տեղաշարժվում է 4 նմ-ով դեպի կարճալիքային տիրույթ, երբ հիդրոդինամիկական հոսքի արագությունը 0,3 մմ/վ է: Ներկանյութով հարստացրած ՀԲՖԿ-ներում ձևավորված բազմաթիվ դոմենների արդյունքում նմուշից ստացվել է բազմալիքային ճառագայթում, քանի որ ձևավորված դոմենները տարբերվում են միմյանցից հեղուկ բյուրեղի պարույրի կես քայլով և յուրաքանչյուր դոմեն ունի իր

ընտրողաբար անդրադարձման տիրույթը: Փորձնականորեն ցույց տրվեց, որ հիդրոդինամիկական հոսքերի արագության մեծացման հետ համատեղ առաջանում են լազերային ճառագայթման նոր գագաթներ: Ներկանյութով հարստացրած ՀՔՖԿ-ներում հիդրոդինամիկական հոսքի առկայությունն ունի կարևոր դեր, քանի որ դրա առկայության դեպքում «թարմ» և «չվնասված» խառնուրդ է տեղափոխվում այն տիրույթ, որի վրա ընկնում է մղման լազերի փունջը:

Միավորելով երրորդ գլխում ստացված հիմնական արդյունքները, կարելի է ասել, որ առաջին անգամ փորձնականորեն ցույց է տրվել, որ ներկանյութով հարստացրած և պարույրի առանցքին ուղղահայաց հիդրոդինամիկական հոսքով մակածված արատով խիրալ ՆՀԲ-ական բարակ (~10 մկմ) թաղանթում կարելի է ստանալ լազերային ճառագայթման գեներացիա: Ցույց է տրվել, որ դրա ալիքի երկարությունը նանոմետրական ճշտությամբ կարելի է ղեկավարել փոխելով հիդրոդինամիկական հոսքի արագությունը: Առաջին անգամ փորձնականորեն ցույց է տրվել, որ ներկանյութով հարստացրած և պարույրի առանցքին ուղղահայաց հիդրոդինամիկական հոսքով մակածված արատով խիրալ ՆՀԲ-ական հարթ բջջում կարելի է ստանալ բազմալիքային լազերային ճառագայթում: Փորձնականորեն բացահայտվել է, որ բազմալիքային լազերային ճառագայթման մեխանիզմը պայմանավորված է խիրալ ՆՀԲ-ական բազմադոմեն ֆոտոնային կառուցվածքով և Գրանժան-Կանոյի դիսկլինային գծերով:

ԳԼՈՒԽ 4. ԼՈՒՍԱՄԱԿԱԾՎԱԾ ԲԱԶՄԱԼԻՔԱՅԻՆ ԼԱԶԵՐԱՅԻՆ ԳԵՆԵՐԱՑԻԱՆ ՆԵՐ-ԿԱՆՅՈՒԹՈՎ ՀԱՐՍՏԱՑՐԱԾ ԽԻՐԱԼ ՆԵՄԱՏԻԿ ՀԵՂՈՒԿ ԲՅՈՒՐԵՂՆԵՐՈՒՄ

4.1. Ներածություն

Ինչպես արդեն ասվել է, ներկանյութով հարստացրած խիրալ ՆՀԲ-ական կառուցվածքներից հնարավոր է ստանալ անհայելի լազերային ճառագայթում, խիրալ ՆՀԲ-ի ՖԱԳ-ի եզրերից [113]: Այսօր արդեն հանրահայտ է, որ ՀԲ-ները չափազանց զգայուն են արտաքին ազդեցությունների նկատմամբ, հետևաբար ներկանյութով հարստացրած խիրալ ՆՀԲ կառուցվածքներից գեներացված լազերային ճառագայթման բնութագրերը, այդ թվում նաև ալիքի երկարությունը, կարելի է կառավարել սպեկտրի լայն տիրույթում [12, 119, 121, 57]: Սովորաբար, ներկանյութով հարստացրած խիրալ ՆՀԲ-ական լազերների մղման համար օգտագործում են կարճալիքային իմպուլսային լազերներ, որոնց գեներացիայի ալիքի երկարություններն ընկած են ներկանյութի կլանման տիրույթում՝ որքան հնարավոր է ներկանյութի կլանման շերտի մաքսիմումի ալիքի երկարությանը մոտ: Մղման լազերի ազդեցությունը մաքուր և ներկանյութով հարստացրած ԽՀԲ-ական կառուցվածքների վրա եղել է և մնում է բազմաթիվ հետազոտությունների և փորձերի առարկա (տես օրինակ՝ [129, 7, 114-118] աշխատանքները և դրանցում բերված հղումները):

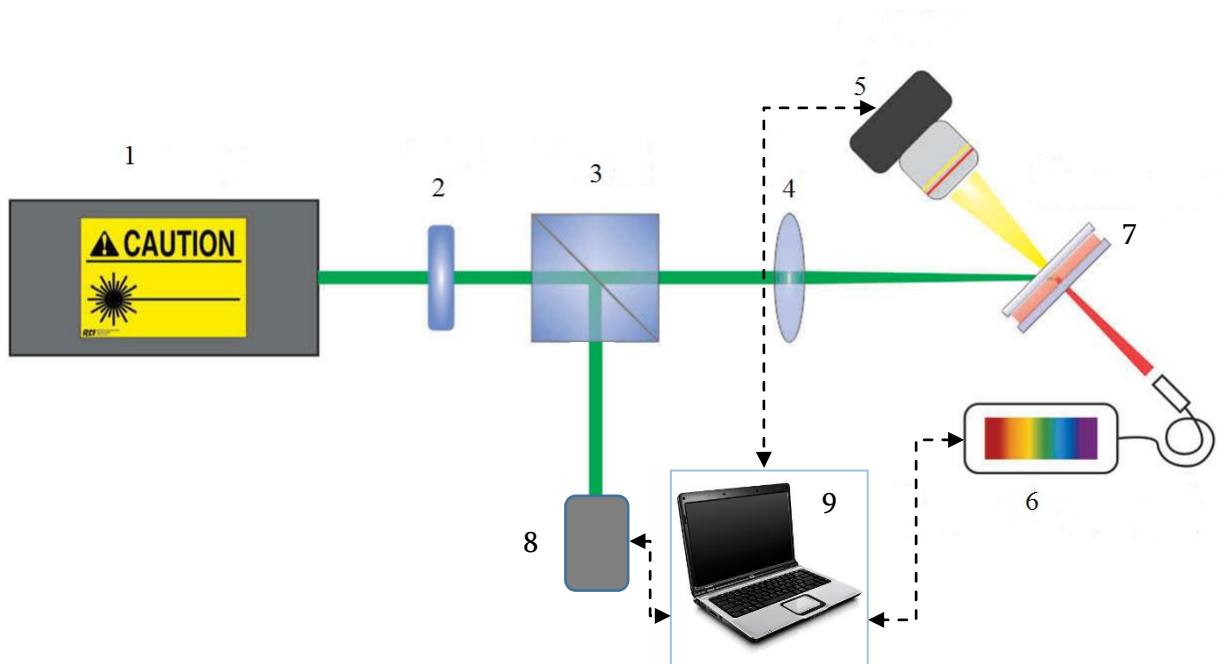
Մղման փնջի և ԽՀԲ-ի մոլեկուլների հատկություններից կախված, փունջը կարող է ԽՀԲ-ի մոլեկուլները վերակողմնորոշել տարբեր ազդեցությունների շնորհիվ, որոնցից են տեղային տաքացումը [117], հիդրոդինամիկական հոսքի առաջացումը և լույսի էլեկտրամագնիսական դաշտի ստեղծած ոչգծային վերակողմնորոշումը [114-116]: Ոչգծային վերակողմնորոշման ժամանակային բնութագրերը ուսումնասիրվել են [118] աշխատանքում: ՀԲ-ի մոլեկուլների ոչգծային վերակողմնորոշումը, մաքուր և ներկանյութով հարստացրած ԽՀԲ-ական կառուցվածքներում, փորձնականորեն ուսումնասիրվել է [114-116] աշխատանքներում, որտեղ ցույց է տրվել, որ ԽՀԲ պարույրի քայլը փոխվում է թռիչքաձև, ինչը երևակայվում է անցման գործակցի մեծացմամբ և երկարալիքային տիրույթում լազերային ճառագայթման նոր գագաթի առաջացմամբ [115]: ԽՀԲ-ի պարույրի քայլի թռիչքաձև

փոփոխությունը, ԽՀԲ-ական կառուցվածքներում կառչման ուժերի և արտաքին ազդեցությանը առաջացած ուժերի մրցակցության հետևանք է: ԽՀԲ-ական կառուցվածքներում պարույրի քայլի թռիչքաձև փոփոխություն նկատվում է, բջջի տակդիրների վրա ԽՀԲ-ի մոլեկուլների, ուժեղ (երբեմն ասում են կոշտ) կառչման ուժերի առկայությամբ, ԽՀԲ-ական բջջում՝ անհամասեռ էլեկտրական դաշտի [130] և ջերմաստիճանի [131] ազդեցությամբ: Էլեկտրական դաշտի ազդեցությամբ ԽՀԲ-ի պարույրի թռիչքաձև ապապարուրման երկույթը ուղեկցվում է Գրանժան-Կանոի առաջին և երկրորդ կարգի դիսկլինային գծերի առաջացմամբ: Դա հանգեցնում է ԽՀԲ-ական կառուցվածքներում տարբեր դոմենների առաջացման, որոնցում պարույրի քայլերի թիվը տարբերվում է 1/2-ով կամ 1-ով (կես կամ ամբողջական քայլով): [132, 12] աշխատանքներում դիսկլինային արատներ ստացվել են ԽՀԲ-ական կառուցվածքների վրա օպտիկական ճառագայթման ազդեցությամբ, սակայն բոլոր դեպքերում ԽՀԲ-ական բջիջներում դիսկլինային արատները վերացել են մղման փունջն անջատելուց հետո:

Այս գլխում մենք, ներկանյութով հարստացրած խիրալ ՆՀԲ-ական կառուցվածքներում, ուսումնասիրել ենք խիրալ ՆՀԲ-ի պարույրի ապապարուրման գործընթացը լազերային իմպուլսների դաշտում, իմպուլսների տարբեր էներգիաների և կրկնման տարբեր հաճախությունների դեպքում: Ղեկավարելով մղման փնջի միջին հզորությունը և իմպուլսների կրկնման հաճախությունը, մենք փորձնականորեն ուսումնասիրել ենք ներկանյութով հարստացրած խիրալ ՆՀԲ-ում դրա ՖԱԳ-ի եզրերին համապատասխանող լազերային ճառագայթումը: Ներկանյութով հարստացրած ՀԲՖԿ-ում փորձնականորեն ուսումնասիրվել է բազմալիքային լազերային ճառագայթումը, որը ծագում է խիրալ ՆՀԲ-ի մոլեկուլների լազերային դաշտի ազդեցությամբ ոչգծային և լուսամակաձված հիդրոդինամիկական հոսքերով վերակողմնորոշման շնորհիվ: Մեր փորձերում, խիրալ ՆՀԲ-ի մոլեկուլների լուսամակաձված ոչգծային վերակողմնորոշման հետևանքով, առաջացել են Գրանժան-Կանոյի տիպի դիսկլինային գծեր և արատներ, որոնք մնացել են նույնիսկ մղման փունջն անջատելուց հետո:

4.2. Ներկանյութով հարստացրած խիրալ նեմատիկներում լուսամակածված բազմալիքային գեներացիայի ուսումնասիրման փորձարարական սարքավորման նկարագրությունը

Ներկանյութով հարստացրած խիրալ նեմատիկ ՀԲ-ներում լուսամակածված բազմալիքային գեներացիայի ուսումնասիրման փորձարարական սարքավորման գծապատկերը ներկայացված է 4.1 նկարում: Օպտիկական մղման համար օգտագործվել են երկու տարբեր լազերներ, որոնց ալիքի երկարությունը եղել է 532 նմ: Առաջին լազերի (Team photonics Powerchip PNG-M02010) իմպուլսների կրկնման հաճախությունը 1000 Հց է, իսկ իմպուլսների տևողությունը 0,3 նվ: Երկրորդ լազերն (ЛТИПЧ-7) ունեցել է իմպուլսների 12,5



Նկ. 4.1. Ներկանյութով հարստացրած խիրալ ՆՀԲ-ական կառուցվածքներում լազերային ճառագայթման գեներացիայի ուսումնասիրելու նպատակով հավաքված փորձարարական սարքի գծապատկերը: 1-ը մղման իմպուլսային լազերն է, 2-ը՝ $\lambda/2$ ալիքային թիթեղը, 3-ը՝ փնջի բևեռացումային բաժանարարը, 4-ը՝ 75 մմ կիզակետային հեռավորությամբ ոսպնյակը, 5-ը՝ CCD տեսախցիկով միկրոսկոպը, 6-ը՝ լուսատարային մուտքով սպեկտրոմետրը, 7-ը՝ ուսումնասիրվող բջիջը, 8-ը՝ հզորաչափը, 9-ը՝ համակարգիչը

