

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

ՄԱՐԳԱՐԻՏ ՌԱՖԻԿՅԻ ՀԱԿՈՔՅԱՆ

**ԼՈՒՍԱՅԻՆ ՓՆՁԵՐԻ ԲԵՎԵՌԱՑՄԱՆ ՈՒ ԻՆՏԵՆՍԻՎՈՒԹՅԱՆ
ՂԵԿԱՎԱՐՄԱՆ ՀԵՂՈՒԿ ԲՅՈՒՐԵՂԱԿԱՆ ՏԱՐԲԵՐԻ
ԿԱՏԱՐԵԼԱԳՈՐԾՈՒՄԸ ՆԱԼՈՍԱՆԻՎՆԵՐՈՎ**

Ա.04.05 «Օպտիկա» մասնագիտությամբ
ֆիզիկա-մաթեմատիկական գիտությունների թեկնածուի
գիտական աստիճանի հայցման ատենախոսության

Ս Ե Ղ Մ Ա Գ Ի Դ

Ե Դ Ե Վ Ա Ն – 2015

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РА
ЕРЕВАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ**

МАРГАРИТ РАФИКОВНА АКОПЯН

**УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ЖИДКОКРИСТАЛЛИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ
УПРАВЛЯЮЩИХ ПОЛЯРИЗАЦИЕЙ И ИНТЕНСИВНОСТЬЮ СВЕТОВЫХ
ПУЧКОВ НАНОЧАСТИЦАМИ**

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени кандидата
физико-математических наук по специальности
01.04.05 – Оптика

Е Р Е В А Ն – 2015

Ատենախոսության թեման հաստատվել է Երևանի պետական համալսարանում

Գիտական ղեկավար՝ ֆ.-մ.գ.դ., պրոֆեսոր Ռ.Բ. Ալավերդյան

Պաշտոնական ընդդիմախոսներ՝ ֆ.-մ. գ. դ., պրոֆեսոր Ա.Հ.Գևորգյան
ֆ.-մ. գ. դ. Գ.Հ.Ադունց

Առաջատար կազմակերպություն՝ Հայ-ռուսական (սլավոնական) համալսարան

Ատենախոսության պաշտպանությունը կայանալու է “11” ապրիլի 2015թ. ժամը 12:00 - ին, Երևանի պետական համալսարանի 049 ֆիզիկայի մասնագիտական խորհրդի նիստում:

Հասցեն՝ 0025, Երևան, Ալեք Մանուկյան, 1:

Ատենախոսությանը կարելի է ծանոթանալ ԵՊՀ գրադարանում:

Մեղմագիրն առաքված է “06” մարտի 2015թ.

Մասնագիտական խորհրդի գիտական քարտուղար՝ ֆ.-մ. գ. թեկնածու, դոցենտ,



Վ.Պ. Քալանթարյան

Тема диссертации утверждена в Ереванском государственном университете.

Научный руководитель: доктор ф.-м. н., профессор Р.Б. Алавердян

Официальные оппоненты: доктор ф.-м. н., профессор А.А.Геворгян
доктор ф.-м. н., Г.Г. Адонц

Ведущая организация: Российско-армянский (славянский) университет

Защита диссертации состоится “11” апреля 2015г. в 12:00 часов на заседании специализированного совета 049 по физике Ереванского государственного университета по адресу: 0025, Ереван, ул. Алека Манукяна 1.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ЕГУ.

Автореферат разослан “06” марта 2015г.

Ученый секретарь специализированного совета, кандидат ф.-м. н., доцент,



В. П. Калантарян

Թեմայի արդիականությունը

Վերջին տասնամյակների նշանակալից հաջողություններից է հեղուկ բյուրեղների (ՀԲ) կիրառությունը ժամանակակից օպտիկական տեխնոլոգիաներում: Հեղուկ բյուրեղներն ունեն անսովոր, որոշ դեպքերում, եզակի հատկություններ ավանդական օպտիկական միջավայրերի համեմատ: Դրանցից է միջավայրի այնպիսի օպտիկական հատկությունների սահուն ու խիստ տեղային դեկավարման հնարավորությունը, ինչպիսիք են լույսի բաց թողումը, ցրումը, բևեռացումը, բեկումը, անդրադարձումը, կլանումը և գունային պարամետրերը [1,2]: Այդպիսի դեկավարումը կարելի է իրականացնել էլեկտրական ու մագնիսական դաշտերով, լուսային ալիքներով, մեխանիկական, ջերմային ու քիմիական ազդեցություններով, հիդրոդինամիկական հոսքերով և այլն [3,4]: ՀԲ-ները օգտագործում են ինչպես օպտիկական տարրերում, որոնք կազմում են նոր տարրային հենք, այնպես էլ նոր գործառական հնարավորություններով օպտիկական համակարգերում: Իմաստ ունի առանձնացնել ՀԲ-ային նյութերի կիրառման երեք հիմնական բնագավառներ. ՀԲ-ային էկրաններ, օպտիկական սարքեր ու գրանցող միջավայրեր:

ՀԲ-ների վրա հիմնված էկրաններն ունեն կառուցվածքային բազմազանություն, արտադրվում են միլիոնավոր քանակներով, օգտագործվում են բազմաքանակ սարքավորումներում և լայնորեն մտել են մեր առօրյա կյանքը [5,6]: ՀԲ-ային օպտիկական տարրերը համատարած օգտագործվում են. 1) փոքրաչափ էկրաններում, ինչպիսիք են մանրահաշվիչները, բջջային հեռախոսները, թվայնացված տեսախցիկները և վիրտուալ իրականության սաղավարտները, 2) միջին չափերի էկրաններում, ինչպիսիք են բազմազան բնույթի համակարգիչները, 3) մեծ չափերի էկրաններում, ինչպիսիք են անմիջական դիտման ու պրոեկցիոն հեռուստացույցները [7,8]: Դրանք ունեն մի շարք առավելություններ՝ բարձր լուծողունակություն, պայծառություն և, որպես հարթ էկրան, թեթև են, էներգատնտես և, նույնիսկ որոշ դեպքերում, ճկուն:

ՀԲ-ները օգտագործում են նաև ֆոտոնային սարքերում լազերային ճառագայթման կառավարման նպատակով, որպես օպտիկական սահմանափակիչներ, փոփոխական օպտիկական կլանիչներ, դեկավարվող կիզակետով ոսպնյակներ, բարձր էֆեկտիվության բևեռացուցիչներ, կոհերենտ-ոչկոհերենտ հայելիներ, լազերային կամ ուղղակի օպտիկական ճառագայթների միավորման համար և այլն [9-12]:

Կասկած չկա, որ ՀԲ-ները այսուհետ նույնպես կունենան մեծագույն դերակատարում տեղեկատվական ու կենսաբանական տեխնոլոգիաների և տեղեկույթի մաքուր օպտիկական մշակման բնագավառներում: Սակայն նոր կիրառությունները պահանջում են նոր կոմպոզիցիոն նյութեր, հաճախ շատ տարաբնույթ հատկություններով, որոնց ստեղծման համար անհրաժեշտ են նոր տեխնոլոգիաներ: Այսպես օրինակ, հեռուստահաղորդակցության բնագավառում պահանջվում են

ՀԲ-ներ, որոնք օժտված են մեծ երկրեկումով, բայց փոքր բեկման ցուցիչով, աղապտիվ ՀԲ օպտիկան կարիք ունի շատ մեծ անփզտրոպություն և փոքր մածուցիկությամբ նյութերի: Տերահերցային հաճախությունների տիրույթում շատ խոստումնալից կիրառություններ ճնշված են ՀԲ-ների ուժեղ կլանման պատճառով, բուռն զարգացող կենսատեխնոլոգիաները կարիք ունեն թերմոտրոպ ՀԲ-ների փոխարեն ջրի վրա հենված լիոտրոպ ՀԲ-ների և այլն: Ամբողջ այս նոր տեխնոլոգիաներն ու արդյունաբերությունը հրատապ են դարձնում սկզբունքորեն փոխելու ՀԲ-ային գիտության շեշտադրումները և հարստացնելու ՀԲ-ային բաղադրյալ նյութերի հնարավորությունները: Այդպիսի նյութերից այսօր մեծ ուշադրության են արժանացել ֆեռոէլեկտրական (ՖԷ), ֆեռոմագնիսական (ՖՄ) և ֆուլերենային նանոմասնիկներով (ՆՄ) հարստացված հեղուկ բյուրեղները [13-19]:

