

on the screen. It was shown that two orientational mechanisms exist in planar cell, whereas one type of ring pattern is obtained for the planar cell. It was concluded that one type of ring patterns emerges due to the cis-trans transition and the cause of the second pattern is thermomechanical effect.

The results obtained in the frame of dissertation can be used in war industry, in the industry of liquid crystal devices, in medicine and in other areas. The obtained results can be applied as well to improve the quality of liquid crystal monitors, optical limiting devices, spatial-light modulators and other liquid crystal devices.

The following results are obtained in the dissertation:

1. Theoretical study of toroidal flows in liquid crystals due to the absorption of the Gaussian laser beam has been carried out for the first time. Dynamics of this process has also been studied. It was shown that there is a strong agreement between these theoretical and previously obtained experimental results.
2. The third type thermomechanical effect in the nematic liquid crystal twist cell due to the transversal temperature gradient created by the Gaussian laser beam has been studied theoretically for the first time. Theoretical and experimental results of thermomechanical effect are in a strong agreement.
3. Director reorientation depending on the temperature gradient has also been studied.
4. It was shown that thermomechanical orientational nonlinearity is as strong as the well-known direct optical nonlinearity. It is worth mentioning that unlike direct optical nonlinearity, which is absent in the case of normal impingement of the laser beam on the cell wall, thermomechanical nonlinearity is strong for all incident angles.
5. Themomechanical effect in twist and planar azo-dyed nematic liquid crytal cells has been studied experimentally for the first time.

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

ԱՐԹՈՒՐ ԿԱՄՈՅԻ ԱԼԵՔՍԱՆՅԱՆ

**ԼԱՉԵՐՆԱԳԻՆ ԸՆՈՒՍԳԱՅԹՈՎ ՄԱԿԱԾՎԱԾ ՋԵՐՄԱՍԵՒԱՆԻԿԱԿԱՆ
ԵՐԵՎՈՒՑԹՆԵՐ ՆԵՄԱՏԻԿՆԵՐՈՒՄ**

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

Ս Ե Ղ Մ Ա Գ Ի Ր

Ե Ր Ե Վ Ա Ն – 2013

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

АРТУР КАМОЕВИЧ АЛЕКСАНИЯН

**ЛАЗЕРНО – ИНДУЦИРОВАННЫЕ ТЕРМОМЕХАНИЧЕСКИЕ ЭФФЕКТЫ В
НЕМАТИКАХ**

АВТОРЕФЕРАТ

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

Е Р Е В А Н – 2013

Ատենախոսության թեման հաստատվել է Երևանի պետական համալսարանում

SUMMARY

Գիտական ղեկավար՝ ֆ.-մ. գ. դ., պրոֆեսոր Ռ.Ս. Հակոբյան
Պաշտոնական ընդդիմախոսներ՝ ֆ.-մ. գ. դ., պրոֆեսոր Ա.Ժ.Խաչատրյան
ֆ.-մ. գ. թ. Ա.Ռ.Արամյան
Առաջատար կազմակերպություն՝ Հայ-ռուսական (սլավոնական) համալսարան

Ատենախոսության պաշտպանությունը կայանալու է “18” մայիսի 2013թ. ժամը 11.00 - ին, Երևանի պետական համալսարանի 049 ֆիզիկայի մասնագիտական խորհրդի նիստում:

Հասցեն՝ 0025, Երևան, Ալեք Մանուկյան, 1:
Ատենախոսությանը կարելի է ծանոթանալ ԵՊՀ գրադարանում:
Սեղմագիրն առաքված է “17” ապրիլի 2013թ.

Մասնագիտական խորհրդի
գիտական քարտուղար՝  ֆ.-մ. գ. թեկնածու,
Վ.Պ. Քալանթարյան

Тема диссертации утверждена в Ереванском государственном университете.

Научный руководитель: доктор ф.-м. н., профессор Р.С. Акопян
Официальные оппоненты: доктор ф.-м. н., профессор А.Ж.Хачатрян
кандидат ф.-м. н., А.Р. Арамян
Ведущая организация: Российско-армянский (славянский)
университет

Защита диссертации состоится “18” мая 2013г. в 11.00 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 “17” апреля 2013г.