Հց կրկնման հաճախություն և 12 նվ իմպուլսների տևողություն: Փորձերում մղման փնջի հզորությունը ղեկավարելու նպատակով օգտագործվել է $\lambda/2$ (2) ալիքային թիթեղը, որը մղման փնջի համապատասխան բաղադրիչների միջև առաջացնում է փուլերի π շեղում՝ բևեռացումը պտտելով $\pi/2$ -ով, և ալիքի բևեռացումային (3) բաժանարարը, որը լազերային իմպուլսներն ուղղում է (8) լազերային հզորաչափի վրա: Փորձում մղման լազերի (1) փունջը կիզակետվել է նմուշի վրա, նմուշի նորմալի նկատմամբ 45° անկյան տակ՝ օգտագործելով 75 մմ կիզակետային հեռավորություն ունեցող (4) ոսպնյակը: Ներկանյութով հարստացրած խիրալ ՆՀԲ-ական կառուցվածքներից լազերային ճառագայթումն ուսումնասիրելու նպատակով, նմուշում գեներացվող ճառագայթման փնջերից մեկի դիմաց, մոտավորապես նմուշի տակդիրներին ուղղահայաց, տեղադրվել է (6) սպեկտրոմետրի (Q wave) լուսատարային մուտքը: Նմուշի մյուս կողմում, դրա նորմալի ուղղությամբ տեղադրվել է (5) Tucsen CCD տեսախցիկով և 20X խոշորացումային օբյեկտիվով զինված BK-POL բևեռացումային միկրոսկոպը, որով հսկվում և գրանցվում են ներկանյութով հարստացրած խիրալ ՆՀԲ-ական թաղանթում ծագած արատներն ու կառուցվածքային փոփոխությունները: Մեր փորձերի ընթացքում ուսումնասիրվել է ներկանյութով հարստացրած խիրալ ՆՀԲ-ական կառուցվածքներից գեներացված լազերային ճառագայթումն ու կառուցվածքային փոփոխությունները մղման փնջի իմպուլսների կրկնման հաճախության, իմպուլսների տևողության և իմպուլսների էներգիաների տարբեր արժեքների համար: Փորձարարական սարքավորման վերաբերյալ մնացած տեղեկատվությունը բերված է նկ. 4.1-ի ստորագրում:

4.3. Ներկանյութով հարստացրած խիրալ նեմատիկ հեղուկ բյուրեղի ֆոտոնային արգելված գոտու փորձարարական ուսումնասիրումը

Ներկանյութով հարստացրած խիրալ նեմատիկ ՀԲ-ական կառուցվածքներում լուսամակածված բազմալիքային լազերային գեներացիան ուսումնասիրելու նպատակով պատրաստվել է ՀԲ-ական բջիջ, որը բաղկացած է երկու իրար զուգահեռ դասավորված թափանցիկ ապակյա տակդիրներից: Բջջի տակդիրները նախապես պատվել են նեյլոն

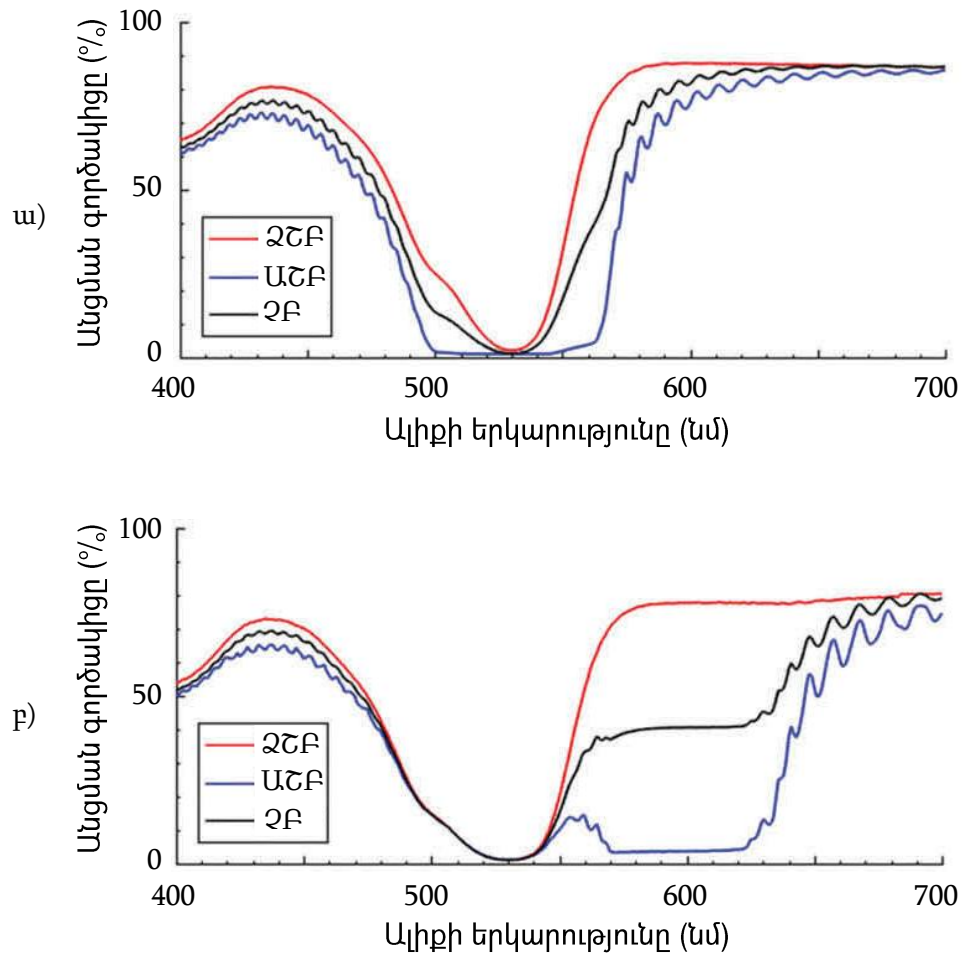
6/6 (Nylon 6/6) տեսակի պոլիմերային թաղանթով և մշակվել են այնպես, որ ՀԲ-ի մոլեկուլներն ունենան պլանար կողմնորոշում: Այս փորձարարական հետազոտություններում մենք օգտագործել ենք 10 մկմ և 14 մկմ հաստությամբ բջիջներ: Բջջի հաստությունը տրվել է ֆոտոպոլիմերվող միջադիրի միջոցով, որին նախապես խառնվել է համապատասխան տրամագծով պլաստիկ նյութից պատրաստված, և նախապես տրամաչափված, մասնիկներ:

Որպես խիրալ նեմատիկ ՀԲ օգտագործել ենք խառնուրդ, որը բաղկացած է E7 տիպի ՆՀԲ-ից և մեծ պտտողական ուժ ունեցող BDH 1305 տիպի խիրալ խառնուկից: Միևնույն արտաքին պայմաններում՝ ջերմաստիճան, ճնշում և այլն, խիրալ ՆՀԲ-ի պարույրի տարբեր քայլեր ապահովելու նպատակով, փորձերում օգտագործվել է երկու տարբեր կոնցենտրացիաներով, սակայն քիմիապես միևնույն բաղադրիչներով, խիրալ նեմատիկ ՀԲ-ներ: Դրանք միմյանցից տարբերվել են խիրալ խառնուկի կոնցենտրացիաներով: ՆՀԲ-ի և խիրալ խառնուկի զանգվածային հարաբերակցությունն առաջին խառնուրդում եղել է 93% : 7% (ըստ կշռի), երկրորդում՝ 94% : 6%: Այնուհետև այդ խառնուրդներին ավելացվել է 1% զանգվածային հարաբերակցությամբ պիրոմեթեն 597 (PM 597) տիպի լազերային ներկանյութ:

Ալիքի երկարությունների 450 նմ ÷ 560 նմ տիրույթում պիրոմեթեն 597 ներկանյութն օժտված է մեծ կլանմամբ, որի մաքսիմումն ընկած է ~530 նմ ալիքի երկարության մոտակայքում: Ֆլուորեսցենցիայի տիրույթը տվյալ ներկանյութի համար 550 նմ ÷ 650 նմ ալիքի երկարությունների տիրույթում է, իսկ դրա մաքսիմումը ~580 նմ-ի մոտակայքում [133, 12]: Ներկանյութով հարստացրած խիրալ նեմատիկ ՀԲ-ական խառնուրդները մազանոթային եղանակով լցվել է բջիջների մեջ: Բջիջները տաքացվել են մինչև ներկանյութով հարստացրած խիրալ նեմատիկ ՀԲ-ի իզոտրոպ փուլ, այնուհետև ջերմաստիճանի մեկ րոպեում ~1°C արագությամբ իջեցմամբ, դրանք սառեցվել են մինչև սենյակային ջերմաստիճանը: Նկ. 4.2-ում ցույց է տրված վերոնշյալ խառնուրդների անցման սպեկտրները՝ ՖԱԳ-ը, բջջի 14 մկմ հաստության համար: Ինչպես տեսնում ենք նկ. 4.2-ից առաջին խառ-

նուրդի ՖԱԳ-ը վերածածկվում է ներկանյութի կլանման տիրույթի հետ, ինչը լավ երևում է աջ շրջանային բևեռացված լույսի համար (տես նկ. 4.2 ա):

Ինչպես երևում է նկ. 4.2 բ-ից, երկրորդ խառնուրդի ՖԱԳ-ն առաջինի նկատմամբ տեղաշարժված է դեպի երկարալիքային տիրույթ և ներկանյութի կլանման տիրույթի նկատմամբ որոշակիորեն շեղված է (ամբողջովին չեն ծածկում միմյանց): Ուշադրություն հրավիրենք նաև այն հանգամանքին, որ լազերային ներկանյութի համար լույսի կլանման



Նկ. 4.2. Ներկանյութով հարստացրած խիրալ <Բ-ի 14 մկմ հաստությամբ նմուշների անցման սպեկտրները, ա) առաջին խառնուրդով լցված բջիջի համար, բ) երկրորդ խառնուրդով լցված բջիջի համար: 2CF-ձախ շրջանային բևեռացված լույս, 1CF-աջ շրջանային բևեռացված լույս, 2Բ-չբևեռացված լույս

տիրույթը դիտվում է նաև ձախ շրջանային բևեռացված լույսի համար, այն դեպքում երբ

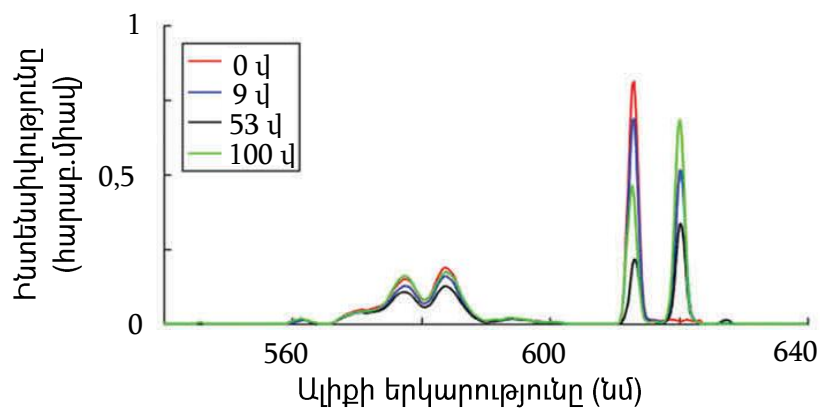
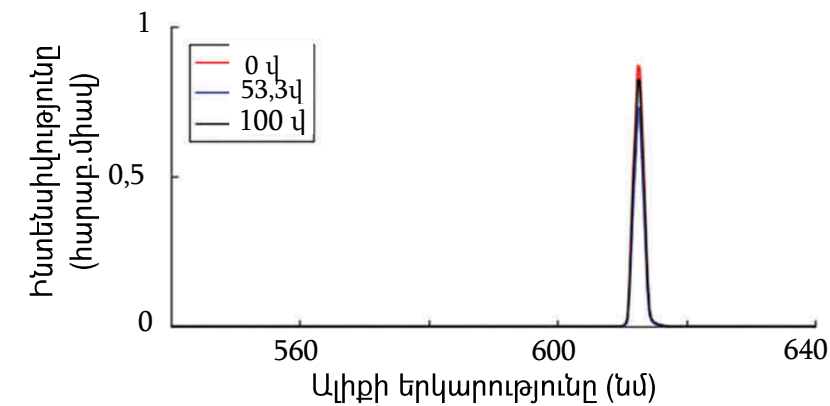
խիրալ նեմատիկ <Բ-ի անդրադարձման տիրույթը (ՖԱԳ-ը) դիտվում է միայն աջ շրջանային բևեռացված և չբևեռացված լույսերի դեպքում: Այսինքն, մեր ընտրած պիրոմեթեն 597 ներկանյութը սպեկտրի մեզ հետաքրքրող տիրույթում օժտված չէ դիքրոիզմով՝ կլանման գործակիցը կախված չէ լույսի բևեռացումից:

4.4. Ներկանյութով հարստացրած խիրալ նեմատիկ հեղուկ բյուրեղում բազմալիքային լազերային գեներացիայի փորձարարական ուսումնասիրումը