Հեղուկ բյուրեղային բջիջների հիման վրա պատրաստված ցանկացած բնույթի սարքերի հարատև աշխատանքի համար կարևորագույն հատկանիշներից մեկը ՀԲ-ի կողմնորոշման կայունությունն է: Խոսքը գնում է նաև տարբեր բնույթի արատների առաջացման նկատմամբ կայունության մասին: Վերջինս այն իմաստով, որ առաջացած արատները ոչ թե զարգանան այլ “ճնշվեն”: Առավել ևս խոսքը գնում է օպտիկական ճառագայթների ղեկավարման համար նախատեսված սարքերի մասին, որովհետև, եթե այդ արատների չափերը մոտ են միկրոմետրին, ապա անցած լույսը կրում է շատ ինտենսիվ ցրում: Այդ պատճառով խիստ կարևոր է ուսումնասիրել ՀԲ-ի գործնական տեսակետից կարևոր կողմնորոշման տեսակների կայունությունը տարբեր ազդեցությունների նկատմամբ, այդ թվում նաև նանոմասնիկների առկայությամբ: Ուսումնասիրել և տալ կարևոր առաջարկություններ նման բջիջների օգտագործման վերաբերյալ:

Աշխատանքի նպատակը

Մույն ատենախոսության նպատակն է հանդիսացել տեսական ու փորձարարական ճանապարհներով կանխատեսել և ուսումնասիրել նոր երևույթներ նանոմասնիկներով հարստացված ՀԲ-ներում, առաջարկել մեխանիզմներ ՀԲ-ային օպտիկական տարրերի ֆիզիկական ու տեխնոլոգիական հատկությունների բարելավման համար, ուսումնասիրել նման տարրերում մոլեկուլների կողմնորոշման տարբեր կառուցվածքների կայունությունը և նանոմասնիկների ազդեցությունը դրա վրա:

Գիտական նորույթը

Աշխատանքի գիտական նորույթը որոշվում է առաջին անգամ իրականացված տեսական և փորձարարական աշխատանքների հետևյալ համախմբությամբ՝

- Առաջին անգամ կառուցվել է ՆՄ-ներով հարստացված նեմատիկ հեղուկ բյուրեղների (ՆՀԲ) վիճակագրական մեխանիկան: Տեսականորեն ուսումնասիրվել է

նման բաղադրյալի նեմատիկ-իզոտրոպ հեղուկ փուլային անցման վիճակագրությունը:

- Առաջին անգամ տեսականորեն ու փորձնականորեն ցույց է տրվել, որ ՖԷ ՆՄ-ները բարձրացնում են օպտիկական տարրում ՆՀԲ-ի կարգավորվածության աստիճանը և նեմատիկ-իզոտրոպ հեղուկ փուլային անցման ջերմաստիճանը: Դա պայմանավորված է ՆՀԲ-ի մոլեկուլների ու ՆՄ-ների դիպոլ-դիպոլային փոխազդեցությունով:
- Առաջին անգամ տեսականորեն ցույց է տրվել, որ օպտիկական տարրում ՆՀԲ-ի մոլեկուլների և ֆեռոմագնիսական ՆՄ-ների դիպոլ-դիպոլային փոխազդեցությունը չի բացատրում փորձով դիտված նեմատիկ-իզոտրոպ հեղուկ փուլային անցման ջերմաստիճանի փոփոխությունը: Այն պայմանավորված է մակերևույթային ակտիվ նյութի ու ՆՀԲ-ի մոլեկուլների փոխազդեցությունով:
- Առաջին անգամ տեսականորեն ու փորձնականորեն ցույց է տրվել, որ ֆեռո-էլեկտրական նանոմասնիկները կտրուկ իջեցնում են ՆՀԲ-ում էլեկտրական Ֆրեդերիկսի անցման շեմը, իսկ ֆեռոմագնիսական նանոմասնիկները կտրուկ իջեցնում են մագնիսական Ֆրեդերիկսի անցման շեմը:
- Տեսականորեն ուսումնասիրվել է քիչ քանակությամբ խոլեստերիկ հեղուկ բյուրեղով (ԽՀԲ) խառնված օպտիկական տարրում ՆՀԲ-ի մոլեկուլների համասեռ կողմնորոշման կայունությանը: Ուսումնասիրվել են ՀԲ բջջիջներ՝ սահմանների վրա մոլեկուլների հոմեոտրոպ և թվիստ կողմնորոշումներով: Ցույց է տրվել, որ էկրանների կատարելագործման համար անհրաժեշտ նանոմասնիկների կոնցենտրացիաները չեն ազդում քննարկված օպտիկական տարրերի կայունության վրա:
- Հեղուկ բյուրեղային օպտիկական տարրում, առաջին անգամ ուսումնասիրվել է ՆՀԲ մոլեկուլների շառավղային և ազիմուտային կողմնորոշումների կայունությունը ֆլեքսաէլեկտրականության առկայությամբ:

Կիրառական նշանակությունը

Ատենախոսական աշխատանքի շրջանակներում ստացված արդյունքները կարող են օգտագործվել հեղուկ բյուրեղյա օպտիկական սարքերի կատարելագործման և նրանց հուսալիության աստիճանի բարձրացման համար՝ արդյունաբերության, բժշկագիտության, ռազմական արդյունաբերության և այլ բնագավառներում: Մասնավորապես, այս արդյունքները կարող են օգտագործվել ՀԲ-ային էկրանների էներգատնտեսման և ցայտունության բարձրացման, բժշկական հեղուկ բյուրեղյա նոր սերնդի դիագնոստիկ սարքերի նախագծման և կատարելագործման համար, և այլն: Շառավղային վեկտորական մրկային ալիքաթիթեղների հետ կապված արդյունքները կարող են օգտագործվել աստղագիտության մեջ էկզոմոլորակներ ուսումնասիրելու համար:

Պաշտպանության ներկայացված հիմնական դրույթները

1. Օնգագերի հայտնի տեսությունը կիրառելի է նաև ոչ մեծ կոնցենտրացիայով նանոմասնիկներով հարստացված ՆՀԲ-ի համար: Նանոմասնիկները էապես մեծացնում են ՆՀԲ-ի կողմնորոշումային կարգավորվածության աստիճանը:
2. Ըստ կշռի մեկ տոկոսից փոքր կոնցենտրացիայով ՖԷ նանոմասնիկների ներարկումը ՆՀԲ-ի մեջ էապես մեծացնում է վերջինիս անիզոտրոպությունը, կարգավորվածության աստիճանը և նեմատիկ-իզոտրոպ հեղուկ ջերմադինամիկական փուլային անցման ջերմաստիճանը: Օպտիկական տարրում ՆՀԲ-ի մոլեկուլների ու ֆեռոմագնիսական ՆՄ-ների դիպոլ-դիպոլային փոխազդեցությունը չի բացատրում փորձով դիտված նեմատիկ-իզոտրոպ հեղուկ փուլային անցման ջերմաստիճանի փոփոխությունը: Այն պայմանավորված է մակերևույթային ակտիվ նյութի ու ՆՀԲ-ի մոլեկուլների փոխազդեցությունով:
3. ՆՀԲ օպտիկական տարրում ըստ կշռի մեկ տոկոսից փոքր կոնցենտրացիայով ՖԷ նանոմասնիկները կտրուկ իջեցնում են էլեկտրական դաշտում Ֆրեդերիկ-սի անցման շեմը, իսկ ՖՄ նանոմասնիկները՝ մագնիսական դաշտում անցման շեմը:
4. Թվիստ բջիջներում ուղղորդի կողմնորոշումը կարող է կայուն մնալ նույնիսկ $\pi/2$ -ից շատ մեծ անկյունների դեպքում, եթե ՆՀԲ-ին ավելացրած լինի քիչ քանակությամբ ԽՀԲ:
5. Ավանդական ՀԲ-ներից պատրաստված շառավղային բախման օպտիկական ալիքաթիթեղներում կայուն վիճակ կարող է լինել միայն, երբ դրանց չափերը չեն գերազանցում նանոմետրական մասշտաբները (փոքր են միկրոմետրից): Ֆլեքսաէլեկտրականության առկայությամբ կարելի է հասնել միկրոմետրերի: Ավանդական հեղուկ բյուրեղներով հնարավոր չէ ստանալ մեկ միկրոմետրից մեծ շառավղով ազիմուտային բախշվածությամբ ալիքաթիթեղներ: Ավելի մեծ չափերի թիթեղներ ստանալու համար պետք է օգտագործել պոլիմերային հեղուկ բյուրեղներում ֆոտոկողմնորոշման տեխնոլոգիան:

Աշխատանքի ծավալը

Ատենախոսությունը բաղկացած է ներածությունից, չորս գլուխներից, ամփոփումից և 141 հղումներ պարունակող գրականության ցանկից: Աշխատանքի ընդհանուր ծավալը կազմում է 113 էջ, ներառյալ 20 նկարները:

Աշխատանքի ապրոքացիան

Աշխատանքի հիմնական արդյունքները զեկուցվել են Վանաձորի մանկավարժական ինստիտուտի հանրապետական երիտասարդական գիտաժողովում, Վանաձոր, ՀՀ, 2011, “Optics of liquid Crystals – 2011” միջազգային գիտաժողովում, Երևան, ՀՀ, “International OSA Network of Students IONS-12”, Իտալիա, 2012 և “IONS-Armenia”, Երևան-Աշտարակ, ՀՀ, 2013 գիտաժողովներում: Արդյունքները նաև պարբերաբար քննարկվել են ԵՊՀ օպտիկայի ամբիոնի սեմինարների ընթացքում:

Հրատարակությունները

Ատենախոսության աշխատանքների թեմայով հրատարակված է 9 գիտական հոդված և 3 թեզիս, որոնց ցանկը ներկայացված է սեղմագրի վերջում:

ԱՇԽԱՏԱՆՔԻ ԲՈՎԱՆԴԱԿՈՒԹՅՈՒՆ

Ներածությունում հիմնավորված է ատենախոսության թեմայի արդիականությունը, ներկայացված է աշխատանքի գիտական նորույթը, ձևակերպված է հակիրճ բովանդակությունը, կիրառական նշանակությունը և պաշտպանության ներկայացված հիմնական դրույթները:

Գլուխ 1-ում բերված է ատենախոսության թեմային առնչվող գրականության վերլուծությունը: Այն բաղկացած է ութ պարագրաֆներից:

§1.1-ում ներկայացված են հեղուկ բյուրեղների հիմնական բնութագրերը:

§1.2-ում ներկայացված են հեղուկ բյուրեղների կարգավորվածության վիճակագրական տեսությունները:

§1.3-ում վերլուծված է հեղուկ բյուրեղի ազատ էներգիայի Լանդաու-դե Շենի մոդելը:

§1.4-ում քննարկվում է հեղուկ բյուրեղներում Ֆրեդերիկսի անցման առանձնահատկությունները:

§1.5-ում ներկայացված է Էյլեր - Լագրանժ - Ռեյլիի վարիացիոն հավասարումները:

§1.6-ում քննարկվում է Նյոթերի առաջին թեորեման և հեղուկ բյուրեղի կողմնորոշման կայունությունը:

§1.7-ում բերված է հեղուկ բյուրեղային որոշ տարրերի համառոտ նկարագրությունը:

§1.8-ում ներկայացված է ֆեռոէլեկտրական ու ֆեռոմագնիսական նանոմասնիկներով հարստացված հեղուկ բյուրեղների արդեն հայտնի որոշ առանձնահատկություններ:

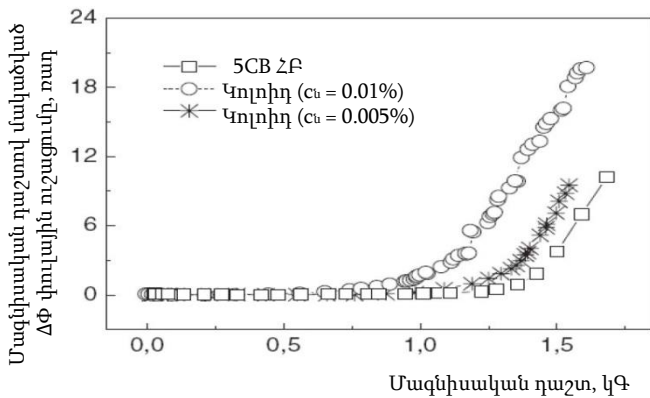
Գլուխ 2-ը նվիրված է ՀԲ-ների նանոմասնիկներով հարստացված լուծույթների պատրաստման սկզբունքներին և բարդություններին: Ցույց է տրվել, որ մագնիսական/էլեկտրական կոլոիդները կարող են էֆեկտիվ ձևով օժանդակել թույլ մագնիսական/էլեկտրական դաշտի հետ հեղուկ բյուրեղի փոխազդեցությանը: Ֆենոմենոլոգիական տեսությամբ դիտարկված է մագնիսական/էլեկտրական դաշտում Ֆրեդերիկսի անցումը ՖՄ/ՖԷ գնդաձև ՆՄ-ներով հարստացված պլանար կողմնորոշված ՆՀԲ-ներում: Ցույց է տրվել, որ նույնիսկ գնդաձև ՆՄ-ները կարող են իջեցնել անցման շեմը շնորհիվ նրանց միջոցով միջավայրում մագնիսական/էլեկտրական դաշտի կտրուկ մեծացման: Դիտարկված երևույթը մատնա-

նշում է, որ նման համակարգերը կարող են օգտագործվել մագնիսա/էլեկտրա-օպտիկական էկրաններում:

§2.1-ը և §2.9-ը ներածական ու ամփոփիչ պարագրաֆներ են: §2.2-ում և §2.3-ում քննարկվում են ֆեռոէլեկտրական ու ֆեռոմագնիսական նանոմասնիկների պատրաստման մեթոդները: Նանոմասնիկների հատկությունները խիստ կախված են դրանց չափերից և տրամագծորեն տարբերվում են մակրոսկոպական նյութի հատկություններից: Այսպես, ՖԷ մասնիկների բավական մեծ չափերի դեպքում ՖԷ նյութերը կազմում են բազմադոմենային կառուցվածք: Նման մասնիկների մակրոսկոպական բևեռացումը շատ փոքր է և գերադասելի է աշխատել միադոմենային մասնիկների հետ: Անցումը միադոմենային կառուցվածքի տեղի է ունենում մասնիկների 15–20նմ չափերի դեպքում: Մասնիկների չափերի հետագա փոքրացումը բերում է նրան, որ ՖԷ միջին դաշտը դառնում է անբավարար ՖԷ հիմնային վիճակը պահելու համար: Դա սովորաբար տեղի ունի 5նմ-ից փոքր մասնիկների համար: Այս տեսակետից, որպեսզի ստանանք հաստատուն բևեռացման մեծագույն արժեք, ՀԲ-ային կոլոիդներում մասնիկների օպտիմալ չափը պետք է լինի 10–100նմ միջակայքում: Միևնույն ժամանակ, որպեսզի ունենանք կայուն կոլոիդ առանց ուղղորդի խոտորումների, գերադասելի է, որ մասնիկների չափերը լինեն հնարավորինս փոքր: Սա նշանակում է, որ մասնիկների ցանկալի չափերը պետք է լինեն 10նմ-ի կարգի: Տաս նանոմետրից փոքր չափերի նանոմասնիկների անցանկալի կուտակումները նվազեցնելու համար մասնիկների մակերևույթները պատում են մակերևույթային ակտիվ նյութով (ՄԱՆ): Վերջիններիս դերը կայանում է բացառված ծավալի ընդարձակումը (այլ խոսքով, տարածական վանման շառավղի մեծացումը) և մասնիկի շուրջը ՀԲ-ի կարգավորվածության պարամետրի խոտորումների “ողորկումը”: Հիշենք, որ այդ խոտորումները պայմանավորված են մասնիկների մակերևույթի հետ ՀԲ մոլեկուլների փոխազդեցությունով:

§2.4-ում փորձարարական ճանապարհով, իսկ §2.5-ում և §2.6-ում տեսականորեն ուսումնասիրվել են ՖՄ ՆՄ-ի ազդեցությունը ՀԲ-ների նեմատիկ - իզոտրոպ թերմոդինամիկական փուլային անցման ջերմաստիճանի և մագնիսական դաշտում Ֆրեդերիկսի անցման շեմի վրա: Ցույց է տրվել, որ առաջին դեպքում ազդեցությունը փորձի սխալի սահմաններում է, իսկ Ֆրեդերիկսի անցման շեմը կարող է իջնել ավելին քան 1.5 անգամ: Ուսումնասիրել ենք 5CB հեղուկ բյուրեղի $L = 50$ մկմ հաստության շերտ, հարստացված երկարաձգված $\gamma\text{-Fe}_3\text{O}_4$ ՖՄ ՆՄ-ներով: Մագնիսական դաշտի նկատմամբ ունեցած զգայունությունը ստուգելու համար մենք ուսումնասիրել ենք բջիջների մագնիսաօպտիկական արձագանքը պլանար կողմնորոշված մակերևույթով տարբեր կոնցենտրացիաներով խառնուրդների համար: Բջիջները տեղադրվել են էլեկտրամագնիսական բևեռների միջև, որի դաշտը փոփոխվում էր 0.2-2 կիլոգաուս տիրույթում: Չափվող տիրույթի ջերմաստիճանը ($25 \pm 0.5^\circ\text{C}$) կայունացնելու համար մագնիսը ծածկվել է կափարիչով: Մագնիսական դաշտի H լարվածությունը և ՀԲ-ի n ուղղորդը ընտրված են իրար ուղղահայաց: ՀԲ-ային մատրիցայում ՖՄ ՆՄ-ների բևեռային

կողմնորոշումն ապահովելու համար n վեկտորի երկայնքով կիրառվել է փոքր կողմնակի $H=0.2$ կիլոգրամու դաշտ: Բջջի արձագանքը դաշտի կիրառման նկատմամբ գրանցվել է չափելով նրա օպտիկական $\Delta\Phi$ փուլի ուշացման կախվածությունը մագնիսական դաշտի H լարվածությունից: Այս փորձը իրականացնելու համար բջիջը դրվել է խաչված բևեռիչների միջև, որոնց առանցքները կազմել են 45° -ի անկյուն ուղղորդի նկատմամբ: Չափվել է համակարգով անցած փորձնական ճառագայթի ինտենսիվության կախվածությունը մագնիսական դաշտի լարվածությունից: Այս չափումներից ստացվել է օպտիկական փուլի $\Delta\Phi(H)$ ուշացման կախվածությունը մագնիսական դաշտի լարվածությունից մասնիկների տարբեր կոնցենտրացիաներով (0.01 և 0.005 wt.%) երկու նմուշների համար: Նկ. 1-ում պատկերված են այդ կախվածությունները և նույնը մաքուր 5CB ՀԲ-ի համար: Բոլոր երեք կորերի համար առկա են շեմային բնութագրերը:



Նկ. 1. Մագնիսականորեն մակաձված երկբեկման կախվածությունը մագնիսական դաշտից

Հաշվարկների համար ենթադրենք ունենք R շառավղով, m մագնիսական մոմենտով $\mathcal{S}U$ $\mathcal{N}U$ -ներ, որոնք շրջապատված են $\mathcal{N}Z\mathcal{F}$ -ի մոլեկուլներով և խառնուրդի ազատ էներգիան գրենք \mathcal{L} անդաու-դե Փենի ազատ էներգիայի տեսքով: Այդ դեպքում, $\mathcal{N}U$ -ների առկայության պատճառով, $\mathcal{N}Z\mathcal{F}$ -ի փուլային անցման ջերմաստիճանի տեղաշարժի համար կունենանք՝

$$\Delta T_{lp} = \frac{\pi\phi_{\mathcal{N}U}R^3}{3\rho_{\mathcal{Z}\mathcal{F}}T_{lp}} \left(\frac{32\pi^2}{675k_F} \chi_a M^2 \right)^2 \quad (1)$$

Այստեղ մենք կատարել ենք հետևյալ նշանակումները՝ $\phi_{\mathcal{N}U} = \rho_{\mathcal{N}U}V_{\mathcal{N}U}$, $m = MV_{\mathcal{N}U}$ և $V_{\mathcal{N}U} = \frac{4}{3}\pi R^3$, որտեղ $\phi_{\mathcal{N}U}$ -ը նանոմասնիկների ծավալային կոնցենտրացիան է, M -ը միավոր ծավալի մագնիսական մոմենտն է, $\rho_{\mathcal{Z}\mathcal{F}}$ -ը՝ ՀԲ-ի մոլեկուլների կոնցեն-

տրացիան, $\rho_{\text{մ}}-\text{ը}$ միավոր ծավալում նանոմասնիկների թիվը, $T_{\text{դր}}-\text{ը}$ մաքուր չԲ-ի փուլային անցման ջերմաստիճանը, $k_{\text{բ}}-\text{ը}$ Բոլցմանի հաստունը, իսկ $\chi_a-\text{ն}$ մագնիսական թափանցելիության անիզոտրոպությունը: Որպեսզի գնահատենք փուլային անցման ջերմաստիճանի $\Delta T_{\text{դր}}$ շեղումը թվապես, օգտվենք Fe_3O_4 ֆեռոմագնիսական նանոմասնիկների և 5CB ՆՉԲ-ի հետևյալ համընդունված պարամետրերից՝ $\phi_{\text{մ}} = 1\%$, $R = 20 \text{ նմ}$, $T_{\text{դր}} = 300 \text{ Կ}$, $\rho_{\text{չԲ}} = 10^{21} \text{ սմ}^{-3}$, $M = 4,6 \cdot 10^5 \text{ էրգ/Գաուս}$, $k_{\text{բ}} = 1,38 \cdot 10^{-16} \text{ էրգ/ Կ}$, $\chi_a = 10^{-7}$: Արդյունքում ստանում ենք՝ $\Delta T_{\text{դր}} = 1,5 \cdot 10^{-3} \text{ Կ}$: Դա նշանակում է, որ այսօր սինթեզվող ՖՄ ՆՄ-ների մագնիսական դիպոլային մոմենտները բավարար չեն փուլային անցման ջերմաստիճանի էական շեղում ապահովելու համար:

Մագնիսական դաշտում ֆրեդերիկսի անցման շեմի վրա նանոմասնիկների ազդեցությունը դիտարկելու համար պետք է ազատ էներգիայում ավելացնել ՆՄ-ների ու ՉԲ-ի մոլեկուլների փոխազդեցության էներգիան: Այդ դեպքում ստանում ենք՝

$$H_{\text{դր}}^2 = \frac{\pi K_1}{L^2 \chi_a} - \frac{16\pi^2}{45} \phi_{\text{մ}} M^2 \quad (2)$$

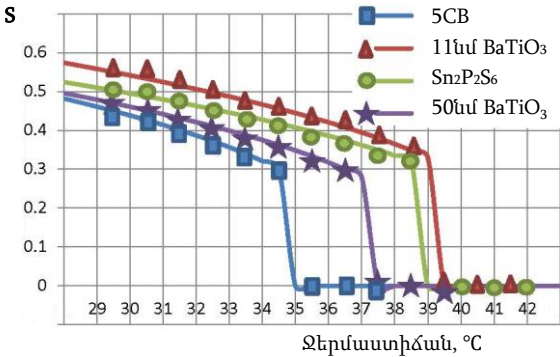
Որպեսզի գնահատենք մագնիսական դաշտի կրիտիկական արժեքը, ի լրումն վերը բերված պարամետրերի, ընդունենք $K_1 = 3,6 \cdot 10^{-7}$ դին: Այդ դեպքում մաքուր ՉԲ-ի համար ստանում ենք $H_{\text{դր}} = 1.36 \text{ Գաուս}$, իսկ ՆՄ-ներով հարստացված ՆՉԲ-ի համար $H_{\text{դր}} = 0.9 \text{ Գաուս}$, որը մեկ ու կես անգամ ավելի փոքր է և լավ համապատասխանում է փորձնական արդյունքներին:

§2.7-ում տեսականորեն, իսկ §2.8-ում փորձարարական ճանապարհով ուսումնասիրվել են ՖԷ ՆՄ-ի ազդեցությունը ՉԲ-ների հեղուկ բյուրեղային փուլից իզոտրոպ հեղուկ թերմոդինամիկական փուլային անցման ջերմաստիճանի վրա: Հաշվարկներում ենթադրել ենք, որ ունենք R շառավիղով և \mathbf{p} էլեկտրաստատիկ դիպոլային մոմենտով սֆերիկ ՆՄ-ներ, որոնք շրջապատված են ՆՉԲ-ի մոլեկուլներով: Խառնուրդի ազատ էներգիան գրել ենք Լանդաու-դե Ժենի ազատ էներգիայի տեսքով: Այդ դեպքում, ՆՄ-ների առկայության պատճառով, ՆՉԲ-ի փուլային անցման ջերմաստիճանի տեղաշարժի համար կունենանք՝

$$\Delta T_{\text{դր}} = \frac{\pi \phi_{\text{մ}} R^3}{3 T_{\text{դր}} \rho_{\text{չԲ}}} \left(\frac{2 \Delta \varepsilon P^2}{675 k_{\text{բ}} \varepsilon_0 \varepsilon^2} \right)^2 \quad (3)$$

Այստեղ, կատարված են հետևյալ նշանակումները՝ $p = PV_{\text{մ}}$ և $\rho_{\text{մ}} = \phi_{\text{մ}} / V_{\text{մ}}$, որտեղ $P-\text{ն}$ միավոր ծավալի բևեռացումն է, $\phi_{\text{մ}}-\text{ը}$ ՆՄ-ների ծավալային կոնցենտրացիան, $\varepsilon-\text{ը}$ դիէլեկտրական թափանցելիությունը, իսկ $\Delta \varepsilon-\text{ը}$ դրա անիզոտրոպությունը: Որպեսզի գնահատենք $\Delta T_{\text{դր}}-\text{ը}$ թվապես, օգտվենք $Sn_2P_2S_6$ ՆՄ-ների ու 5CB ՉԲ-ի համար հաճախ օգտագործվող հետևյալ պարամետրերի մոտավոր

արժեքներից. $\phi_{iuf} = 0,5\%$, $R = 0,35 \text{ նմ}$, $T_{lpr} = 308 \text{ Կ}$, $\rho_{hp} = 2,4 \cdot 10^{27} \text{ մ}^{-3}$, $P = 0,04 \text{ ԿՂմ}^{-2}$, $k_p = 1,38 \cdot 10^{23} \text{ ՋԿ}^{-1}$, $\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \text{ Կլ}^2 \text{ Մ}^{-1} \text{ մ}^{-2}$ և $\Delta \epsilon \approx \epsilon = 10$: Այս պարամետրերով մենք գտնում ենք, որ $\Delta T_{lpr} = 5 \text{ Կ}$, որը մոտավորապես համապատասխանում է դիտված փորձնական արդյունքներին: Փորձում օգտագործել ենք տարբեր չափերի Ֆե-ական $\text{Sn}_2\text{P}_2\text{S}_6$ բյուրեղի ու բարիումի տիտանատի (BaTiO_3) ՆՄ-ներ: Չափել ենք խառնուրդների կարգավորվածության պարամետրը, փուլային անցման ջերմաստիճանը և դիէլեկտրական անիզոտրոպությունը, օգտվելով