Ученый секретарь
Специализированного совета  кандидат ф.-м. н.,
В. П. Калантарян

In this research some mechanisms of reorientation of molecules of nematic liquid crystals are studied theoretically and experimentally. Particularly, laser induced toroidal flows and third type thermomechanical effect has been studied theoretically and experimentally.

It was shown that Gaussian beam may induce toroidal flows in liquid crystal due to the absorption of the heat by the medium. Theoretical calculations show that the velocity of this flow is about a few $\mu\text{m}/\text{sec}$. Director equation for homeotrop and planar cells were obtained and solved in conjunction with the equations of Navier-Stokes and thermal conductivity to find the director, velocity and temperature distributions in the cells. It was shown that this thermal – orientational flow induces big changes of director whis is at the same range as well known direct optical nonlinearity.

The third type thermomechanical effect has been studied theoretically and experimentally in twist nematic liquid crystal cell. Impingement of a laser beam with Gaussian cross distribution of intensity on the twist nemaic liquid crystal cell has been considered. Molecules of liquid crytals reorient due to the third type of thermomechanical effect. This nonlinear interaction between laser beam and the medium changes the refractive index of LC. As the third type thermomechanical effect depends on the temperature gradient, the first step toward finding the director reorientation, i.e. coefficient of nonlinearity was finding the temperature distribution inside the medium. Heat-transfer equation solution has been presented. It was shown that for $P = 40\text{mWatt}$ laser beam after 1sec of heating, the LC is still in anisotropic state. This 1sec is enough time to register the reoirnetation by menas of a probe beam. Coefficient of nonlinearity has been calculatied. It was shown that the nonlinearity in this case is within the same range as the well-known direct optical nonlinearity. Director equation in cylindrical and Cartesian system of coordinates has been obtained and solved numerically. It was shown that x and y temperature gradients reorient the director in opposite directions.

Thermomechanical effect has also been studied in liquid crystal twist and planar cells containing azobenzene. Ring patterns showing the nonlinear interaction between laser beam and azo-dyed LC were observed

жидкокристаллических приборов, в медицине и в других областях. Полученные результаты могут быть применены также и для улучшения качества жидкокристаллических мониторов, световых ограничителей, пространственных световых модуляторов, а также и других жидкокристаллических приборов. Так как термомеханический эффект не зависит от длины волн излучения и источника света, можно сконструировать новые датчики или детекторы для невидимых волн.

В диссертационной работе получены следующие основные результаты:

1. Впервые теоретически исследованы тороидальные потоки в жидких кристаллах за счет поперечного температурного градиента, обусловленного поглощением лазерного излучения гауссового лазерного пучка. Была изучена динамика этого процесса. Было показано, что имеется хорошее соответствие с ранее полученными экспериментальными данными.
2. Впервые теоретически исследован тороидальный поток, имеющий термомеханический характер в твист ячеек нематического жидкого кристалла за счет поперечного температурного градиента, обусловленного поглощением лазерного излучения. Теоретические и экспериментальные результаты исследования термомеханического эффекта находятся в строгом соответствии.
3. Исследована переориентация директора в зависимости от температурного градиента.
4. Показано, что термомеханическая нелинейность также сильна, как и общеизвестная «сильная» оптическая нелинейность, и, в отличие от последней, которая не действует при нормальном падении пучка, термомеханическая нелинейность присутствует при любом значении угла падения пучка на ячейку.
5. Впервые экспериментально изучен термомеханический эффект в твист и планарных ячейках нематического жидкого кристалла с азобензеном.