Նկ. 4.3-ում ցույց է տրված 4.3 պարագրաֆում նշված երկրորդ խառնուրդով լցված 14 մկմ հաստություն ունեցող բջջում լազերային ճառագայթման գեներացիայի փորձարարական ուսումնասիրման հիմնական արդյունքները: Ներկանյութի օպտիկական մղման համար օգտագործվել է (ЛТИПЧ-7) Nd:YAG լազերի երկրորդ հարմոնիկը, որի փնջում իմպուլսների հաջորդման հաճախությունը չափումների ընթացքում եղել է 12,5 Հց, իմպուլսների տևողությունը 12 նվ: Հետազոտությունների արդյունքներում, որ բերված են նկ. 4.3 ա, բ, գ, դ-ում, մղման փնջի իմպուլսների էներգիան եղել է 28 մկՋ/իմպուլս, իսկ նկ. 4.3 ե, գ, է, ը, թ-ում՝ 336 մկՋ/իմպուլս:

Նկ. 4.3 ա-ում և ե-ում տրված է ներկանյութով հարստացրած խիրալ նեմատիկ <Բ-ական կառուցվածքներից լազերային ճառագայթման սպեկտրը մղման փնջի էներգիաների տարբեր արժեքների համար: Նկ. 4.3 (բ, գ)-ում ցույց է տրված նմուշի սկզբնական կառուցվածքային վիճակները՝ մինչև մղման փունջը միացնելը: Նկ. 4.3 (գ, է)-ում երևում է ներկանյութով հարստացրած խիրալ նեմատիկ <Բ-ի կառուցվածքային պատկերը և մղման լազերի փնջի դիրքը: Նկ. 4.3 (դ, ը)-ում ցույց է տրված ներկանյութով հարստացրած խիրալ Ն<Բ-ի կառուցվածքը օպտիկական մղման փունջն անջատելու պահին, իսկ նկ. 4.3 (թ)-ում ցույց է տրված ներկանյութով հարստացրած խիրալ Ն<Բ-ի կառուցվածքային պատկերը, մղման փունջն անջատելուց որոշ ժամանակ անց: Ինչպես երևում է նկ. 4.3 (ա)-ից, մղման փնջի միացման պահից հաշված առաջին 100 վ

Ժամանակահատվածում, մղման փնջի 28 մկՋ/իմպուլս էներգիայի դեպքում, լազերային



Նկ. 4.3. Ներկանյութով հարստացրած խիրալ ՆՀԲ-ում լազերային ճառագայթման սպեկտրները (ա և ե), և միկրոսկոպի միջոցով ստացված կառուցվածքային փոփոխությունների պատկերը: Մղման փնջի հաճախությունը 12,5 Հց է, իսկ իմպուլսների էներգիան՝ ա, բ, գ, դ դեպքում 28 մկՋ/իմպուլս, ե, գ, է, ը, թ դեպքում 336 մկՋ/իմպուլս: բ և գ նկարներում ցույց է տրված նմուշում խիրալ ՆՀԲ-ի կառուցվածքը սկզբնական վիճակում, դ և ը նկարներում՝ մղման փունջն անջատելուց անմիջապես հետո

ճառագայթում ստացվում է միայն 613 նմ ալիքի երկարության համար: Նկ. 4.3 (բ, գ, դ)-ում երևում է որ ներկանյութով հարստացրած խիրալ ՆՀԲ-ում կառուցվածքային տեսանելի փոփոխությունները բացակայում են: Միկրոսկոպով արված նկարներում պարզ երևում են իրարից տարբեր գունավորմամբ տիրույթները (դոմենները) և խիրալ ՆՀԲ-ներին բնորոշ դիսկլինային արատների գծերը՝ յուղանման շերտագծերը: Այդ դոմենները միմյանցից տարբերվում են պարույրի քայլերով, հետևաբար նաև քայլերի թվերով, քանի որ երկուսի համար էլ միևնույնն է բջջի հաստությունը: Դոմեններից յուրաքանչյուրի պարույրի քայլերի թիվը, տարբերվում է հարևան դոմենի քայլերի թվից 0,5-ով: Սա բացատրվում է այն փաստով, որ այդ դոմենների ՖԱԳ-երի դիրքերը տարբեր են [119]:

Մղման փնջի 336 մկՋ/իմպուլս էներգիայի դեպքում ներկանյութով հարստացրած խիրալ նեմատիկ ՀԲ-ի նույն՝ միադոմեն տիրույթից ստացվում է բազմալիքային լազերային ճառագայթում 613 նմ, 620 նմ և 627 նմ ալիքի երկարությունների վրա (Նկ. 4.3 ե): Պետք է նշել, որ 627 նմ ալիքի երկարության վրա լազերային ճառագայթումը եղել է շատ թույլ և չափումների ժամանակ նկատվել է շատ կարճ ժամանակահատվածում, իսկ 613 նմ և 620 նմ ալիքի երկարությունների վրա լազերային ճառագայթումները եղել են ուժեղ և գրանցվել են ամբողջ փորձի ընթացքում:

Մղման փնջի 336 մկՋ/իմպուլս էներգիայի դեպքում, ժամանակի ընթացքում բջջում նկատվում է անդրադարձման գունավորման փոփոխություն (ՖԱԳ-ի տեղաշարժ), որը հստակ նկատում ենք նկ. 4.3 (գ)-ն և նկ. 4.3 (ը)-ն համեմատելով (գ-ն մղման փնջի տիրույթն է՝ մինչև մղման փունջը միացնելը, ը-ն՝ այն անջատելուց հետո): Այն տիրույթում, որտեղ ընկնում է մղման փունջը, առաջանում է նոր դոմեն, որն ունի նույն գույնը ինչ նկարի ներքևի ձախ անկյունում տեղակայված դոմենը: Նկարում կարելի է տեսնել նաև դիսկլինային արատների առաջացումը: Մղման փունջն անջատելուց հետո փնջի ազդեցության տակ գտնվող տիրույթի գունավորումը սկսում է փոխվել և ~90 վ անց կայունանում է վերադառնալով սկզբնական գունավորմանը, իսկ տիրույթում առաջացած դիսկլինային գծերը երկար ժամանակ մնում են գրեթե անփոփոխ՝ ամենաքիչը 2-3 օր:

Առանձին փորձերում մղման փունջն ուղղվել է նաև նկ. 4.3-ում պատկերված դոմենային կառուցվածքի ներքևի ձախ անկյունում գտնվող դոմենի վրա, արձանագրելով լազերային ճառագայթում 620 նմ ալիքի երկարության վրա: Երկու տարբեր դոմեններում պարույրի քայլի 0,5 արժեքի տարբերությունը ստանալու համար, կարելի է անել պարզ հաշվարկ: Այս դեպքում լազերային ճառագայթման գեներացիայի ալիքի երկարությունը բնութագրվում է $\lambda = n_e p$ բանաձևով, որտեղ p -ն խիրալ ՆՀԲ-ի պարույրի քայլն է, իսկ n_e -ն դրա անսովոր բեկման ցուցիչը [115, 12]: Փորձից ունենալով լազերային ճառագայթման 613 նմ և 620 նմ ալիքի երկարությունները, մենք հեշտությամբ կարող ենք ստանալ բջջի d հաստության վրա տեղավորված դոմենների պարույրների քայլերի թվերի տարբերությունը, ինչպես գլուխ 3-ում, հետևյալ բանաձևով՝ $\Delta N = N_2 - N_1 = n_e d / \lambda_2 - n_e d / \lambda_1$: Չափումներում օգտագործված խիրալ նեմատիկ ՀԲ-ական բջջի հաստությունը՝ d -ն 14 մկմ է իսկ, անսովոր բեկման ցուցչի արժեքը նեմատիկ հեղուկ բյուրեղի՝ E7-ի համար 1,73 է: Համարելով, որ խիրալ խառնուկն էապես չի փոխում նեմատիկի բեկման ցուցիչները և տեղադրելով լազերային ճառագայթման ալիքի երկարությունները և մյուս տվյալները բերված բանաձևի մեջ, ստանում ենք, որ երկու դոմենների միջև պարույրի քայլերի թվերի տարբերությունը՝ $\Delta N \approx 0,5$: Ստացված արդյունքներից կարելի է եզրակացնել, որ հզոր մղման փունջն առաջացնում է խիրալ նեմատիկ ՀԲ-ի պարույրի քայլի թռիչքաձև փոփոխություն, մղման փնջի կենտրոնական մասում, և առաջացած նոր դոմենը գեներացնում է այլ ալիքի երկարությամբ (մակաձված դոմենի ՖԱԳ-ին համապատասխան) լազերային ճառագայթում, չփոփոխված դոմենից գեներացվող լազերային ճառագայթման հետ միաժամանակ: Բջջի տակդիրների վրա խիրալ ՆՀԲ-ի մոլեկուլների կառչման ուժերի մեծ լինելու պատճառով (հաճախ անվանում են՝ ուժեղ, կամ կոշտ կառչում), արտաքին ազդեցությունների առկայության դեպքում, պարույրի քայլը բջջի հարթության մեջ փոփոխվում է թռիչքաձև: Այս երևույթը ցուցադրվել է տարբեր աշխատանքներում, որտեղ որպես արտաքին ազդեցության պատճառ հանդես են եկել անհամասեռ էլեկտրական դաշտը [130], ջերմաստիճանի փոփոխությունը՝ գրադիենտը [131] և ԽՀԲ-ական թաղանթում մղման փունջը [114-116]: Վերջին աշխատանքում մոլեկուլների ոչգծային վերակողմնորոշման հետևանքով,

ԽՀԲ-ական թաղանթում պարույրի քայլի թռիչքաձև փոփոխությունը նկատվել է բջջում անցման գործակցի վարքի փոփոխությամբ: Ներկանյութով հարստացրած ԽՀԲ-ական կառուցվածքներում մոլեկուլների ոչգծային վերակողմնորոշման շեմային արժեքն զգալիորեն փոքր է [115] աշխատանքում ստացված արժեքից:

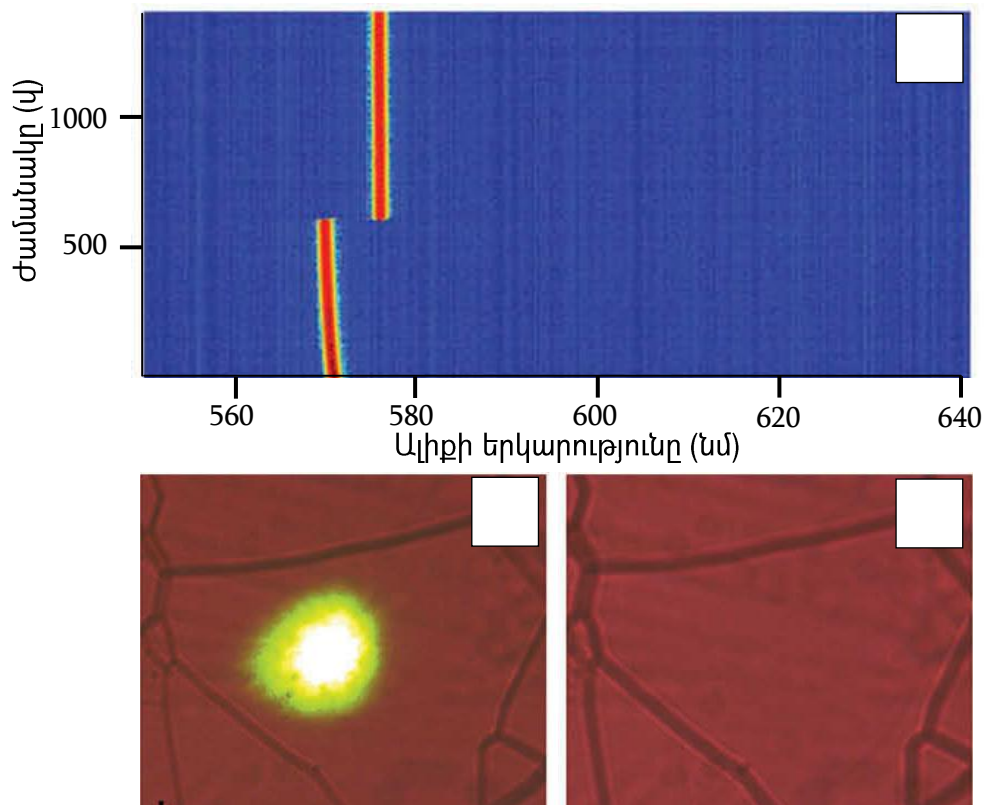
ԽՀԲ-ական կառուցվածքներում արտաքին ազդեցություններով դիսկլինային արատների առաջացումն ուսումնասիրվել է մի շարք աշխատանքներում (տես օրինակ՝ [130] աշխատանքը և դրանում բերված գրականության ցանկը), որտեղ անհամասեռ էլեկտրական դաշտի ազդեցությամբ առաջացրել են Գրանժան-Կանոյի առաջին և երկրորդ կարգի դիսկլինային արատներ: Այս արատներն առաջանում են երբ էլեկտրական դաշտի ազդեցությամբ, ԽՀԲ-ի պարույրը ապապարուրվում է 180 և 360 աստիճանով, և ԽՀԲ-ական կառուցվածքներում իրարից տարանջատվում են ձևավորված նոր դոմենները, որոնք միմյանցից տարբերվում են պարույրի քայլերի թվերի 0,5 կամ 1 արժեքով: Այս արդյունքներին նման, տվյալ գլխում մեր կողմից կատարված փորձերում նույնպես, հնարավոր է, որ մղման փնջի էլեկտրական դաշտի վեկտորը վերակողմնորոշում է ՀԲ-ի մոլեկուլներին, առաջացնելով խիրալ նեմատիկ ՀԲ-ի կառուցվածքում ապապարուրում: Այդ պատճառով փորձերում նկատվում են լազերային ճառագայթման ալիքի երկարության փոփոխություններ և նմուշի կառուցվածքում դիսկլինային արատների ձևավորում:

4.5. Ներկանյութով հարստացրած խիրալ նեմատիկ հեղուկ բյուրեղում բազմալիքային լազերային գեներացիայի ժամանակային էվոլյուցիան

Այս պարագրաֆում կներկայացնենք ներկանյութով հարստացրած խիրալ նեմատիկ ՀԲ-ում լազերային ճառագայթման գեներացիայի ժամանակային էվոլյուցիայի և լազերային ճառագայթման բազմալիքային գեներացիայի ձևավորման որոշ առանձնահատկություններ, որոնք կապված են ՀԲՖԿ-ում լազերային դաշտով արատների և դիսկլինային գծերի մակաձման հետ:

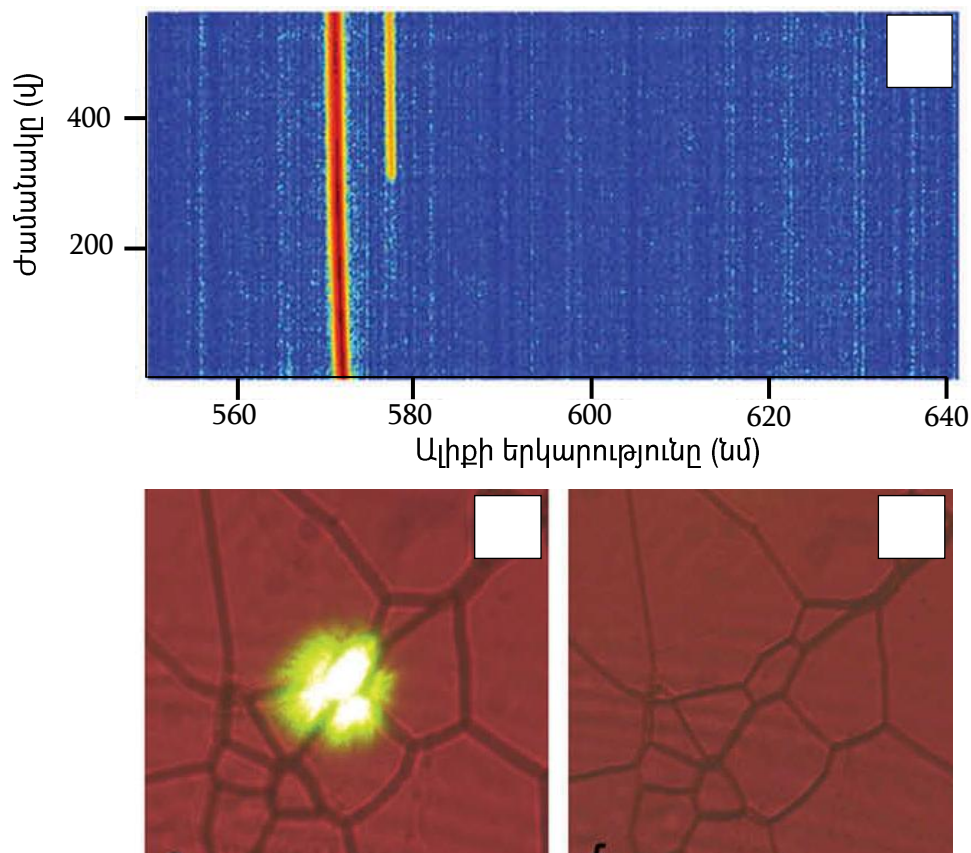
Այստեղ քննարկվող փորձերում ներկանյութով հարստացրած ՀԲՖԿ-ային բջիջը, որի հաստությունը 14 մկմ է, լցվել է նախորդ պարագրաֆում նշված առաջին խառնուրդով: Բջջում ներկանյութի մղման համար օգտագործվել է 532 նմ ալիքի երկարությամբ, իմպուլսների կրկնման 1 կՀց հաճախությամբ և իմպուլսի 0,5 նվ տևողությամբ (Team photonics Powerchip PNG-M02010) իմպուլսային լազերի փունջը:

Նկ. 4.4 (ա)-ում, որտեղ պատկերված է ներկանյութով հարստացրած խիրալ ՆՀԲ-ական միադոմեն կառուցվածքներից գեներացված լազերային ճառագայթման ժամանակային էվոլյուցիան, երևում է, որ մղման փնջի 17 մկՋ/իմպուլս էներգիայի դեպքում, մղման փնջի միացման պահից հաշված 600 վ տևողությամբ չափումների ընթացքում լազերային



Նկ. 4.4. Ներկանյութով հարստացրած խիրալ ՆՀԲ-ական միադոմեն կառուցվածքներից գեներացված լազերային ճառագայթման ժամանակային էվոլյուցիան (ա) և բջջի գեներացիային մասնակցող տիրույթի միկրոսկոպով արված լուսանկարները, երբ մղման փունջը միացված է (բ) և երբ անջատված է (գ): Բջջի հաստությունը 14 մկմ է, մղման իմպուլսների տևողությունը՝ 0,5 նվ, կրկնման հաճախությունը 1 կՀց, իմպուլսում էներգիան՝ 17 մկՋ/իմպուլս

ճառագայթում ստացվում է միայն 572 նմ ալիքի երկարության մոտակայքում, որը նշված ժամանակահատվածում տեղաշարժվում է 1-2 նմ: Լազերային ճառագայթման ալիքի երկարության այսպիսի փոքր շեղման պատճառ կարող է հանդիսանալ ներկանյութով հարստացրած խիրալ ՆՀԲ-ական կառուցվածքում տեղային տաքացումը կամ մոլեկուլների ոչ մեծ վերակողմնորոշումը՝ առանց պարույրի քայլի թռիչքի: Լազերային ճառագայթման գեներացիայի սկզբից հաշված, մոտավորապես 600 վ հետո նկատվում է լազերային ճառագայթման գեներացիայի ալիքի երկարության թռիչք դեպի երկարալիքային տիրույթ՝ 578 նմ ալիքի երկարության մոտակայքում: Միկրոսկոպի և CCD տեսախցիկի միջոցով արված նկարներում չի նկատվում որևէ էական կառուցվածքային փոփոխություն սկզբնա-

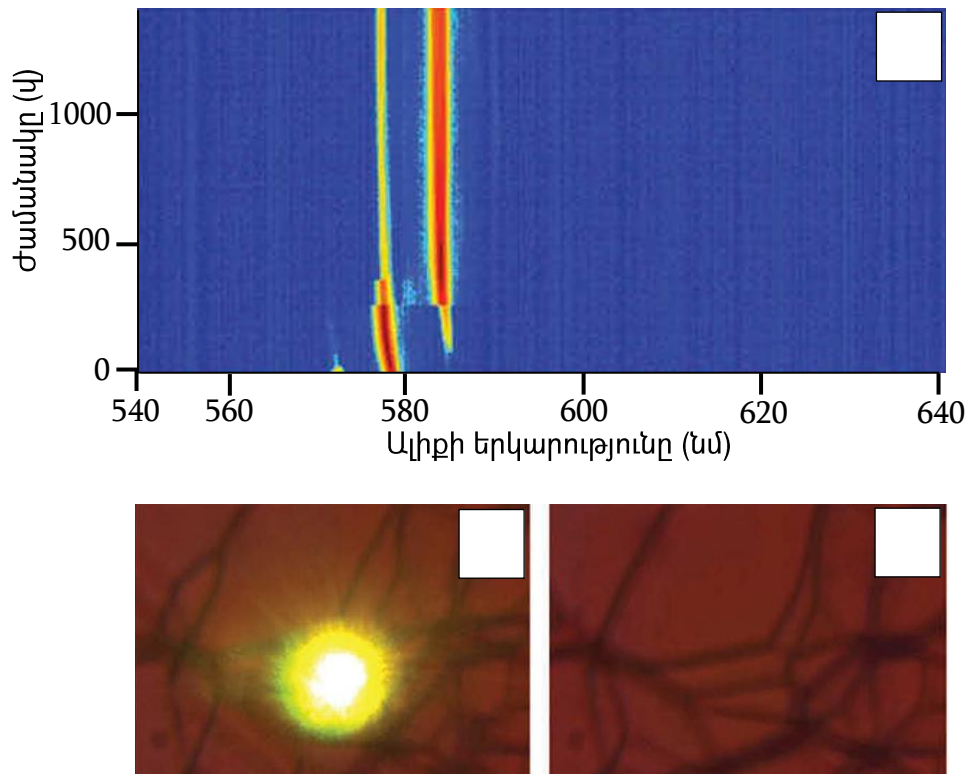


Նկ. 4.5. Ներկանյութով հարստացրած խիրալ ՆՀԲ-ական բազմադոմեն կառուցվածքներից գեներացված լազերային ճառագայթման ժամանակային էվոլյուցիան (ա) և բջջի գեներացիային մասնակցող տիրույթի միկրոսկոպով արված լուսանկարները: Մնացած պայմանները նույնն են ինչպես նկ. 4.4-ում

կան և վերջնական պահերին արված նկարներում (տես նկ. 4.4 (բ, գ)):

Մենք, վերը նկարագրված նույն բջջում, ուսումնասիրել ենք նաև լազերային ճառագայթման գեներացիան բջջի այնպիսի տեղամասից, որի դեպքում գեներացիային մասնակցում են մեկից ավելի դոմեններ: Չափումներն իրականացվել են մղման փնջի էներգիայի նույն արժեքի դեպքում, սակայն այս դեպքում մղման փնջի դիրքը փոփոխվել և ուղղվել է բջջի այնպիսի տիրույթի վրա, որտեղ եղել է դիսկլինային արատների մեծ խտություն (տես նկ. 4.5 (ա, բ, գ)-ն): Միկրոսկոպի միջոցով արված նկարներում չի նկատվում ներկանյութով հարստացրած խիրալ ՆՀԲ-ում որևէ կառուցվածքային փոփոխություն, սակայն այս դեպքում լազերային ճառագայթումը 572 նմ և 578 նմ ալիքի երկարությունների վրա, տեղի է ունենում միաժամանակ: Չափումների սկզբում լազերային ճառագայթում գրանցվում է միայն 572 նմ ալիքի երկարության վրա, սակայն մղման փնջի միացման պահից հաշված, մոտավորապես 300 վ անց լազերային ճառագայթում գրանցվում է նաև 578 նմ ալիքի երկարության վրա:

Նկ. 4.6 (ա)-ում ցույց է տրված լազերային ճառագայթման գեներացիայի սպեկտրի ժամանակային էվոլյուցիան, մղման իմպուլսի 20 մկՋ/իմպուլս էներգիայի համար: Սկզբնական 130 վայրկյանների ընթացքում միաժամանակ լազերային ճառագայթում գրանցվում է 572 նմ և 578 նմ ալիքի երկարությունների համար: Մղման փնջի միացման պահից հաշված ~130 վայրկյան անց մոտավորապես 572 նմ ալիքի երկարության վրա լազերային ճառագայթումն ընդհատվում է, այնուհետև լազերային ճառագայթումը ստացվում է 578 նմ և 584 նմ ալիքի երկարությունների վրա: 584 նմ ալիքի երկարության վրա լազերային ճառագայթումը առաջանում է ~250-րդ վայրկյանից սկսած: Չափումների ընթացքում նկատվում է լազերային ճառագայթման բոլոր գագաթների տեղաշարժ դեպի կարճալիքային տիրույթ: Միկրոսկոպի միջոցով արված նկարները հաստատում են, որ ներկանյութով հարստացրած խիրալ ՆՀԲ-ի դիտարկվող՝ մղման փնջի տիրույթում տեղի է ունենում դիսկլինային արատների ձևափոխություն (նկ.4.6 (գ)):