Նկ. 2. Կարգավորվածության պարամետրի ու փուլային անցման ջերմաստիճանի աճը ՀԲ-ների տարբեր նանոմասնիկային բաղադրյալների համար

հյուր-ներկանյութ մեթոդից: Ջերմաստիճանից բնութագրական կախվածությունները մաքուր ՀԲ-ի և երեք խառնուրդների համար բերված են նկ.2-ում: 11նմ և 50նմ չափերով BaTiO_3 ՆՄ-ներով պատրաստված նմուշներում հստակ դիտվել է կարգավորվածության պարամետրի և փուլային անցման ջերմաստիճանի աճ: Վերջին փոփոխությունները՝ $\Delta T_{lpr} = T_{lpr,ju} - T_{lpr,5CB} \approx + 4.5$ և $2.5 \text{ }^\circ\text{C}$ համապատասխանաբար: Իսկ $\text{Sn}_2\text{P}_2\text{S}_6$ ՆՄ-ներով (11նմ չափի) պատրաստված նմուշներում մենք դիտել ենք $\Delta T_{lpr} = T_{lpr,ju} - T_{lpr,5CB} \approx + 4 \text{ }^\circ\text{C}$, այն դեպքում երբ 50նմ չափերով ՆՄ-ներով նմուշում դիտվել է հակառակ էֆեկտ՝ $\Delta T_{lpr} = T_{lpr,ju} - T_{lpr,5CB} \approx - 4 \text{ }^\circ\text{C}$:

Գլուխ 3-ի նպատակն էր ուսումնասիրել ՀԲ-ի գործնական տեսակետից կարևոր կողմնորոշման տեսակների կայունությունը տարբեր ազդեցությունների նկատմամբ, այդ թվում նաև նանոմասնիկների առկայությամբ: Նպատակ էր դրված ուսումնասիրել և տալ կարևոր առաջարկություններ նման բջիջների օգտագործման վերաբերյալ:

- §3.1-ը և §3.11-ը ներածական ու ամփոփիչ պարագրաֆներ են:
- §3.2-ում ներկայացված են Նյոթերի առաջին թեորեմից բխող հեղուկ բյուրեղի ուղղորդի բաշխումը նկարագրող հիմնական հավասարումները:
- §3.3-ում քննարկվում է խիրալ մոլեկուլներով հարստացված ՆՀԲ բջջի կողմնորոշման կայունությունը և դրա համար ստացվել է հետևյալ պայմանը

$$(qL)_{\text{լր}} = \frac{2K_2 - K_3}{2K_2} \Delta\varphi, \quad (4)$$

որտեղ g -ն ազատ ԽՀԲ-ի պարույրի պտույտի “ալիքային թիվ”-ն է, $q = 2\pi/h$, h – ը ազատ խոլեստերիկի քայլն է, K_3 -ը և K_2 -ը Ֆրանկի առաձգականության գործակիցներն են, L -ը բջջի հաստությունն է, իսկ $\Delta\varphi$ -ն բջջի դիմացի ու հետին պատերի վրա ուղղորդին տրված անկյունների տարբերությունը: Այսպիսով, բջջի թվիստ կողմնորոշումը կլինի կայուն, եթե վերջինիս հաստությունը կամ ԽՀԲ-ի կոնցենտրացիան (որով պայմանավորված է քայլը) բավարարեն (4) պայմանին: Բջջի ($L < L_{\text{լր}}$) հաստությունների դեպքում ունենք կայուն թվիստ կողմնորոշում (նույնիսկ, եթե $\Delta\varphi > \pi/2$), իսկ մեծ հաստությունների ($L > L_{\text{լր}}$) դեպքում ուղղորդը դուրս է գալիս նախնական կողմնորոշման հարթությունից:

§3.4-ում ուսումնասիրվում է հոմեոտրոպ սահմանային պայմաններով ԽՀԲ-ի կողմնորոշման կայունությունը: ԽՀԲ-ի ուղղորդի կողմնորոշման համար ստացվել է հետևյալ լուծումն ու կայունության պայմանը

$$\delta = \theta = \pm a \sin \frac{K_2 q z}{K_3}, \quad a^2 = \frac{(2p + K_2 q^2) K_3}{K_2^2 q^2}, \quad (qL)_{\text{լր}} = \frac{\pi K_3}{K_2}. \quad (5)$$

Այսպիսով, հոմեոտրոպ սահմանային պայմանների դեպքում միշտ գոյություն ունի պատերին ուղղահայաց z առանցքի ուղղությամբ համասեռ կողմնորոշման լուծում: Սակայն $qL > (qL)_{\text{լր}}$ պայմանի կատարվելուն պես այդ լուծումը դառնում է անկայուն, իսկ նոր կայուն լուծումը տրվում է (5) արտահայտությամբ: Այսպիսի անկայունության հայտնվելը կոչվում է առանց դաշտի Ֆրեդերիկսի անցում:

§3.5-ում քննարկվում է նանոմասնիկների ազդեցությունը խիրալ մոլեկուլներով հարստացված նեմատիկների և հոմեոտրոպ սահմանային պայմաններով խոլեստերիկների կողմնորոշման կայունության վրա: Ցույց է տրված, որ ՆՄ-ների առկայությունը չի կարող բերել հոմեոտրոպ ու թվիստ կողմնորոշումների կայունության շեմային արժեքների փոփոխությանը: Դա պայմանավորված է այն հանգամանքով, որ ՆՄ-ների փոխազդեցությունը ՀԲ-ի հետ օժանդակում է միայն կողմնորոշային կարգավորվածության որակի բարձրացմանը: Իսկ դա նպաստում է կարգավորվածության սկայյար աստիճանի մեծացմանը, դրանով հանդերձ փուլային անցման ջերմաստիճանի մեծացմանը: Կայունության վիճակի վրա ազդեցություն կարող է ունենալ միայն ուղղորդի վրա դրված պայմանի կոշտացումը: Կայունության խնդիրներում մենք կարգավորվածության աստիճանը համարում ենք մեկ: Այդ պատճառով ՆՄ-ների առկայությունը կայունության վրա չի կարող ազդեցություն ունենալ:

§3.6-§3.10-ում տեսականորեն ուսումնասիրել ենք շառավղային ու ազիմուտային վեկտորական մրրկային ալիքաթիթեղների (ՎՄԱԹ) կառուցվածքի կայունությունը ուղղորդի նախնական կողմնորոշման հարթությունից դուրս խտորումների նկատմամբ: Առաջին անգամ ստացել ենք ՀԲ-ի ուղղորդի շարժումը նկարագրող հավասարումները գլանային կոորդինատային համակարգում, առանց մոտա-

վորությունների, օգտագործելով Էյլեր-Լագրանժ-Ռելեյի վարիացիոն սկզբունքը: Ստացել ենք պայմաններ բոլոր նկարագրված դեպքերի համար: Արդյունքում եկել ենք այն եզրահանգման, որ արատի չափերը կարող են էապես փոքրացվել առաձգական գործակիցների հարմար ընտրություններով ինչպես նաև օգտագործելով ֆլեքսաէլեկտրական (ՖլԷ) ՀԲ-ներ:

§3.6-ում ներկայացվում են շառավղային ու ազիմուտային վեկտորական մրրկային ալիքաթիթեղները:

§3.7-ում դուրս է բերվել ՀԲ-ներում ՖլԷ-ը նկարագրող ազատ էներգիան ու ՀԲ-ի ուղղորդի շարժման հավասարումը ՖլԷ առկայությամբ:

§3.8-ում ներկայացվել է ՖլԷ ՀԲ-ների ուղղորդի շարժման հավասարումը գլանային կոորդինատային համակարգում:

§3.9-ը նվիրված է ՆՀԲ-ի ուղղորդի պլանար-շառավղային կողմնորոշման կայունության ուսումնասիրմանը: Ցույց է տրվել, որ սովորական ՀԲ-ներից պատրաստված շառավղային բախշման ալիքաթիթեղներում կայուն վիճակ կարող է լինել միայն, երբ դրանց չափերը չեն գերազանցում նանոմասշտաբները (փոքր են միկրոններից): Իսկ ՖլԷ-ության առկայությամբ կարելի է հասնել միկրոնների նույնիսկ նեմատիկից ամեկտիկ A փուլային անցման ջերմաստիճանից հեռու: Իսկ եթե ցանկանում ենք ավելի մեծ չափերի թիթեղներ ունենալ, ապա անհրաժեշտ է օգտվել առանձնահատուկ ՀԲ-ներից, ասենք պոլիմերային: Պետք է նկատել նաև, որ ՖլԷ-ության անիզոտրոպությունը ավելի է կայունացնում, իսկ դիէլեկտրականը՝ անկայունացնում մաքուր լայնակի ձկման բախշումը:

§3.10-ը նվիրված է ՆՀԲ-ի ուղղորդի պլանար-ազիմուտային կողմնորոշման կայունության ուսումնասիրմանը: Ցույց է տրվել, որ այս դեպքում մենք ունենք հակառակ իրավիճակը: Այսինքն ֆիզիկորեն իրականանալի չափերի դեպքում մաքուր ազիմուտային բախշումն անկայուն է, իսկ ՖլԷ-ության առկայությունը ավելի է բարդացնում վիճակը: Նշանակում է, որպեսզի ունենանք նորմալ (գոնե մի քանի միլիմետր) շառավղով ազիմուտային ալիքաթիթեղ, անհրաժեշտ է օգտագործել, ասենք պոլիմերային ՀԲ-ներ, որտեղ կողմնորոշումը պոլիմերացումից հետո սևեռվում է:

Գլուխ 4-ում ներկայացված է տեսական մոդել, որը նկարագրում է ֆեռոէլեկտրական նանոմասնիկներով հարստացված ՆՀԲ համակարգի վիճակագրական մեխանիկան: Օնզագերի հիմնարար տեսությունը ընդհանրացված է այս համակարգի համար: Օգտագործելով Լագրանժի անորոշ գործակցի մեթոդը, համակարգի ազատ էներգիայի վարիացիայի միջոցով ստացվել է հավասարում ՆՀԲ-ի մոլեկուլների կողմնորոշային բախշման ֆունկցիայի համար:

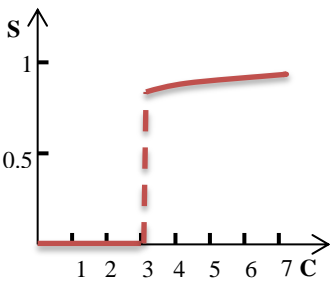
§4.1-ը և §4.6-ը ներածական ու ամփոփիչ պարագրաֆներ են:

§4.2-ում ներկայացված է Օնզագերի տեսությունը ՆՀԲ-ների համար:

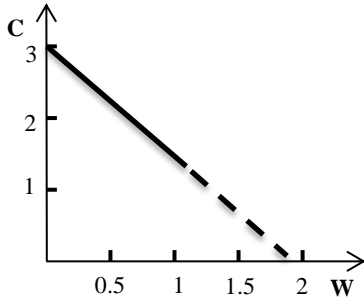
§4.3-ում ներկայացված են վիճակագրական գումարի մեջ մտնող խմբակային ինտեգրալները և դրանց հաշվման մեթոդները:

§4.4-ում քննարկվում է Լագրանժի վարիացիայի մեթոդը և նանոմասնիկներով հարստացված հեղուկ բյուրեղային համակարգի ազատ էներգիան: Վերջինս վարիացիա անելով ստանում ենք ՀՖ-ի մոլեկուլների կողմնորոշումային բաշխումը նկարագրող ֆունկցիան և դրա միջոցով կարգավորվածության սկալյար պարամետրը:

§4.5-ում ներկայացված են ֆեռոէլեկտրական նանոմասնիկներով հարստացված ՆՀՖ-ների կարգավորվածության աստիճանի կախվածությունները ՆՀՖ-ի կոնցենտրացիայից, նանոմասնիկների կոնցենտրացիայից, դիպոլային մոմենտից և ծավալից: Նախ, ներմուծված է ՆՀՖ-ի կոնցենտրացիայի հետևյալ բնութագրիչը՝ $C = 4cV_{hp} L/(\pi D)$, որտեղ c -ն ՀՖ – ի կոնցենտրացիան է, V_{hp} – ը՝ մոլեկուլի ծավալը, L -ը երկարությունը և D -ն տրամագիծը: Այսպես, եթե $C \ll 1$, ապա լուծումը իզոտրոպ է: Մեծ C – երի համար լուծում է հանդիսանում առաջին սեռի փուլային անցումը իզոտրոպ փուլից դեպի նեմատիկ փուլ: Նեմատիկ փուլը ստացվում է $C = 3.004$ կոնցենտրացիայի բնութագրիչի դեպքում: Այստեղից հետևում է, որ ՀՖ– ի ծավալային $cV_{hp} \sim 0.3$ մասնաբաժնի դեպքում նեմատիկ փուլ ունենալու համար պետք է գոնե $L/D \geq 8$: Մասնավոր հետաքրքրություն է ներկայացնում կարգավորվածության պարամետրը փուլային անցման կետի մոտակայքում՝ S_c : Սա պարզվում է բավականին մեծ ($S_c \approx 0.84$): Նկ. 3 – ում ցույց է տրված ՀՖ – ի կարգավորվածության սկալյար պարամետրի կախվածությունը կոնցենտրացիայի C բնութագրիչից:



Նկ.3. ՀՖ – ի կարգավորվածության սկալյար պարամետրի կախվածությունը կոնցենտրացիայի C բնութագրիչից



Նկ.4. ՀՖ – ի կոնցենտրացիայի C բնութագրիչի կախվածությունը նանոմասնիկների W բնութագրիչից

Նանոմասնիկների ազդեցությունը քննարկելու համար մտցնենք ՆՄ-ների W բնութագրիչը՝

$$W = 8.7 \cdot 10^{-4} \phi_{inl} \left(\frac{\Delta \varepsilon P^2 V_{inl}}{\varepsilon^2 k_p T} \right)^2 \tag{6}$$

Վերցնելով ֆեռոէլեկտրական $\text{Sn}_2\text{P}_2\text{S}_6$ նանոմասնիկների համար հետևյալ պարամետրերը՝ $P = 10^3$ ՄՊՎԷ = 0.004 Գլսմ⁻², $V_{\text{ուլ}} = 1.13 \times 10^{-16}$ սմ³ ($R = 30$ նմ), իսկ կոնցենտրացիայի համար $\varphi_n = 0.5\%$ և 5CB չԲ – ի համար $\Delta\varepsilon \sim \varepsilon \sim 10$, $k_F = 1.38 \times 10^{-16}$ ԷրգԿ⁻¹, $T = 300$ Կ, ապա ստանում ենք $W \approx 0.32$ ։ Կարելի է ունենալ 2 կամ 3 անգամ մեծ արժեքներ։ Սակայն, եթե W –ն մեծ է մեկից, ապա չԲ – ային կառուցվածքը ձևախախտվում է։ Ինչպես ցույց է տրված նկ. 4–ում, նանոմասնիկների W բնութագրիչի աճմանը զուգընթաց նվազում է չԲ – ի կոնցենտրացիայի այն C բնութագրիչը (մոտավորապես գծային օրենքով՝ $C \approx -1.556 \times W + 3$), որի դեպքում իրականանում է փուլային անցումը։ Դա նշանակում է, որ նանոմասնիկների առկայության պայմաններում նեմատիկ փուլ կարող ենք ունենալ չԲ – ային մոլեկուլների շատ փոքր կոնցենտրացիաների դեպքում։

ԱՍՓՈՓՈՒՄ

Այսպիսով, ատենախոսական աշխատանքում տեսական ու փորձարարական ճանապարհներով ուսումնասիրվել են նոր երևույթներ նանոմասնիկներով հարբստացված չԲ–ներում, առաջարկվել են մեխանիզմներ չԲ–ային օպտիկական տարրերի ֆիզիկական ու տեխնոլոգիական հատկությունների բարելավման համար, ուսումնասիրվել են նման տարրերում մոլեկուլների կողմնորոշման տարբեր կառուցվածքների կայունությունը և նանոմասնիկների ազդեցությունը դրա վրա։

Ձևակերպենք ատենախոսական աշխատանքում ստացված հիմնական գիտական արդյունքները։

1. Առաջին անգամ կառուցվել է ՆՄ–ներով հարստացված նեմատիկ հեղուկ բյուրեղների վիճակագրական մեխանիկան։ Տեսականորեն ուսումնասիրվել է նման բաղադրյալի նեմատիկ–իզոտրոպ հեղուկ փուլային անցման վիճակագրությունը։
2. Առաջին անգամ տեսականորեն ու փորձնականորեն ցույց է տրվել, որ ըստ կշռի մեկ տոկոսից փոքր կոնցենտրացիայով ՖԷ նանոմասնիկները, ներարկվելով օպտիկական տարրի ՆՉԲ–ի մեջ էապես մեծացնում են վերջինիս անիզոտրոպությունը, կարգավորվածության աստիճանը և նեմատիկ–իզոտրոպ հեղուկ ջերմադինամիկական փուլային անցման ջերմաստիճանը։
3. Ցույց է տրվել, որ ՆՉԲ–ային օպտիկական տարրի մոլեկուլների ու ՖՄ ՆՄ–ների դիպոլ–դիպոլային փոխազդեցությունը չի բացատրում փորձով դիտված նեմատիկ–իզոտրոպ հեղուկ փուլային անցման ջերմաստիճանի փոփոխությունը։ Այն պայմանավորված է մակերևույթային ակտիվ նյութի ու ՆՉԲ–ի մոլեկուլների փոխազդեցությունով։
4. Առաջին անգամ տեսականորեն ու փորձնականորեն ցույց է տրվել, որ ՖԷ ՆՄ–ները կտրուկ իջեցնում են ՆՉԲ–ային օպտիկական տարրում էլեկտրական դաշ-