Թեմայի արդիականությունը

Հեղուկ բյուրեղները իրենցից ներկայացնում են ուսումնասիրման հետաքրքիր միջավայրեր, թե՛ տեսական և թե՛ փորձարարական հետազոտությունների տեսակետից: Նրանք կիրառվում են այնպիսի սարքավորումներում, ինչպիսիք են, հեղուկ բյուրեղական էկրանները, դետեկտորները, որոշ ռազմական և արդյունաբերական սարքավորումները, բժշկական ու չափիչ գործիքները: Ակտիվ աշխատանքներ են տարվում հեղուկ բյուրեղական սարքավորումների էֆեկտիվությունը բարձրացնելու համար: Հաճախ այդ սարքավորումներում օգտագործվում են լույսի աղբյուրներ, որոնք հանգեցնում են միջավայրի տաքացմանը: Տաքացման հետևանքով փոխվում են միջավայրի հատկությունները և կարող են դիտվել անցանկալի երևույթներ և շեղումներ սկզբնական սպառնող արդյունքներից: Կարող են առաջանալ թե կողմնորոշումային և թե ջերմային երևույթներ: Սարքի բնականոն աշխատանքը ապահովելու համար հարկավոր է հնարավորինս հաշվի առնել բոլոր նմանատիպ երևույթներն ու դրանց հետևանքները: Հայտնի է, որ անգամ շատ փոքր կլանումների էներգիան բավարար է հեղուկ բյուրեղի դիրեկտորը վերակողմնորոշելու համար [1]: Գոյություն ունեն բազմաթիվ մեխանիզմներ, որոնք թույլ են տալիս հեղուկ բյուրեղի կողմից կլանված էներգիան վերափոխել մոլեկուլների կողմնորոշումային էներգիայի: Այսպիսի մեխանիզմներից են, ջերմայինը [2], Ցանոշիի էֆեկտը [3], կոնֆորմացիոնը [4], ջերմային հոսքերով պայմանավորված ոչգծայնությունը [5,6], ուժեղ օպտիկական ոչգծայնությունը [7], մակերևութային մակաձվածը [8], ֆոտոռեֆրակտիվը [9] և այլն: Այսպիսի մեխանիզմներից երեքը լուսահիդրոդինամիկական վերակողմնորոշման մեխանիզմներն են՝ գրավիտացիոն, ջերմամագնական և ուղղակի ծավալային ընդարձակման մեխանիզմները [10]: Այս մեխանիզմներով պայմանավորված օպտիկական ոչգծայնությունները մի քանի կարգով գերազանցում են ուժեղ օպտիկական ոչգծայնությունը, իսկ կայունացման ժամանակները այս դեպքում նույնն են:

[11] աշխատանքում ցույց է տրվել, որ ոչ համասեռ ուղղորդի բաշխմամբ նեմատիկ հեղուկ բյուրեղներում կարող են տեղի ունենալ ջերմամեխանիկական երևույթներ: Դրանցից առաջինի էությունը կայանում է նրանում, որ ջերմաստիճանի գրադիենտի առկայության պայմաններում հնարավոր է դառնում հեղուկ բյուրեղի հիդրոդինամիկական համընթաց հոսքը դիրեկտորի հարթության մեջ գրադիենտին ուղղահայաց ուղղությամբ: Երկրորդի էությունը կայանում է նրանում, որ հիդրոդինամիկական հոսքը կարող է առաջացնել հեղուկ բյուրեղի երկու սահմանների միջև ջերմաստիճանների տարբերություն: Երրորդ տիպի ջերմամեխանիկական երևույթի դեպքում ջերմաստիճանի գրադիենտը առաջացնում է հեղուկ բյուրեղի ուղղորդի լրացուցիչ վերակողմնորոշում: Ջերմամեխանիկական երևույթները, որոնք անմիջականորեն կախված են ջերմաստիճանի գրադիենտներից և կախված չեն տաքացնող աղբյուրների այլ հատկություններից,

կարող են առկա լինել (վերնում նշված այլ լուսահիդրոդինամիկական երևույթների նման) գրեթե բոլոր հեղուկ բյուրեղական սարքավորումներում:

Ինչպես թվարկված այնպես էլ լազերային ճառագայթների դեկավարման համար նախատեսված հեղուկ բյուրեղական սարքավորումներում հիմնականում մենք գործ ունենք գաուսյան լայնական պրոֆիլով լուսային փնջերի հետ: Սակայն մինչ այժմ բավարար ուսումնասիրված չեն նման փնջերի կլանմամբ պայմանավորված հիդրոդինամիկական ու ջերմամեխանիկական երևույթները նեմատիկ հեղուկ բյուրեղներում: Սրանով է պայմանավորված ինտենսիվության գաուսյան լայնական բաշխում ունեցող լազերային ճառագայթներով նեմատիկներում մակածված հիդրոդինամիկական հոսքերի, ջերմամեխանիկական երևույթների ու դրանցով պայմանավորված կողմնորոշումային օպտիկական ոչգծայնությունների ուսումնասիրության արդիականությունը:

Աշխատանքի նպատակը

Ատենախոսության նպատակն է հանդիսացել տեսականորեն ուսումնասիրել նեմատիկ հեղուկ բյուրեղներում բջջի սահմանային մակերեսին զուգահեռ հարթությունում երկչափ ջերմաստիճանային գրադիենտի առկայությամբ երրորդ ջերմամեխանիկական երևույթով պայմանավորված կողմնորոշումային օպտիկական ոչգծայնությունը և ցույց տալ, որ ջերմամեխանիկական ոչգծայնությունը կարող է լինել նույնքան մեծ, որքան ուժեղ օպտիկական ոչգծայնությունը: Նպատակ ենք ունեցել նաև հայտնաբերել ջերմամեխանիկական երևույթ ազդեցնելով հարստացված նեմատիկ հեղուկ բյուրեղական պլանար և հոմոտորպ բջիջներում: Նեմատիկ հեղուկ բյուրեղներում ջերմամեխանիկական երևույթի ճշգրիտ բացատրության և ընկալման համար նպատակ ենք ունեցել նաև ուսումնասիրել լազերով մակածված հիդրոդինամիկական տորոնդալ հոսքերը պլանար և հոմոտորպ բջիջներում:

Գիտական նորություն

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

- Առաջին անգամ տեսականորեն ուսումնասիրվել են լազերով մակածված տորոնդալ հոսքեր նեմատիկ հեղուկ բյուրեղի համասեռ շերտում գաուսյան լայնական պրոֆիլ ունեցող լազերային փնջի կլանման հետևանքով: Ուսումնասիրվել է դրանց զարգացման դինամիկան: Ցույց է տրվել, որ կա լավ համաձայնություն նախկինում կատարված փորձարարական արդյունքների հետ:

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В диссертационной работе теоретически и экспериментально изучены механизмы переориентации молекул нематических жидких кристаллов. В частности, изучен эффект тороидальных термомеханически – конвективных движений в жидких кристаллах, индуцированных при помощи гауссовского лазерного пучка, а также термомеханический механизм ориентационной оптической нелинейности.

Теоретически показано, что поглощение лазерного пучка с поперечным гауссовским распределением интенсивности приводит к тороидальному термомеханическому потоку в жидко-кристаллической ячейке. Получены и решены уравнения директора для гомеотропной и планарной ячейки с уравнениями Навье-Стокса и теплопроводности. Переориентация директора за счет потока того же порядка, что и в случае сильной оптической нелинейности. Показано, что скорость потока примерно несколько мкм/сек. Данные полученные теоретическим путем находятся в хорошем согласии с ранее полученными экспериментальными результатами.

Теоретически изучена переориентация директора за счет третьего термомеханического эффекта. Найдено распределение и градиент температуры за счет поглощения лазерного пучка. Показано, что на дистанциях $3a$, где a – размер пучка, температурный градиент близка к нулю и поэтому переориентация директора в таких регионах также равен нулю.

Получены и решены уравнения директора в цилиндрическом и декартовом системах координат. Показано, что x и y градиенты температуры переориентируют директор в противоположных направлениях.

Экспериментальным путем было показано и исследовано наличие термомеханического эффекта в твист и планарных ячейках нематического жидкого кристалла с азобензеном. Было показано, что в твист ячейке существуют два ориентационные механизмы, а между тем в планарной ячейке есть только один механизм.