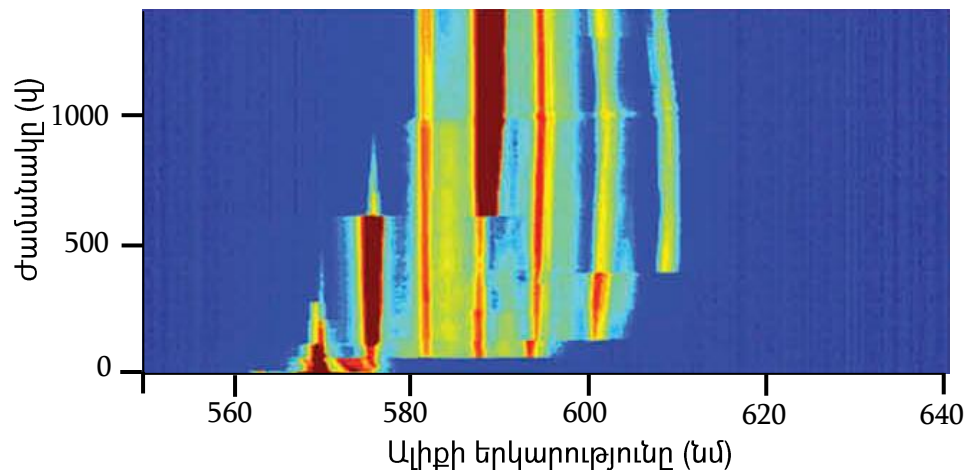
Նկ. 4.6. Ներկանյութով հարստացրած խիրալ ՆՀԲ-ական բազմադոմեն կառուցվածքներից գեներացված լազերային ճառագայթման ժամանակային էվոլյուցիան (ա) և բջջի գեներացիային մասնակցող տիրույթի միկրոսկոպով արված լուսանկարները, երբ մղման փունջը միացված է (բ) և երբ անջատված է (գ): Բջջի հաստությունը 14 մկմ է, մղման իմպուլսների տևողությունը՝ 0,5 նվ, կրկնման հաճախությունը 1 կՀց, իմպուլսում էներգիան՝ 20 մկՋ/իմպուլս

Մղման փնջի էներգիայի մինչև 35 մկՋ/իմպուլս հետագա մեծացմանը զուգընթաց, նկատվում է լազերային ճառագայթման գագաթների քանակի ավելացում, մինչև 8 լազերային գագաթներ՝ 560 նմ-610 նմ ալիքի երկարությունների տիրույթում (նկ. 4.7):

Նկ. 4.4 – նկ. 4.7-ի արդյունքներից երևում է, որ իմպուլսների կրկնման 1 կՀց հաճախություն ունեցող մղման լազերը, ներկանյութով հարստացրած խիրալ ՆՀԲ-ական կառուցվածքներից գեներացված բազմալիքային լազերային ճառագայթման վրա ունենում է տարբեր ազդեցություններ: Տարբեր ազդեցությունների հիմնական պատճառներ կարող են լինել բջջում հիդրոդինամիկական հոսքերի առաջացումը [24, 26], տեղային (լոկալ)

տաքացումը [28, 116] և մղման փնջի էլեկտրական դաշտի ազդեցությամբ պայմանավորված մոլեկուլների ոչգծային օպտիկական վերակողմնորոշումը [20, 21]: Ենթադրվում է, որ լազերային ճառագայթման ալիքի երկարության 1-2 նմ շեղման պատճառը, ներկանյութի կլանման հետևանքով առաջացած տեղային տաքացումն է: Այսինքն, ներկանյութով հարստացրած խիրալ ՆՀԲ-ից գեներացված լազերային ճառագայթման ալիքի երկարության շեղումը տեղի է ունենում տեղային տաքացման արդյունքում բեկման ցուցչի նվազման հետևանքով [134]:

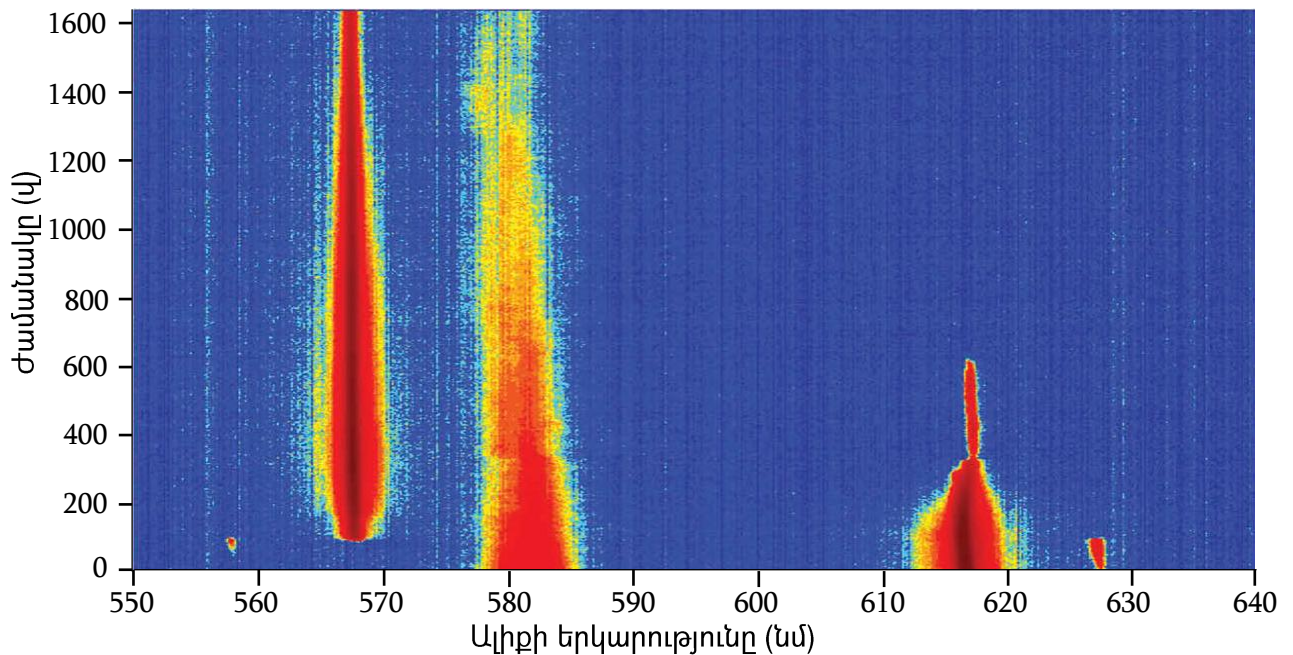
Մղման փնջի կլանմամբ պայմանավորված, բջջում խիրալ ՀԲ-ի ջերմաստիճանի տեղային փոփոխությունը դրանում հանգեցնում է հիդրոդինամիկական հոսքի առաջացմանը, ինչը ցույց է տրված նկ. 4.6 (բ, գ)-ում: Առաջացած հոսքի պատճառով տարբեր



Նկ. 4.7. Ներկանյութով հարստացրած խիրալ ՆՀԲ-ական կառուցվածքներից գեներացված լազերային ճառագայթման ժամանակային էվոլյուցիան: Բջջի հաստությունը 14 մկմ է, մղման իմպուլսների տևողությունը՝ 0,5 նվ, կրկնման հաճախությունը 1 կՀց, իմպուլսում էներգիան՝ 35 մկՋ/իմպուլս

դոմեններ ժամանակի ընթացքում հասնում են բջջի այն տեղամասին, որտեղ ընկնում է մղման փնջը, հանգեցնելով տարբեր ալիքի երկարությունների վրա լազերային ճառագայթման գեներացիայի առաջացմանը:

Նկ. 4.8-ում ցույց է տրված երկրորդ խառնուրդով լցված 9,6 մկմ հաստությամբ նմուշում լազերային ճառագայթման գեներացիայի սպեկտրի կախումը ժամանակից: Այս չափումներն արվել են մղման փնջի իմպուլսների կրկնման 1 կՀց հաճախության և իմպուլսի 35 մկՋ/իմպուլս էներգիայով լազերային փնջով: Ներկանյութով հարստացրած խիրալ ՆՀԲ-ից գեներացված լազերային ճառագայթումներ նկատվում են 617 նմ և 628 նմ ալիքի երկարությունների վրա, որոնք ընդհատվում են չափումները սկսելուց համապատաս-

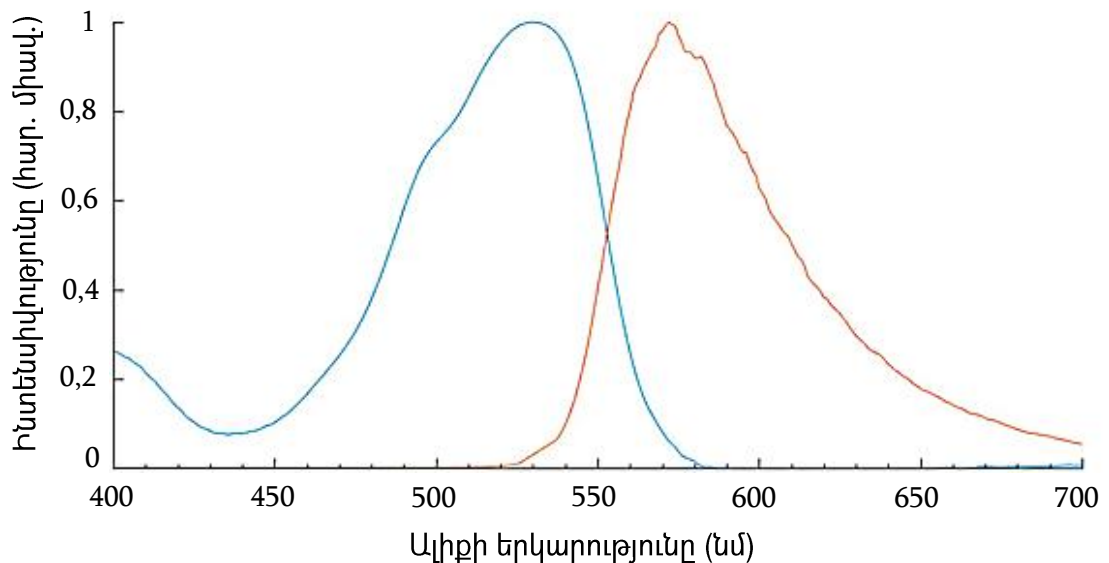


Նկ. 4.8. Լազերային ճառագայթման գեներացիայի ժամանակային էվոլյուցիան երկրորդ խառնուրդով լցված 9,6 մկմ հաստությամբ նմուշից: Մղման լազերի իմպուլսների կրկնման հաճախությունը 1 կՀց է, իմպուլսի էներգիան 36 մկՋ/իմպուլս

խանաբար մոտավորապես 600 վրկ և 150 վրկ անց: 557 նմ ալիքի երկարության վրա նույնպես նկատվում է շատ կարճ տևողությամբ լազերային ճառագայթում, որն ընդհատվում է 628 նմ ալիքի երկարության վրա լազերային ճառագայթման հետ միաժամանակ: Այս երկու լազերային ճառագայթումներն ստացվում են խառնուրդի ՖԱԳ-ի եզրերից, քանի որ փորձում օգտագործված խառնուրդի ՖԱԳ-ի եզրերի միջև հեռավորությունը 70 նմ-ի կարգի է: Երբ լազերային ճառագայթումն ավարտվում է 557 նմ և 628 նմ ալիքի երկա-

րությունների վրա, 568 նմ ալիքի երկարության վրա առաջանում է նոր լազերային ճառագայթման գագաթ: Այս նոր լազերային գագաթը համապատասխանում է 568 նմ - 635 նմ միջակայքում տեղակայված ՖԱԳ-ի կարճալիքային եզրին: Այնուամենայնիվ 635 նմ ալիքի երկարության վրա լազերային ճառագայթում չի դիտվում: Այսպիսով դիտվում է 568 նմ և 635 նմ ալիքի երկարությունների վրա լազերային մոդերի շեմերի մրցակցությունը և ստացվում է այնպես, որ ՖԱԳ-ի կարճալիքային եզրի ալիքի երկարության վրա լազերային ճառագայթման շեմն ավելի ցածր է, քան երկարալիքային եզրի ալիքի երկարության վրա լազերային ճառագայթման շեմը, այնինչ շատ հաճախ դիտվում է հակառակ երևույթը (n_s -ի համար ներկանյութի մոլեկուլի դիպոլային մոմենտն ավելի մեծ է քան n_o -ի համար): ՊՄ597 ներկանյութի լյումինեսցենցիայի մաքսիմումը տեղակայված է մոտավորապես 580 նմ-ի վրա, իսկ ուժեղացման գործակիցը (ֆլուորեսցենցիայի ինտենսիվությունը) ավելի մեծ է 557 նմ ալիքի երկարության վրա, քան 617 նմ կամ 628 նմ ալիքի երկարության վրա (սակայն 617 նմ և 628 նմ-ի շեմն ավելի ցածր է, քան 557 նմ-ինը, քանի որ կա ինքնակլանում 557 նմ-ում և այն գրեթե չկա 600 նմ-ի մոտակայքում) (նկ.4.9):

Այնուամենայնիվ 568 նմ-ի վրա իքնանկլանումը (ներկանյութի կողմից ֆլուորեսցենցիայի



Նկ. 4.9. Պիրոմեթեն 597 լազերային ներկանյութի կլանման (կապույտ կորը) և ֆլուորեսցենցիայի (կարմիր կորը) սպեկտրները

կլանումը) փոքր է այդ նույն ալիքի երկարության վրա ուժեղացման գործակցի հետ համեմատած, ինչի արդյունքում այս ալիքի երկարության վրա լազերային ճառագայթման շեմն ավելի ցածր է:

4.6. Չորրորդ գլխի ամփոփումը

Ի մի բերելով ատենախոսության չորրորդ գլուխում ստացված արդյունքները, նշենք, որ այս գլխում փորձնականորեն ուսումնասիրվեց մղման փնջի ազդեցությունը ներկանյութով հարստացրած ՀՐՖԿ-ում լազերային ճառագայթման գեներացիայի բնութագրերի վրա: Ուսումնասիրվեց մղման փնջի ազդեցությունը ներկանյութով հարստացրած խիրալ ՆՀԲ-ի դոմենային կառուցվածքի վրա: ՀՐՖԿ-ի ՖԱԳ-ի փոփոխության տեսակետից, քննարկվեց ՀԲ-ի մոլեկուլների վերակողմնորոշման երկու հնարավոր մեխանիզմներ՝ ոչգծային օպտիկական վերակողմնորոշման մեխանիզմը, որը հիմնված է Ֆրեդերիկսի լուսամակածված երևույթի վրա, և մղման փնջի կլանմամբ պայմանավորված լուսահիդրոդինամիկական հոսքով ուղղորդի վերակողմնորոշման մեխանիզմը: Փորձնականորեն ցույց տրվեց, որ վերակողմնորոշման երկու եղանակները կարող են հանգեցնել խիրալ ՆՀԲ-ի պարույրի քայլի թռիչքաձև փոփոխության և ներկանյութով հարստացրած խիրալ ՆՀԲ-ական կառուցվածքներից բազմալիքային ճառագայթման առաջացման: Փորձնականորեն ցույց է տրվել, որ ՀԲ-ի մոլեկուլների ոչգծային օպտիկական վերակողմնորոշման պատճառով, խիրալ ՆՀԲ-ական կառուցվածքներում տեղի է ունենում պարույրի ապապարուրում, որը հանգեցնում է կառուցվածքում կայուն դիսկլինային արատների առաջացման, որոնք մնում են նույնիսկ մղման փունջն անջատելուց հետո: Հիդրոդինամիկական հոսքի պատճառով առաջացած վերակողմնորոշման շնորհիվ, տեղի է ունենում խիրալ ՆՀԲ-ի պարույրի քայլի թռիչքաձև փոփոխություն, որը խիրալ ՆՀԲ-ի կառուցվածքում առաջացնում է արատ: Փորձնականորեն ցույց տրվեց, որ նոր ձևավորված արատի՝ մակածված դոմենի ՖԱԳ-ի կարճալիքային սահմանից ստացվող լազերային ճառագայթման շեմն ավելի ցածր է քան երկարալիքային սահմանից ստացվող լազերային ճառագայթման շեմն է: Հիդրոդինամիկական հոսքով առաջացած մոլեկուլների

վերակողմնորոշման շնորհիվ հաջողվել է ստանալ լազերային ճառագայթման մինչև 8 գազաթ:

ԱՄՓՈՓՈՒՄ

Ներկայացված ատենախոսությունում փորձնականորեն ուսումնասիրված է լազերային ճառագայթման փոխազդեցությունը ներկանյութով հարստացրած ԽՀԲ- ների հետ: Փորձնականորեն ցույց է տրվել, լազերային դաշտերով և հիդրոդինամիկ հոսքերով ԽՀԲ պարբերական պարուրածն կառուցվածքում, արատների և «Գրանժան-Կանոյի» տիպի դիսկլինացիոն գծերի մակաձման հնարավորությունը: Ցույց է տրվել, որ լազերային դաշտի միջոցով փոփոխելով մակաձված արատի բնութագրերը, կարելի է ղեկավարել ԽՀԲ թաղանթի ֆոտոնային արգելված գոտու պարամետրերը՝ մասնավորապես, սպեկտրային դիրքն ու լայնությունը:

Փորձնականորեն հետազոտվել է լազերային ճառագայթման գեներացիան, ներկանյութով հարստացրած և կառուցվածքում լազերային դաշտով և հիդրոդինամիկական հոսքերով մակաձված արատներով, ԽՀԲ թաղանթում: Դիտվել է ՖԱԳ - ի կենրոտոնական ալիքի երկարության բազմաթիվ սպեկտրալ թռիչքներ և դրանց համապատասխան, բազմալիք լազերային ճառագայթման գեներացիա:

Ատենախոսական աշխատանքում ուսումնասիրվել է նաև լազերային բազմալիք ճառագայթման գեներացիայի ժամանակային էվոլյուցիան, և դրանց կապը մակաձված արատների և Գրանժան-Կանոյի գծերի առաջացման հետ:

Ատենախոսական աշխատանքում ստացված արդյունքները, բացի խիստ ակադեմիական հետաքրքրությունից՝ որը պայմանավորված է ֆոտոնային կառուցվածքներում ընթացող օպտիկական մի շարք երևույթների և արատների մակաձմամբ դրանց ղեկավարման իրական ժամանակային մասշտաբում փորձարարական հետազոտությունների իրականացման հնարավորություններով, ունեն նաև կիրառական մեծ նշանակություն: Որպես օրինակ թվարկենք մի քանիսը. ստացված արդյունքները կարող են օգտագործվել լազերային տեխնոլոգիաներում՝ միկրոլազերներ նախագծելիս, լազերային ճառագայթման սպեկտրային բնութագրերի ղեկավարման համար ցածրաշեմ, բարակ թաղանթային, մանրանրբին և հավաք տարրերի, օպտիկական դիոդի և տրանզիստորի,

լուսային էներգիայի կուտակիչների, բարակ թաղանթային ակտիվ էկրանների և նմանատիպ այլ սարքերի ստեղծման ու կատարելագործման համար:

Ատենախոսական աշխատանքում ստացված հիմնական արդյունքներն են.

1. Առաջին անգամ փորձնականորեն ցույց է տրվել, որ ներկանյութով հարստացրած խոլեստերիկ հեղուկ բյուրեղական հարթ բջջում նանովայրկյանային լազերային իմպուլսներով կարելի է մակածել «Գրանժան-Կանոյի» տիպի դիսկլինացիաներ, որոնք պայմանավորված են խոլեստերիկ հեղուկ բյուրեղի քայլի թռիչքաձև փոփոխություններով:
2. Փորձնականորեն ցույց է տրվել, որ ներկանյութով հարստացրած խոլեստերիկ հեղուկ բյուրեղական հարթ բջջում նանովայրկյանային լազերային իմպուլսներով արատների և դիցկլինացիոն գծերի մակածումն ունի շեմային բնույթ և բիստաբիլ վարք:
3. Առաջին անգամ փորձնականորեն ցույց է տրվել, որ ներկանյութով հարստացրած և պարույրի առանցքին ուղղահայաց հիդրոդինամիկ հոսքով մակածված արատով խոլեստերիկ հեղուկ բյուրեղական բարակ (~10 մկմ) թաղանթում կարելի է ստանալ լազերային ճառագայթման գեներացիա: Ցույց է տրվել, որ դրա ալիքի երկարությունը նանոմետրական ճշտությամբ կարելի է ղեկավարել փոխելով հիդրոդինամիկական հոսքի արագությունը:
4. Առաջին անգամ փորձնականորեն ցույց է տրվել, որ ներկանյութով հարստացրած և պարույրի առանցքին ուղղահայաց հիդրոդինամիկ հոսքով մակածված արատով խոլեստերիկ հեղուկ բյուրեղական հարթ բջջում կարելի է ստանալ բազմալիք լազերային ճառագայթում: Փորձնականորեն բացահայտվել է, որ բազմալիք լազերային ճառագայթման մեխանիզմը պայմանավորված է խոլեստերիկ հեղուկ

բյուրեղական բազմադոմեն ֆոտոնային կառուցվածքով և Գրանժան-Կանոյի դիսկլինացիաներով:

5. Առաջին անգամ փորձնականորեն ցույց է տրվել, որ ներկանյութով հարստացրած խոլեստերիկ հեղուկ բյուրեղական հարթ բջջում, մղման փնջով մակածելով արատ, կարելի է ստանալ բազմալիք լազերային ճառագայթում: Թեստային փորձերով բացահայտվել է, որ բազմալիք լազերային ճառագայթման մեխանիզմը պայմանավորված է ուղղորդի լուսամակածված վերակողմնորոշմամբ, որի հետևանքով խոլեստերիկ հեղուկ բյուրեղի պարույրը ձևախախտվելով առաջացնում է կառուցվածքում դիսկլինացիոն արատներ:
6. Առաջին անգամ փորձնականորեն ցույց է տրվել, որ ներկանյութով հարստացրած խոլեստերիկ հեղուկ բյուրեղական թաղանթում հոսքի պատճառով առաջացած վերակողմնորոշման հետևանքով առաջացած նոր դոմենի ֆոտոնային արգելված գոտու կարճալիքային սահմանից ստացվող լազերային ճառագայթման շեմն ավելի ցածր է քան ֆոտոնային արգելված գոտու երկարալիքային սահմանից ստացվող լազերային ճառագայթմանը:

* * *

Հեղինակն իր խորին երախտագիտությունն է հայտնում ֆիզ.-մաթ. գիտությունների դոկտոր, պրոֆեսոր Ռ. Բ. Ալավերդյանին՝ աշխատանքի ղեկավարման, ատենախոսության խնդիրների ձևակերպման, գիտական արդյունքների արդյունավետ քննարկման, ինչպես նաև բազմակողմանի աջակցության համար և ֆիզ.-մաթ. գիտությունների թեկնածու Տ. Դադայանին ատենախոսության շրջանակներում կատարված համատեղ աշխատանքների ընթացքում ցուցաբերած աջակցության և արդյունքների քննարկման համար: Հեղինակը շնորհակալություն է հայտնում նաև ԵՊՀ օպտիկայի ամբիոնի աշխատակիցներին ու բոլոր այն անձանց, ովքեր ատենախոսական աշխատանքի իրականացման ընթացքում սատարել են իրեն:

ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅԱՆ ՑԱՆԿ

1. J.D. Joannopoulos, R.D. Meade, J.N. Winn. Photonic crystals. Princeton University Press. 1995. 137 p.
2. E. Yablonovitch. Inhibited spontaneous emission in solid-state physics and electronics. Phys. Rev. Lett. 58, 2059 – 2062 (1987).
3. E. Yablonovitch. Photonic band-gap crystals. J. Phys.:Condens.Matter. 5, 24432460 (1993).
4. J.-M. Lourtioz et al. *Photonic Crystals*. Berlin : Springer, 2005. 430 p.
5. C. Sibilia et al. *Photonic Crystals: Physics and Technology*. Berlin : Springer, 2008. 289 p.
6. P. De Gennes, J. Prost. *The Physics of Liquid Crystals*. Second Edition. Oxford : Clarendon press, 1993. 400 p.
7. Khoo, I.C. *Liquid Crystals*. NJ : Wiley, 2007. 383 p.
8. М.Г. Томилин, Г.Е. Невская. *Дисплеи на Жидких Кристаллах*. Санкт-Петербург : ИТМО, 2010. 108 с.
9. K. Robbie, D. J. Broer, M. J. Brett. *Nature (London)*. 1999, Vol. 399, p. 764.
10. S. M. P. Bolom et al. *Soc. Inf. Display*. 2002, Vol. 10, p. 209.
11. T. Dadalyan, Zh. Ninoyan, I. Nys, R. Alaverdyan, J. Beeckman, K. Neyts, O. Willekens, “ Tuning the lasing wavelength of dye-doped chiral nematic liquid crystal by fluid flow”, *Liquid Crystals*, V. 44, Pages 372-378 (2016).
12. T. Dadalyan, Zh. Ninoyan, I. Nys, R. Alaverdyan, J. Beeckman, K. Neyts, “Light-induced multi-wavelength lasing indyedopedchiral nematic liquid crystals due to strong pumping illumination” , *Liquid Crystals*, DOI: 10.1080/02678292.2018.1429680. available online (2018).
13. Zh. Ninoyan, “Formation of the disclination defects in the dye-doped Cholesteric Liquid Crystalline structure under the influence of the laser beam” , *ԵՊՀ գիտ. տեղ.*, h. 52, 55-59, 2018.