ումում Ֆրեդերիկսի անցման շեմը, իսկ ՖՄ ՆՄ-ները կտրուկ իջեցնում են մագնիսական դաշտում Ֆրեդերիկսի անցման շեմը:

5. Տեսականորեն ցույց է տրվել, որ թվիստ բջիջներում ուղղորդի կողմնորոշումը կարող է կայուն մնալ նույնիսկ $\pi/2$ –ից շատ մեծ անկյունների դեպքում, եթե օպտիկական տարրի ՆՀԲ-ին ավելացրած լինի քիչ քանակությամբ ԽՀԲ: Ուսումնասիրվել է սահմանների վրա մոլեկուլների հումեոտրոպ կողմնորոշումներով ՆՀԲ և ԽՀԲ խառնուրդով բջիջների կայունությունը: Ցույց է տրվել, որ ՀԲ-ային էկրանների կատարելագործման համար անհրաժեշտ նանոմասնիկների կոնցենտրացիաները չեն ազդում քննարկված տարրերի կայունության վրա:

6. Առաջին անգամ տեսականորեն ցույց է տրվել, որ ավանդական ՀԲ-ներից պատրաստված շառավղային բախշման օպտիկական ալիքաթիթեղներում կայուն վիճակ կարող է լինել միայն, երբ դրանց չափերը չեն գերազանցում նանոմետրական մասշտաբները (փոքր են միկրոմետրից): Ֆլեքսատելեկտրականության առկայությամբ կարելի է հասնել միկրոմետրերի: Ավանդական հեղուկ բյուրեղներով հնարավոր չէ ստանալ մեկ միկրոմետրից մեծ շառավղով ազիմուտային բախշվածությամբ ալիքաթիթեղներ: Ավելի մեծ չափերի թիթեղներ ստանալու համար պետք է օգտագործել պոլիմերային հեղուկ բյուրեղներում ֆոտոկողմնորոշման տեխնոլոգիան:

Չբականություն

1. Ռ.Ս.Հակոբյան, Յու.Ս.Չիլինգարյան: Մակածված փուլային անցումներ և հիդրոդինամիկական անկայունություններ հեղուկ բյուրեղներում: Երևան, “Մանկավարժ” հրատարակչություն, 2000, 185 էջ:
2. Ю.С.Чилингарян, С.М.Аракелян. Нелинейная оптика жидких кристаллов. Москва, Наука, 1984, 360с.
3. P.G.de Gennes, J.Prost. The Physics of Liquid Crystals. Oxford: Clarendon press, 1993.
4. L.M.Blinov. Structure and Properties of Liquid Crystals. Springer, 2011.
5. D.J.Channin, A.Sussman. Liquid-crystal displays. Display devices ed. Pankove J.I. (Berlin: Springer) pp 151-178 (1980).
6. P.Yeh, C.Gu. Optics of Liquid Crystal Displays. Second edition, Wiley, 2010.
7. Wu S.T., Yang D. Fundamentals of Liquid Crystal Devices. Wiley, 2006.
8. М.Г.Томилин, Г.Е.Невская. Дисплеи на жидких кристаллах. Санкт-Петербург, НИУ ИТМО, 2010.
9. E.H.Stupp, M.Brennesholtz. Projection Displays. John Wiley & Sons, Inc., New York, 1998.
10. T.Scharf. Polarized light in liquid crystals and polymers. Wiley, 2007.
11. N.V.Kamanina. Features of liquid crystal display materials and processes. Croatia, InTech, 2011.
12. R.H.Chen. Liquid crystal displays: fundamental physics and technology. Hoboken, N.J: Wiley, 2011.
13. P.S.Drzaic. Liquid crystal dispersions, Singapore [etc.]: World Scientific, 1995.

14. Н.В. Каманина. Электрооптические системы на основе жидких кристаллов и фуллеренов – перспективные материалы наноэлектроники свойства и области применения. Санкт-Петербург, НИУ ИТМО, 2008.
15. O.Buluy, S.Nepijko, V.Reshetnyak, E.Ouskova, V.Zadorozhnii, A.Leonhardt, M.Ritschel, G.Schönhense, Yu.Reznikov. Magnetic sensitivity of a dispersion of aggregated ferromagnetic carbon nanotubes in liquid crystals. *Soft Matter*, 7, 644–649, 2011.
16. N.Podoliak, O.Buchnev, O.Buluy, G.D’Alessandro, M.Kaczmarek, Yu.Reznikov, T.J.Sluckin. Macroscopic optical effects in low concentration ferronematics. *Soft Matter*, 7, 4742–4749, 2011.
17. D.R.Evans, S.A.Basun, G.Cook, I.P.Pinkevych, V.Yu.Reshetnyak. Electric field interactions and aggregation dynamics of ferroelectric nanoparticles in isotropic fluid suspensions. *Phys. Rev. B*, 84, 174111/1-9, 2011.
18. S.A.Basun, G.Cook, V.Yu.Reshetnyak, A.V.Glushchenko, D.R.Evans. Dipole moment and spontaneous polarization of ferroelectric nanoparticles in a nonpolar fluid suspension. *Phys. Rev. B*, 84, 024105, 2011.
19. S.M.Shelestiuk, V.Yu.Reshetnyak, T.J.Sluckin. Frederiks transition in ferroelectric liquid-crystal nanosuspensions. *Phys. Rev. E*, 83, 041705. 2011.
20. E.Erdem, H.-C.Semmelhack, R.Bottcher, H.Rumpf, J.Banys, A.Matthes, H.-J.Glase, D.Hirsch, E. Hartmann. Study of the tetragonal-to-cubic phase transition in PbTiO₃ nanopowders. *J. Phys.: Condens. Matter*, 18, 3861–3874, 2006.

Հրատարակված աշխատանքների ցուցակ

1. **Մ.Ռ.Հակոբյան**, Դ.Ս.Հակոբյան, Օնգագերի տեսությունը ֆերոէլեկտրական նանոմասնիկներով դիսպերսված նեմատիկ հեղուկ բյուրեղի համար, Հանրապետական երիտասարդական գիտաժողով, Վանաձորի մանկավարժական ինստիտուտ, Վանաձոր, “ՄԻՄ տպագրատուն” էջ 43-56 (2011).
2. **Մ.Ր.Առոյան**, Ր.Տ.Առոյան, Снижение порога магнитного перехода фредерикса в нематических жидких кристаллах с внедренными ферромагнитными наночастицами, *Изв. НАН РА, Физика*, **46**(3), 180-184 (2011).
3. Yu.Reznikov, M. F. Prodanov, **M.R.Hakobyan**, M. A. Kolosov, R.S.Hakobyan, V. V. Vashchenko, Nematic-isotropic transition in the ferromagnetic nanoparticles doped thermotropic nematic liquid crystals, 14th Topical Meeting on the Optics of Liquid Crystals, OLC–2011, P21, September 25 - October 1 2011, Marriott, Yerevan, Armenia.
4. O. Buluy, D. Burseva, **M.R.Hakobyan**, John W. Goodby, M. Kolosov, Yu. Reznikov, R.S.Hakobyan, K. Slyusarenko, M. Prodanov, V. Vashchenko, Influence of Surface Treatment of Ferromagnetic Nanoparticles on Properties of Thermotropic Nematic Liquid Crystals, *Mol. Cryst. Liq. Cryst.*, **560**, pp. 149/[389]–158/[398] (2012).
5. **M.R.Hakobyan**, O. Buluy, Yu. Reznikov, M.F. Prodanov, M. Kolosov, R.S. Hakobyan, V.V Vashchenko, Nematic-Isotropic Transition in the Ferromagnetic Nanoparticles Doped Nematic Liquid Crystals, Conference of International OSA Network of Students IONS-12, July 4-7, 2012, Naples, Italy.
6. **Մ.Ր.Առոյան**, Ր.Տ. Առոյան, Ю.С. Чилингарян, Дисклинации в нематиках при учете флексоэлектрического эффекта, *Известия НАН Армении, Физика*, **48**(6), сс. 394-406 (2013).

7. **Маргарит R. Hakobyan**, Mariam R. Hakobyan, Two-dimensional polarization patterns for holographic recording, Proceedings of the YSU, Physical and Mathematical Sciences, **2**, pp. 58-63 (2013).
8. **М.Р.Накобян**, R.B.Alaverdyan, R.S.Hakobyan, Yu.S. Chilingaryan, Enhanced Physical Properties of Nematic Liquid Crystals Doped with Ferroelectric Nanoparticles, International conference "IONS-Armenia", 11-14 Sept., 2013, p. 57, Yerevan-Ashtarak, Armenia.
9. **М.Р.Накобян**, R.B.Alaverdyan, R.S.Hakobyan, Yu.S. Chilingaryan, Enhanced Physical Properties of Nematics Doped with Ferroelectric Nanoparticles, Armenian Journal of Physics, **7**(1), pp. 11-18 (2014).
10. **М.Р.Акопян**, А.А.Кандевосян, Р.С.Акопян, Ю.С.Чилингарян, О стабильности одно родной ориентации в плоскопараллельной ячейке жидкого кристалла, обогащенного наночастицами, Известия НАН Армении, Физика, **49**(5), сс. 309-316 (2014).
11. **М.Р.Накобян**, R.S.Hakobyan, Liquid-Crystal Devices and Waveplates for light controlling, Armenian Journal of Physics, **7**(2), pp. 59-68 (2014).
12. **М.Р.Накобян**, Onsager theory of nematic liquid crystals doped with ferroelectric nanoparticles, Proceedings of the YSU, Physical and Mathematical Sciences, #2 p. 54-59 (2014).