14. H. Gharagulyan, M.S.Rafayelyan, A.H.Gevorgyan, Zh.V.Ninoyan, R.B.Alaverdyan, “Asymmetric Transmission in Liquid-Crystals of Two Cholesterics with Different Pitches and Chiralities”, Book of Abstracts of OPTICS-2016, p.72 (2016).
15. R. Alaverdyan, L. Aslanyan, G. Gevorgyan, H. Gharagulyan, H. Hovakimyan, Zh. Ninoyan, “The spatial evolution of the polarization of light in a wedge-shaped sample of a cholesteric liquid crystal”, Book of Abstracts of Laser Physics -2017, p.56 (2017).
16. T. Dadalyan, Zh. Ninoyan, R. Alaverdyan, I. Nys, J. Beeckman, K. Neyts, “Non-linear control of lasing wavelength in dye-doped chiral photonic structures by means of light” , Book of Abstracts of Laser Physics -2017, p.41 (2017).
17. Zh. Ninoyan, T. Dadalyan, R. Alaverdyan, “Tuning the lasing wavelength in dye-doped chiral photonic structure with pitch gradient by means of hydrodynamic flow” , Book of Abstracts of Laser Physics -2017, p.66 (2017).
18. Л. М. Блинов Жидкие кристаллы: структура и свойства. М. Книжный дом «ЛИБРОКОМ», –2013 – 480 с.
19. Ռ. Ս. Հակոբյան, Յու. Ս. Զիլինգարյան: Մակաձված փուլային անցումներ և հիդրոդինամիկական անկայունություններ հեղուկ բյուրեղներում: «Մանկավարժ», Երևան 2000թ., 184 էջ:
20. Зельдович Б. Я., Табирян Н. В.// Успехи физ. наук. 1985. Т. 147. С. 633–674.
21. С. М. Аракелян, Ю. С. Чилингарян. Нелинейная оптика жидких кристаллов. Москва: Наука, 1984, 395 с.
22. Физические методы в органической химии, под ред. А. Вайсбергера, пер. С англ. Т.5, - М., 1957г.
23. Акопян Р.С., Зельдович Б.Я. Ориентационная оптическая нелинейность жидкого кристалла, обусловленная тепловой конвекцией. – Письма в ЖТФ, 1983, Т.9, №19, с.1200-1204.

24. Алавердян Р.Б., Акопян Р.С., Оганисян М.Ж., Чилингарян Ю.С. Наблюдение эффекта светогидродинамической переориентации нематических жидких кристаллов. – Оптика и спектр., 1998, Т.84, №5, с. 762-764.
25. Акопян Р.С., Алавердян Р.Б., Варданян А.С., Чилингарян Ю.С. Гистерезис при светогидродинамической переориентации директора нематического жидкого кристалла. – Квантовая электроника, 2000, 30 N8, с. 745-746.
26. Р.С. Акопян, Р.Б. Алавердян, Б.Я. Зельдович, Н.В. Табирян, В.С. Овсепян. Приемник инфракрасного излучения. Авторское Свидетельство СССР, 1990, №1589735.
27. Акопян Р.С., Зельдович Б.Я. Естественная конвекция в жидкостях, обусловленная поглощением лазерного излучения. – ПММ, 1985, Т.49, №4, с. 685-688.
28. Алавердян Р.Б., Аракелян С.М., Галстян Т.В., Дрноюн В.Э., Чилингарян Ю.С. Наблюдение светогидродинамических неустойчивостей в нематическом жидком кристалле в поле одномодового лазерного пучка. – Письма в ЖЭТФ, 1992, Т.55, вып.7, с. 392-397.
29. Дрноюн В.Э., Галстян Т.В., Алавердян Р.Б., Аракелян С.М., Чилингарян Ю.С. Лазерно-индуцированные гидродинамические неустойчивости и оптическая бистабильность в жидком кристалле: Теория и эксперимент. – ЖЭТФ, 1993, Т.103, №4, с.1270-1286.
30. Чандрасекар С. Жидкие кристаллы. – М.: Мир, 1980. 344с.
31. Leslie F.M. Some thermal effects in cholesteric liquid crystals. – Proc.Roy.Soc.A, 1968, v.307, p. 359-372.
32. Eber N., Janossy I. An experiment on the thermomechanical coupling in cholesterics. – Mol.Cryst.Liquid Cryst.Lett., 1982, v.72, №7-8, p. 233-238.
33. Акопян Р.С., Зельдович Б.Я. Термомеханические эффекты в деформированных нематиках. – ЖЭТФ, 1984, Т.87, №11, с. 1660-1669.
34. Лазеры на красителях // Под ред. Ф.П. Шефера. – М.: Мир, 1976. – 329 с.
35. Земский В. И., Колесников Ю. Л., Мешковский И. К. Физика и техника импульсных лазеров на красителях. – СПб.: СПбГУ ИТМО, 2005. –176 с.

- 36.A. Gear, "Rhodamine 6G", The Journal of Biological Chemistry, Vol.249 No.11, pp 3528-3537, 1974.
- 37.Ulrich Brackmann, "Laser Dyes", Lambdachrome, Third Edition (2000).
- 38.B.H. Soffer, B.B. McFarland, Appl. Phys. Lett., "Continuously tunable narrow band organic dye lasers", Vol.10, 1967, p. 266.
- 39.W. Zhang, F. Gao, et.al., "Experimental observation of subluminal and superluminal light propagation in R6G doped PMMA", Appl. Phys. Lett. 95, 2009, p. 171106.
- 40.A. Г. Сизих. "Тушение люминесценции в жидких растворах", Красноярск, 2003.
41. Handbook of liquid crystals / D. Demus...-Weinheim; New York; Chichester; Brisbane; Singapore; Toronto: Wiley-VCH, Vol. 2A. Low molecular weight liquid crystals.-1.-1998, p.258:
- 42.Pappalardo R., Samelson H., Lempicki A. "Long-pulse laser emission from rhodamine 6G using cyclooctatetraene" Appl. Phys. Letters, 1970,16, p. 267.
- 43.Коробов В.Е., Славнова Т.Д., Чибисов А.К. Влияние спектрального состава накачки на механизм фотореакций родамина 6Ж // ЖПС,1977, № 26. – С. 841–843.
- 44.Безродный В.И., Тихонов Е.А. // Квантовая электроника, 1986, № 13. – С. 2486–2490.
- 45.Ильчишин И.П., Тихонов Е.А., Шпак М.Т., Дорошкин А.А. Генерация индуцированного излучения органическими красителями в нематическом жидком кристалле. – Письма в ЖЭТФ, 1976, Т.24, вып.6, с. 336-339.
- 46.Kuroda S., Kubota K. Dye laser action in a liquid crystal. – Appl.Phys.Lett., 1976, v.29, №11, p. 337-339.
- 47.Акопян Р.С., Алавердян Р.Б., Григорян Дж.Х., Чилингарян Ю.С. Система «жидкий кристалл-краситель» в области термодинамического фазового перехода. – Изв.АН Арм.ССР; Физика, 1981, Т.16, №1, с. 77-81.
- 48.Акопян Р.С., Алавердян Р.Б., Григорян Дж.Х., Чилингарян Ю.С. Обращение волнового фронта при суперлюминесценции жидкокристаллического раствора красителей. – Изв. АН СССР, серия физическая, 1983, Т.47, №8, с. 1640-1642.

49. Dolganov V.K., Balotin B.M. Determination of the molecular arrangement in liquid crystals by polarization of fluorescence. – *Mol. Cryst. Liquid Cryst.*, 1978, v.47, №3-4, p. 179-184.
50. Constant J., Raynes E.P., Shenks J.A., Coates D., Gray G.W., Mc.Donnell D.G. Pleochroic dyes with high order parameters. – *J. Phys. D: Appl. Phys.*, 1978, v.11, p. 479-489.
51. V. I. Kopp, B. Fan, H. K. M. Vithana, A. Z. Genack. Low-threshold lasing at the edge of a photonic stop band in cholesteric liquid crystals. *Optics Letters*. 1998, Vol. 23, 21, pp. 1707-1709.
52. J. Schmidtke, W. Stille, “Fluorescence of a dye-doped cholesteric liquid crystal film in the region of the stop band: theory and experiment,” *Eur. Phys. J. B* **31**, 179–194(2003).10.
53. K. C. Shin, F. Araoka, B. Park, Y. Takanishi, K. Ishikawa, Z. Zhu, T. M. Swager, and H. Takezoe, “Advantages of highly ordered polymer-dyes for lasing in chiral nematic liquid crystals,” *Jpn. J. Appl. Phys., Part 1* **43**, 631–636(2004).
54. Furumi S., Yokoyama S., Otomo A., Mashiko S. “Electrical control of the structure and lasing in chiral photonic band-gap liquid crystals” , *Appl. Phys. Lett.*, 82, 16-18 (2003).
55. Morris S.M., Ford A.D., Pivnenko M.N., Coles H.J. “Enhanced emission from liquid-crystal lasers” *J. Appl. Phys.*, 97, 023103 (2005).
56. Munoz A.F., Palffy-Muhoray P., Taheri B. “Ultraviolet lasing in cholesteric liquid crystals” , *Opt. Lett.*, 26 , Issue 11, 804-806 , (2001).
57. Chanishvili A., Chilaya G., Petriashvili G., Barberi R., et al., “Phototunable lasing in dye-doped cholesteric liquid crystals” *Appl. Phys. Lett.*, 83, 5353 (2003).
58. Р. С. Акопян, Р. Б. Алавердян, Дж. Х. Григорян, Ю. С. Чилингарян. “Система краситель – жидкий кристалл как лазерная среда” , *Межвузовский сборник научных задач*, 151-158, (1982).
59. С. П. Палто. Электрооптика и фотоника жидких кристаллов. *УФН*. 2005, Vol. 175, 7, pp. 784-790.
60. Шibaев В. П., “Жидкие кристаллы: холестерики”, *Химия и Жизнь*, Номер 7, (2008).

61. R. Dreher and G. Meier. Optical Properties of Cholesteric Liquid Crystals. *Phys. Rev. A*. 1973, Vol. 6, 3, pp. 1616–1623.
62. Ալլահվերդյան Կարեն Ռոմայի «Լազերային ճառագայթման փոխազդեցությունը պարբերական կառուցվածքում արատ պարունակող հեղուկ բյուրեղների հետ», Ատենախոսություն, Երևան, 2012թ.:
63. В. А. Беляков, А. С. Сонин, “Оптика холестерических жидких кристаллов”, Москва: Наука, с. 360 (1982).
64. P. G. De Gennes, J. Prost, “The Physics of Liquid Crystals”, Oxford, Clarendon, p.596 (1993).
65. R. B. Alaverdyan, A. H. Gevorgyan, H. Gharagulyan, H. Grigoryan “Experimental Investigation of the Polarization Plane Rotation of Light in Cholesteric Liquid-Crystalline Film with an Anisotropic Defect Layer”, *Mol. Cryst and Liq. Cryst*”, Vol. 559, Iss. 1, pp. 23 – 30 (2012).
66. R. Alaverdyan, H. Gharagulyan, and H. Grigoryan, “The investigation of the behaviour of polarization of light passing through chiral liquid-crystalline photonic structures”, *Proceedings of SPIE*, Vol. 8414, 8414 12-1-6 (2012).
67. A. H. Gevorgyan, R. B. Alaverdyan, H. Gharagulyan, M. S. Rafayelyan, H. Grigoryan, «Diffusion in Liquid Crystals of Two Cholesterics with Different Pitches», *Journal of Nanophotonics*, (doi:10.1117/1.JNP.9.093591), Vol. 9 (1), p. 093591 (2015).
68. Ղարազուլյան Հերմինե Սաշայի, «Լույսի բեվեռացման վարքի հետազոտությունը խիրալ հեղուկ բյուրեղական ֆոտոնային կառուցվածքներով անցնելիս», Ատենախոսություն, Երևան, 2017թ.:
69. V.I. Kopp, A.Z. Genack, Lasing at the edge of a photonic stop band in cholesteric liquid crystals, *Leos Newsletter*, 1999, pp. 8-10.
70. R.B. Alaverdyan, A.H. Gevorgyan, A.D. Chilingaryan, Yu.S. Chilingaryan, “Influence of the layer thickness and concentration of dye molecules on the emission amplification in cholesteric liquid crystals” , *Quantum Electronics*, (2008), 38:5, 497-502.

71. C.-R. Lee, S.-H. Lin, H.-C. Yeh, T.-D. Ji, K.-L. Lin, T.-S. Mo, C.-T. Kuo, K.-Y. Lo, S.-H. Chang, Andy Y.-G. Fuh, S.-Y. Huang, "Color cone lasing emission in a dye-doped cholesteric liquid crystal with a single pitch", *Optics Express*, Vol. 17 Issue 15, pp. 12910-12921, (2009).
72. Mi-Yun Jeong and J. W. Wu, "Continuous spatial tuning of laser emissions with tuning resolution less than 1 nm in a wedge cell of dye-doped cholesteric liquid crystals", *Optics Express*, Vol. 18 Issue 23, pp. 24221-24228, (2010).
73. J.-D. Lin, C.-L. Chu, H.-Y. Lin, B. You, C.-T. Horng, S.-Y. Huang, T.-S. Mo, C.-Y. Huang, C.-R. Lee, "Wide-band tunable photonic bandgaps based on nematic-refilling cholesteric liquid crystal polymer template samples", *Optical materials Express*, Vol. 5 Issue 6, pp. 1419-1430, (2015).
74. C.-Ta Wang, T.-H. Lin, "Polarization-tunable chiral nematic liquid crystal lasing", *Jo. of App. Phys.*, 107, 123102, (2010).
75. R. Alaverdyan, T. Dadalyan, N. Hayarpetyan. Study of cholesteric liquid crystal-rhodamine 6G doped polymer thin film-cholesteric liquid crystal system. *Proc. of SPIE* 8114, 811418, 2011.
76. R. B. Alaverdyan, T. K. Dadalyan, N.S. Torosyan, A.S. Karapetyan. Luminescence spectrum thermal properties of Rhodamine 6G doped polymethyl metacrylate film sandwiched between cholesteric liquid crystal layers. *J. Phys.: Conf. Ser.* 350 (012033), 2012.
77. R. B. Alaverdyan, T. K. Dadalyan, A. S. Karapetyan, T. M. Hovhannisyan, S. I. Hovhannisyan, Yu.S. Chilingaryan. Spectral investigation of chiral photonic structure with laser dye-doped isotropic polymer film. *Proc. of SPIE*, Vol. 8475, 847518, 2012.
78. Р. Б. Алавердян, Т. К. Дадалян, Ю. С. Чилингарян. Наблюдение двух областей селективного отражения света от тонкой пленки холестерического жидкого кристалла. *Квантовая электроника*, 43, № 5, с. 433-434, 2013.
79. R. B. Alaverdyan, T. K. Dadalyan. Chiral photonic structures with anisotropic defect controlled by hydrodynamic flow. *Armenian Journal of Physics*, 6(1), pp. 55-60, 2013.

80. Դադալյան Տիգրան Կարենի, «Մաքուր եվ ներկանյութով հարստացրած խիրալ ֆոտոնիկ կառուցվածքների օպտիկական հատկությունների փորձարարական հետազոտումը»: Ատենախոսություն, Երևան, 2013թ.:
81. V. A. Belyakov. Low Threshold DFB Lasing at the Edge and Defect Modes in Chiral Liquid Crystals. *Mol. Cryst. and Liq. Cryst.* 2008, Vol. 488, 1, pp. 279-308.
82. Jurgen Schmidtke, Werner Stille, Heino Finkelmann. Defect Mode Emission of a Dye Doped Cholesteric Polymer Network. *Phys. Rev. Lett.* 2003, Vol. 90, 8, p. 083902.
83. A.H. Gevorgyan, K.B. Oganessian, E.M. Harutyunyan, S.O. Arutyunyan. The peculiarities of radiation of chiral photonic crystals with isotropic defect layer. *Optics Communications*. Vol. 283, 19, pp. 3707-3713.
84. A.H. Gevorgyan, and M.Z. Harutyunyan. Tuning of Emission Wavelength in Chiral Photonic Crystals with an Anisotropic Defect Layer. *J. Mod. Opt.* 2009, Vol. 56, 10, pp. 1163-1173.
85. S. Meiboom , M. Sammon, “Structure of the Blue Phase of a Cholesteric Liquid Crystal”, *Phys. Rev. Lett.* Vol. 44, No. 13, 1980, p. 882-885.
86. H. J. Coles, M. N. Pivnenko, “Liquid crystal ‘blue phases’ with a wide temperature range”, *Nature*, Vol. 436, 2005, p. 997-1000.
87. В. А. Беляков, В. Е. Дмитриенко, ”Голубая Фаза Жидких Кристаллов”, *Успехи Физических Наук*, Том 146, вып. 3, 1985, стр. 369-413.
88. I.J. Hodgkinson, et al., “Supermodes of chiral photonic filters with combined twist and layer defects”, *Phys. Rev. Lett.* 2003. Vol. 91. P. 223 903–4.
89. A.H. Gevorgyan, A. Kocharian, G.A. Vardanyan, “Accumulation and transmission of light energy in nonreciprocal multilayer systems”, *Opt. Commun.*, Vol. 259. 2006, p.455.
90. V. I. Kopp, A. Z. Genack. Twist defect in chiral photonic structures. *Phys. Rev. Lett.* 2002, Vol. 89, pp. 033901-4.
91. J.-Y. Chen, L.-W. Chen, “Defect modes in a stacked structure of chiral photonic crystals”, *Phys. Rev. E.* 2005. Vol. 71. P. 061708.

92. T. Matsui, M. Ozaki, K. Yoshino. Tunable photonic defect modes in a cholesteric liquid crystal induced by optical deformation of helix. *Phys. Rev. E*. 2004, Vol. 69, p. 061715.
93. Алавердян Р.Б., Аллахвердян К.Р., Геворгян А.А., Чилингарян А.Д., Чилингарян Ю.С. *ЖТФ*, 2010, том 80, вып. 9, с 85-90.
94. Gevorgyan H., Harutyunyan M.Z. // *Phys. Rev. E*. 2007. Vol. 76. P. 031 701.
95. Геворгян А.А. // *Письма в ЖТФ*. 2008. Т. 34. С. 80.
96. М. В. Курик, О. Д. Лаврентович. Дефекты в жидких кристаллах: гомотопическая теория и экспериментальные исследования.// *Успехи физических наук*, 1988, Том 154, вып. 3, с. 381-431.
97. Toulouse G., Kleman L., // *J. de Phys. Lett.* 1976, T. 37, P.L-149.
98. Kleman, M., Lavrentovich, O. *Soft Matter Physics*. New York : Springer, 2003.
99. Dierking, Ingo. *Textures of Liquid Crystals*. Weinheim : WILEY-VCH, 2003. p. 218.
100. F. Zhang and D.-K. Yang. Evolution of disclinations in cholesteric liquid crystals. *PHYSICAL REVIEW E*. 2002, Vol. 66, 4, pp. 041701-6.
101. Ալավերդյան Ռ.Բ., Ասլանյան Լ.Ս., “Լույսի քվեռադումը և նրա հետազոտումը”, ԵՊՀ հրատ. Երևան, 2014.
102. Стойбер Р., Морзе С. Определение кристаллов под микроскопом. –М.: Мир.1974.
103. Helfrich W. Capillary flow of cholesteric and smectic liquid crystals. *Phys Rev Lett*. 1969 Aug 18;23:372–374. doi:10.1103/PhysRevLett.23.372.
104. Ciliberti DF, Dixon GD, Scala LC. Shear effects on cholesteric liquid crystals. *Mol Cryst Liq Cryst*. 1973 Feb 01;20:27–36. doi:10.1080/15421407308083296.
105. Kini U.D. Shear flow of cholesterics normal to the helical axis. *J De Phys Colloques*. 1979;40:C3-62-C3-6.
106. Bartolino R, Simoni F, Scaramuzza N. Preliminary results on the elastooptic behavior of a cholesteric liquid crystal. *Mol Cryst Liq Cryst*. 1981 Aug 01;70:315–322. doi:10.1080/00268948108073597.

107. Scaramuzza N, Carbone V, Barberi R. Dynamical response of cholesteric liquid crystals to mechanical shearing deformations. *Mol Cryst Liq Cryst.* 1991 Jan 01;195:31–37. doi:10.1080/00268949108030887.
108. Derfel G. Shear flow induced cholesteric-nematic transition. *Mol Cryst Liq Cryst.* 1983 Jan 01;92:41–47. doi:10.1080/01406568308084517.
109. Rey AD. Flow alignment in the helix uncoiling of sheared cholesteric liquid crystals. *Phys Rev E.* 1996 Apr 01;53:4198–4201. doi:10.1103/PhysRevE.53.4198.
110. Shibaev PV, Rivera P, Teter D, et al. Color changing and lasing stretchable cholesteric films. *Opt Express.* 2008 Mar 03;16:2965–2970. doi:10.1364/OE.16.002965.
111. V.A. Belyakov, A.A. Gevorgian, O.S. Eritsian and N.V. Sipov “Effect of anomalously strong absorption in cholesterics”, *Sov. Phys. Technical Physics*, 32(7), 843-845(1987)
112. A.H. Gevorgyan, “Mechanisms of Anomalous absorption of radiation in media with periodical structure”, *Mol. Cryst. Liquid Cryst.*, 378, 129-146 (2002).
113. A.H. Gevorgyan, “Resonant interaction of light with a stack of alternating layers of a cholesteric liquid crystal and an isotropic medium”, *Phys. Rev. E*, 92, 062501 (2015).
114. S. M. Morris, A. D. Ford, M. N. Pivnenko, H. J. Coles, The effects of reorientation on the emission properties of a photonic band edge liquid crystal laser, *J. Opt. A: Pure Appl. Opt.* 7 (2005) 215–223
115. S. G. Lukishova, K. S. Lebedev, and E. A. Magulariya, S. V. Belyaev, N. V. Malimonenko, A. W. Schmid, “Nonlinear “brightening” of a film of nonabsorbing chiral nematic under selective reflection conditions”, *Pis'ma Zh. Eksp. Teor. Fiz.* 63, No. 6, 403–407, 1996.
116. R.B. Alaverdyan, S. M. Arakelyan, Yu. S. Chilingaryan, “Optical bistability in a nonlinear system with distributed feedback (Experiment)”, *Pis'ma Zh. Eksp. Teor. Fiz.* 42, No. 9, 366–369.
117. S.V. Belyaev, L.M. Blinov, “Step unwinding of a spiral in a cholesteric liquid crystal”, *JETP lett.* Vol. 30, No. 2., 1979.

118. Lukishova S.G., Magalariya E.A., Lebedev KS. Experimental observation of Nd: YAG laser field induced nonlinear frustration of selective Bragg reflection in the cholesteric liquid crystal. *Proc SPIE*. 1996;2800:2800–2800-9.
119. Coles H, Morris S. Liquid-crystal lasers. *Nat Photonics*. 2010 Oct;4:676–685. doi:10.1038/nphoton.2010.184
120. Penninck L, Beeckman J, De Visschere P, et al. Numerical simulation of stimulated emission and lasing in dye doped cholesteric liquid crystal films. *J Appl Phys*. 2013;113:063106. doi:10.1063/1.4790873.
121. Schmidtke J, Jünnemann G, Keuker-Baumann S, et al. Electrical fine tuning of liquid crystal lasers. *Appl Phys Lett*. 2012;101:051117. doi:10.1063/1.4739840.
122. Huang Y, Zhou Y, Doyle C, et al. Tuning the photonic band gap in cholesteric liquid crystals by temperature dependent dopant solubility. *Opt Express*. 2006 Feb 6;14:1236–1242. Epub 2006 Feb 06. doi:10.1364/OE.14.001236
123. Lin T-H, Chen Y-J, Wu C-H, et al. Cholesteric liquid crystal laser with wide tuning capability. *Appl Phys Lett*. 2005; 86:161120. doi:10.1063/1.1897439.
124. Wang C-T, Lin T-H. Multi-wavelength laser emission in dye-doped photonic liquid crystals. *Opt Express*. 2008 Oct 27;16:18334–18339. Epub 2008 Oct 30. doi:10.1364/OE.16.018334
125. Chilaya G, Chanishvili A, Petriashvili G, et al. Enhancing cholesteric liquid crystal laser stability by cell rotation. *Opt Express*. 2006 Oct 16;14:9939–9943. doi:10.1364/OE.14.009939.
126. Jeong M-Y, Wu JW. Continuous spatial tuning of laser emissions with tuning resolution less than 1 nm in a wedge cell of dye-doped cholesteric liquid crystals. *Opt Express*. 2010 Nov 8;18:24221–24228. Epub 2010 Dec 18. doi:10.1364/OE.18.024221
127. Sheng-Chieh C, Jia-De L, Chia-Rong L, et al. Multiwavelength laser tuning based on cholesteric liquid crystals with nanoparticles. *J Phys D Appl Phys*. 2016;49:165102. doi:10.1088/0022-3727/49/16/165102.

128. Ozaki R, Shinpo T, Moritake H. Improvement of orientation of planar cholesteric liquid crystal by rapid thermal processing. *Appl Phys Lett.* [2008](#);92:163304. doi:[10.1063/1.2913686](#).
129. Espinet H, Lesiecki M, Ramsburg M, et al. Attempt to observe Nd: YAG laser induced nonlinear reflection in cholesteric and cholesteric/nematic mixtures of liquid crystals. *J Appl Phys.* [1986](#);59:1386–1387.
130. Kazuhiro F, Masanori O, Katsumi Y. Discontinuous shift of lasing wavelength with temperature in cholesteric liquid crystal. *JJAP.* [2003](#);42:L1523.
131. Porenta T, Ravnik M, Zumer S. Complex field-stabilised nematic defect structures in Laguerre- Gaussian optical tweezers. *Soft Matter.* [2012](#);8:1865– 1870.
132. Loussert C, Brasselet E. Multiple chiral topological states in liquid crystals from unstructured light beams. *Appl Phys Lett.* [2014](#);104:051911.
133. Lee CR, Lin SH, Yeh HC, et al. Color cone lasing emission in a dye-doped cholesteric liquid crystal with a single pitch. *Opt Express.* [2009](#);17:12910– 12921.
134. Li J, Wu S-T, Brugioni S, et al. Infrared refractive indices of liquid crystals. *J Appl Phys.* [2005](#); 97: 073501.

Օգտագործված հապավումների ցանկը

ՖԲ – ֆոտոնային բյուրեղ,

ՖԱԳ – ֆոտոնային արգելված գոտի,

ՖԿ – ֆոտոնային կառուցվածք,

ՀԲ – հեղուկ բյուրեղ,

ՆՀԲ – նեմատիկ հեղուկ բյուրեղ,

ԽՀԲ – խոլեստերիկ հեղուկ բյուրեղ,

ՀԲՖԿ – հեղուկ բյուրեղային ֆոտոնային կառուցվածք,

ՍՀԲ – սմեկտիկ հեղուկ բյուրեղ,