МАРГАРИТ РАФИКОВНА АКОПЯН

УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ЖИДКОКРИСТАЛЛИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ
УПРАВЛЯЮЩИХ ПОЛЯРИЗАЦИЕЙ И ИНТЕНСИВНОСТЬЮ СВЕТОВЫХ
ПУЧКОВ НАНОЧАСТИЦАМИ

диссертации на соискание ученой степени кандидата

физико-математических наук по специальности

01.04.05 – Оптика

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В диссертационной работе теоретически и экспериментально изучены новые явления в жидких кристаллах (ЖК) обогащенных наночастицами (НЧ). Предложены механизмы для улучшения физических и технологических характеристик оптических ЖК-элементов. Исследована устойчивость различных структур ориентации молекул в таких элементах, а также влияние наночастиц на устойчивость данных структур.

Изучены принципы и сложности изготовления компонентов наночастиц. Показано, что магнитные/электрические колоиды могут эффективным образом способствовать взаимодействию слабого магнитного/электрического поля с ЖК. Теоретически и экспериментально исследован переход Фредерикса в магнитном/электрическом поле в планарно ориентированном нематическом ЖК (НЖК) обогащенном сферическими ферромагнитными (ФМ)/ферроэлектрическими (ФЭ) НЧ. Показано, что даже сферические НЧ могут снизить порог перехода благодаря росту магнитного/электрического поля в присутствии наночастиц. Рассмотренное явление указывает на возможность применения подобных систем в магнито-/электро-оптических дисплеях.

Проведены исследования устойчивости важнейших видов ориентации ЖК к различным внешним воздействиям, в том числе в присутствии НЧ, конечной целью которых являлось рассмотрение вариантов подобных ячеек с точки зрения практического использования.

Предложена теоретическая модель, описывающая статистическую механику системы НЖК, обогащенную ФЭ НЧ. Обобщена теория Онзагера для этой системы. Используя метод неопределенного множителя Лагранжа, вариацией свободной энергии было получено уравнение для функции ориентационного распределения НЖК-молекул.

Результаты диссертационной работы могут быть использованы в промышленности ЖК-устройств, в медицине, в военной промышленности и в других областях. В частности, эти результаты могут быть применены в ЖК-дисплеях для энергосбережения и увеличения контраста, в медицинских диагностических ЖК-устройствах. Резуль-

таты, связанные с радиально-векторно-вихревыми волновыми пластинами, могут быть использованы в астрономии для исследования экзопланет.

В диссертационной работе получены следующие основные результаты:

1. Впервые построена статистическая механика НЖК обогащенных НЧ. Теоретически изучена статистика фазового перехода нематик-изотропная жидкость такой системы.
2. Впервые теоретически и экспериментально показано, что внедрение ФЭ НЧ в НЖК с концентрацией меньше 1% существенно увеличивает анизотропию, степень порядка и температуру фазового перехода нематик-изотропная жидкость НЖК.
3. Показано, что диполь-дипольное взаимодействие НЖК молекул и ФМ НЧ не объясняет, наблюдаемую в эксперименте, изменение температуры фазового перехода нематик-изотропная жидкость. Данное изменение связано с взаимодействием поверхностно активных веществ и молекул НЖК.
4. Впервые теоретически и экспериментально показано, что ФЭ НЧ резко снижают порог перехода Фредерикса НЖК в электрическом поле, а ФМ НЧ резко снижают порог перехода Фредерикса НЖК в магнитном поле.
5. Теоретически показано, что ориентация директора в твист-ячейках может остаться устойчивой даже при углах больших от $\pi/2$, если к НЖК добавить малое количество холестерического ЖК (ХЖК). Изучена устойчивость смеси НЖК и ХЖК при гомеотропных ориентациях молекул на границах. Показано, что концентрации наночастиц, необходимых для усовершенствования дисплеев, не влияют на устойчивость рассмотренных элементов.
6. Впервые теоретически показано, что устойчивое состояние в волновых пластинках с радиальным распределением, сделанных из традиционных ЖК, может реализоваться только при размерах пластинки не превышающих наномасштабы (меньше микрона). В присутствии флексоэлектричества для упомянутых пластин можно достичь размеров в несколько микронов. Пластинки с азимутальным распределением можно получить размером меньше трех нанометров. В обоих случаях, чтобы получить пластинки больших размеров, надо использовать технологию фотополимеризации в полимерных ЖК.

MARGARIT RAFIK HAKOBYAN

ENHANCEMENT BY NANOPARTICLES OF LIQUID CRYSTALLINE ELEMENTS FOR
TUNING LIGHT BEAM POLARIZATION AND INTENSITY

Dissertation on scientific degree of Doctor of Philosophy (Ph.D) in Physics and
Mathematics in speciality 01.04.05 Optics

SUMMARY

New phenomena in nanoparticle (NP) doped liquid crystals (LC) are studied theoretically and experimentally. Some mechanisms for improvement of physical and technological properties of LC elements are proposed. Stability of various molecular orientational structures and nanoparticle influence on the stability in such elements are studied.

Principles and difficulties of nanoparticle composites in LCs are studied. It is shown that magnetic/electric colloids could effectively support weak magnetic/electric field interaction with LC. Frederick's transition of planarly oriented nematic LC (NLC) doped with ferromagnetic/ferroelectric (FM/FE) NPs in the magnetic/electric field is studied theoretically and experimentally. It is shown that even spherical NPs can decrease the transition threshold due to their increasing properties of magnetic/electric field in the LC. This phenomenon allows us to use such systems in magneto/electro-optical displays.

It is shown experimentally and theoretically that ferroelectric nanoparticles could produce enhanced changes in the physical properties of a LC host. It is introduced how to use the ferroelectric nanoparticles for the preparation of various LC-ferroelectric nanoparticle composites. In the process we also present how to prepare these composites using other ferroelectric nanoparticles as well to improve the physical properties of the host LC. Following the preparation of LC-particle composites, we present experimental data obtained that compares differences between nanoparticle (ferroelectric) doped LC host and unmodified LC. We review a few key points related to how we selected a single component LC to provide various methods of enhancing the physical properties of host LC and the mixed results we obtained when we worked with commercial LC mixtures.

The stability against external influences (in the presence of NP as well) of LC's more commercial orientational types is studied. The purpose was to study and get proposals for using of such cells.

A theoretical model for statistic mechanics of NLC doped with FE NP is proposed. Onsager's fundamental theory is generalized for such system. An orientational distribution

function equation for NLCs doped with nanoparticles is obtained, applying Lagrange's multiplier method for the variation of free energy expression.

The results obtained in this thesis can find different applications: in the LC device industry; in medical science, in military industry etc. Particularly, these results can be useful for energy-saving and high-contrast displays, for LC medical diagnostic devices. The results connected with the radial vector vortex wave plates may be used in astronomy in exoplanet study.

The following main results were obtained in the thesis:

1. A statistic-mechanics theory for NLCs doped with NP is created for the first time. The nematic-isotropic liquid phase transition statistics for such composites is studied theoretically.
2. It is experimentally and theoretically shown for the first time that ferroelectric nanoparticles with concentrations with the weight less than 1% doped into an NLC can essentially increase anisotropy, the order parameter and the nematic-isotropic liquid phase transition temperature.
3. It is shown that the dipole-dipole interaction of NLC molecules with FM NP cannot explain the nematic-isotropic liquid phase transition temperature change usually observed in experiments, but it can be explained only by the interaction between the NLC molecules and the surface active matter.
4. For the first time, it is experimentally and theoretically shown that FE NPs critically decrease Frederick's transition threshold of the NLC in an electric field and FM NPs critically decrease Frederick's transition threshold of the NLC in a magnetic field.
5. It is theoretically shown that the initial twist-orientation is stable even at the twist angles larger than $\pi/2$, if the NLC is doped with a small amount of cholesteric LC (CLC) molecules. The problem of homogenous orientation stability of molecules in the mixture of an NLC and a CLC is studied. It was shown that the concentrations of NPs needed for improvement of display characteristics cannot affect the stability of the elements in discussion.
6. For the first time, it is theoretically shown that radial vector vortex wave plates with commercial LCs can have a stable state only if their sizes do not exceed nano-scales (i.e. they are less than microns). In the presence of flexoelectricity, their sizes can be microns. It is not possible to get vortex wave plates with an azimuthal orientation distribution and with sizes more than three nanometers. To get vector vortex wave plates with larger sizes we need to use the photopolymerization technology for polymeric LC.

V. Zvezdovskiy