Результаты, полученные в рамках диссертационной работы, могут быть использованы в военной промышленности, в промышленности

with Gaussian Cross Distribution of Intensity , Molecular Crystals and Liquid Crystals, Volume 560, Issue 1, p. 123-130, (2012)

6. R.S. Hakobyan, M.R.Hakobyan, **A.K. Aleksanyan**, G.S. Gevorgyan, R.B. Alaverdyan, Some Light-Induced Orientational Effects in Nematic Liquid Crystals, Journal of Physics: Conference Series 350 (2012) 012034
7. **A. K. Aleksanyan**, A. K. Minasyan & R. S. Hakobyan, Convective Motions in Nematic Liquid Crystal Homeotrop and Planar Cells Induced by Gaussian Laser Beam, International Journal of Modern Physics: Conference Series, vol. 15, issue 01, p. 129, (2012)
8. **A.K. Aleksanyan**, Laser-induced orientational nonlinear phenomena and new vortex structures, Journal of Contemporary Physics (Armenian Academy of Sciences), Volume 48, Issue 2, pp 81-84, (2013)
9. **A.K. Aleksanyan**, G.S. Gevorgyan, R.S. Hakobyan, R.B. Alaverdyan, Laser-induced thermomechanical effects in nematic liquid-crystal, International Journal of Modern Physics: Conference Series Vol. 15, pp. 120-128, (2012)

- Առաջին անգամ տեսականորեն ուսումնասիրվել է գաուսյան լայնական պրոֆիլով լազերային ճառագայթի կլանման հետևանքով թվիստ բջջում առաջացած տորոիդալ հոսքը, որն ունի ջերմամեխանիկական բնույթ:
- Ուսումնասիրվել է ուղղորդի վերակողմնորոշման վարքը ջերմաստիճանային գրադիենտից կախված:
- Ցույց է տրվել, որ երրորդ տեսակի ջերմամեխանիկական երևույթի դեպքում ոչ գծայնությունը նույն կարգի է, ինչ որ հայտնի ուժեղ օպտիկական ոչգծայնության դեպքում: Հարկ է նշել, որ ի տարբերություն ուժեղ օպտիկական ոչգծայնության, որը բացակայում է գծային բևեռացում ունեցող լազերային փնջի նորմալ անկման դեպքում, ջերմամեխանիկական մեխանիզմը առկա է անկման բոլոր անկյունների համար:
- Առաջին անգամ փորձարարական եղանակով ուսումնասիրվել է ջերմամեխանիկական երևույթի առկայությունը ազդեցիկ էությունը հարստացված նեմատիկ հեղուկ բյուրեղի թվիստ և պլանար բջիջներում:

Կիրառական նշանակությունը

Ջերմամեխանիկական երևույթի ուսումնասիրությունը կարևոր է կիրառելիության տեսանկյունից, քանի որ ջերմային գրադիենտները առկա են գրեթե բոլոր հեղուկ բյուրեղական սարքավորումներում, որոնք շատ զգայուն են ուղղորդի վերակողմնորոշման նկատմամբ: Ատենախոսության շրջանակներում ստացված արդյունքները կարող են օգտագործվել բազմաթիվ սարքավորումներում, ինչպիսիք են բոլորիս քաջ հայտնի հեղուկ բյուրեղական էկրանները, բժշկական, ռազմական սարքավորումները, դետեկտորները և այլն: Քանի-որ ջերմամեխանիկական երևույթը պայմանավորված է ջերմաստիճանի գրադիենտով, որը կարելի է ստանալ ցակացած լույսի աղբյուրի միջոցով (օրինակ՝ ոչտեսանելի լույսի միջոցով), ապա այն նաև կարելի է օգտագործել նոր տեսակի դետեկտորներ պատրաստելու համար:

Պաշտպանության ներկայացված հիմնական դրույթները

1. Նեմատիկ հեղուկ բյուրեղներում տեղի է ունենում ինտենսիվության գաուսյան լայնակի բախշմամբ լազերով մակաձված տորոիդալ հոսք, որը պայմանավորված է ճառագայթի կլանմամբ ջերմաստիճանային:
2. Նեմատիկ հեղուկ բյուրեղներում՝ լազերային ճառագայթման կլանման հետևանքով առաջացած ջերմային հոսքերը բերում են ուղղորդի լրացուցիչ ջերմամեխանիկական վերակողմնորոշման:
3. Ջերմամեխանիկական երևույթով պայմանավորված ոչգծայնությունը նույն-քան մեծ է, որքան քաջ հայտնի “ուժեղ” օպտիկական ոչգծայնությունն է: Ավել-

լին, ի տարբերություն “ուժեղ” օպտիկական ոչգծայնության, որը չի գործում բջջի վրա լազերային փնջի նորմալ անկման դեպքում, ջերմամեխանիկական ոչգծայնությունը մնում է կարգով նույնը լազերային փնջի անկման բոլոր անկյունների համար:

4. Ազդրենգենով հարստացված նեմատիկ հեղուկ բյուրեղներում հնարավոր են լազերով մակածված ջերմամեխանիկական երևույթներ:

Աշխատանքի ծավալը

Ատենախոսությունը բաղկացած է ներածությունից, երեք գլուխներից, ամփոփումից և գրականության ցանկից 87 հղումներով: Աշխատանքի ընդհանուր ծավալը կազմում է 101 էջ, ներառյալ 43 նկարները:

Աշխատանքի սպորոբացիան

Աշխատանքի հիմնական արդյունքները զեկուցվել են «Լազերային ֆիզիկա-2010» և «Լազերային ֆիզիկա-2011» գիտաժողովներում, Աշտարակ, ՀՀ, “Optics of Liquid Crystals-2009” գիտաժողովում, Իտալիա, “Optics of liquid Crystals – 2011”, Երևան, ՀՀ և “ International Symposium on Optics and its Application (Optics - 2011)”, Աշտարակ, ՀՀ գիտաժողովներում: Արդյունքները նաև պարբերաբար քննարկվել են ԵՊՀ օպտիկայի ամբիոնի սեմինարների ընթացքում:

Հրատարակությունները

Ատենախոսության աշխատանքների թեմայով հրատարակված է 8 գիտական հոդված և 1 թեզիս, որոնց ցանկը ներկայացված է սեղմագրի վերջում:

ԱՇԽԱՏԱՆՔԻ ԲՈՎԱՆԴԱԿՈՒԹՅՈՒՆԸ

Ներածությունում հիմնավորված է ատենախոսությունում ներկայացված հետազոտության արդիականությունը, ներկայացված է աշխատանքի գիտական նորույթը, ձևակերպված են հակիրճ բովանդակությունը, կիրառական նշանակությունը և պաշտպանության ներկայացված հիմնական դրույթները:

Գլուխ 1-ում բերված է ատենախոսության թեմային առնչվող գրականության վերլուծություն: Այս գլուխը բաղկացած է յոթ պարագրաֆներից:

§1.1-ում ներկայացված են հեղուկ բյուրեղների տեսակները:

§1.2-ում ներկայացված են հեղուկ բյուրեղների դասերը:

§1.3-ում բերված են հեղուկ բյուրեղական բջիջները, դրանց պատրաստման եղանակներն ու կիրառությունները:

Գրականություն

1. С.М. Аракелян, Ю.С. Чилингарян, Г.А. Ляхов. УФН. 1980;131(5):3-44.
2. L. Vicari, F. Bloisi, F. Simoni. Appl Phys B. 1991;53(314).
3. I. Jánossy, L. Csillag, A.D. Lloyd. Phys Rev A. 1991;44:8410.
4. S.G. Odulov, Yu.A. Reznikov, M.S. Soskin, A.I. Khizhniak. Sov Phys JETP. 1982;55.
5. R. Elschner, R. Macdonald, J. Eichler, S. Hess, A.M. Sonnet. Phys Rev E. 1999;60.
6. H.J. Eichler, R. Macdonald. Phys Rev Lett. 1991;67.
7. Н.Ф. Пилипецкий, А.В. Сухов, Н.В. Табирян, Б.Я. Письма в ЖЭТФ. 1980;31:287-292.
8. O. Francescangeli, S. Slussarenko, F. Simoni, D. Andrienko, V. Reshetnyak, Y. Reznikov. Phys Rev Lett. 1999;82.
9. I.-C. Khoo, M.V. Wood, B.D. Guenther, M.-Y. Shih, P.H. Chen, Z. Chen, X.Z. Chen, X. Zhang. Opt Express. 1998;2.
10. A.V. Sukhov, N.V. Tabiryan, B.Ya. Zel'dovich, N.F. Pilipetskii. Optical Communications. 1981;37(4):280-284.
11. P.C. Акопян, Б.Я. Зельдович. ЖЭТФ. 1984;87(11):1660-1669.

Հրատարակված աշխատանքների ցուցակ

1. J. B. Poursamad, **A. K. Aleksanyan**, and R. S. Hakobyan, Thermomechanical mechanism of orientational optical nonlinearity in twisted nematic liquid crystals, J. Appl. Phys. 108, 123113 (2010); doi:10.1063/1.3525992 (5 pages)
2. **A. K. Aleksanyan**, and R. S. Hakobyan, Theoretical study of laser-induced thermomechanical effect and new type of orientational optical nonlinearity in twist aligned nematic liquid crystal, Proc. SPIE 7998, 799809 (2010); doi:10.1117/12.890864
3. G.S. Gevorgyan, **A.K. Aleksanyan**, R.S. Hakobyan, “Orientational optical nonlinearity of twisted nematic liquid crystal due to the thermomechanical effect”, Abstract of “The 13th International Conference on the Optics of Liquid Crystals – 2009”, P21, Erice, Italy, Sept.28-Oct.2, (2009).
4. G. S. Gevorgyan, **A. K. Aleksanyan**, R. S. Hakobyan & R. B. Alaverdyan, Experimental Study of Laser-Induced Orientational Effects in Twist and Planar Aligned Azobenzene Nematic Liquid Crystals, Molecular Crystals and Liquid Crystals, Volume 559, Issue 1, p. 91-96,(2012)
5. **A. K. Aleksanyan**, A. K. Minasyan & R. S. Hakobyan, Theoretical Study of Convective Motions in Liquids and Liquid Crystals Induced by Laser Radiation

գործում թվիստ բջջում, մինչդեռ մեկ տեսակի օղակաձև պատկեր է ստացվել պլանար բջի դեպքում: Այսպիսով, փորձարարական եղանակով ապացուցվել է, որ օղակաձև պատկերներից մեկը առաջացել է իզոմերների ցիս – տրանս անցման հետևանքով, իսկ երկրորդ տեսակի օղակների առաջացման պատճառը ջերմամեխանիկական երևույթն է:

ԱՄՓՈՓՈՒՄ

Այսպիսով, ատենախոսական աշխատանքում տեսական և փորձարարական ճանապարհներով ուսումնասիրվել են նեմատիկ հեղուկ բյուրեղներում մոլեկուլների վերակողմնորոշման մեխանիզմներ: Մասնավորապես, ուսումնասիրվել են գաուսյան փնջով մակաձված ջերմային – մեխանիկական տորոնդալ հոսքերը նեմատիկ հեղուկ բյուրեղներում, տեսական և փորձարարական եղանակներով ուսումնասիրվել է երրորդ տիպի ջերմամեխանիկական երևույթը թվիստ բջջում: Ինչպես նաև, առաջին անգամ ուսումնասիրվել են ջերմամեխանիկական երևույթները ազդեցնող հարստացված նեմատիկ հեղուկ բյուրեղական բջիջներում: Ձևակերպենք ատենախոսական աշխատանքում ստացված հիմնական գիտական արդյունքները:

1. Առաջին անգամ տեսականորեն ուսումնասիրվել է լազերով մակաձված տորոնդալ հոսքը նեմատիկ հեղուկ բյուրեղի համասեռ շերտում գաուսյան լայնական պրոֆիլ ունեցող լազերային փնջի կլանման հետևանքով: Ուսումնասիրվել է դրա զարգացման դինամիկան: Ցույց է տրվել, որ կա լավ համաձայնություն նախկինում կատարված փորձարարական տվյալների հետ:
2. Առաջին անգամ տեսականորեն ուսումնասիրվել է գաուսյան լայնական պրոֆիլով լազերային ճառագայթի կլանման հետևանքով թվիստ բջջում առաջացած տորոնդալ հոսքը, որն ունի ջերմամեխանիկական բնույթ:
3. Ուսումնասիրվել է ուղղորդի վերակողմնորոշման վարքը ջերմաստիճանային գրադիենտից կախված:
4. Ցույց է տրվել, որ երրորդ տեսակի ջերմամեխանիկական երևույթ դեպքում ոչ գծայնությունը նույն կարգի է, ինչ որ “ուժեղ” օպտիկական ոչգծայնության դեպքում: Հարկ է նշել, որ ի տարբերություն ուժեղ օպտիկական ոչգծայնության, որը բացակայում է գծային բևեռացում ունեցող լազերային փնջի նորմալ անկման դեպքում, ջերմամեխանիկական մեխանիզմը առկա է անկման բոլոր անկյունների համար:
5. Առաջին անգամ փորձարարական եղանակով ուսումնասիրվել է ջերմամեխանիկական երևույթի առկայությունը ազդեցնող հարստացված նեմատիկ հեղուկ բյուրեղի թվիստ և պլանար բջիջներում:

§1.4-ում բերված է հեղուկ բյուրեղի ձևախախտման ազատ էներգիան և դրա հատկությունները:

§1.5-ում կատարված է հեղուկ բյուրեղներում կողմնորոշումային օպտիկական ոչգծայնությունների ուսումնասիրությունների վերաբերյալ աշխատանքների վերլուծություն:

§1.6-ում ներկայացված են ջերմային ոչգծայնությունները հեղուկ բյուրեղներում:

§1.7-ում ներկայացված են ջերմամեխանիկական երևույթը ուսումնասիրելու ուղղությամբ նախկինում կատարված հետազոտությունները:

§1.8-ում բերված է այս գլխում քննարկվող նյութի ամփոփումը:

Գլուխ 2-ը նվիրված է նեմատիկ հեղուկ բյուրեղներում գաուսյան փնջով մակաձված ջերմամեխանիկական – կոնվեկտիվ հոսքերի ուսումնասիրությանը: Այս գլուխը բաղկացած է հինգ պարագրաֆներից:

§2.1 – ը նվիրված է հեղուկ բյուրեղում գաուսյան ճառագայթի կլանման հետևանքով առաջացած ջերմաստիճանի փոփոխությանը և ջերմամեխանիկական – կոնվեկտիվ հոսքի արագության բաշխմանը: Լուծվել են ջերմահաղորդականության և Նավիե-Ստոքսի հավասարումները: Այդ հավասարումների թվային լուծումներից ստացվել են ջերմաստիճանի, արագության բաշխման և արագության ուղղությունը պատկերող գրաֆիկները: $L = 1$ մմ հաստությամբ միջավայրի համար թվային եղանակով Comsol Multiphysics ծրագրի միջոցով լուծվել են ջերմահաղորդականության հավասարումը և մոլեկուլների դինամիկական և արագությունը բնութագրող Նավիե-Ստոքսի հավասարումը: Ցույց է տրվել, որ արագության առավելագույն արժեքը այս դեպքում մոտավորապես հավասար է 1.62 մկմ/վ:

§2.2-ում բերվել է կոնվեկցիայի հետևանքով հեղուկ բյուրեղի ուղղորդի վերակողմնորոշման տեսական նկարագրությունը հոմեոտրոպ և պլանար բջիջներում: Էյլեր – Լագրանժ – Ռեյլիի հավասարումների համակարգից ստացվել են ուղղորդի դինամիկական բնութագրող հավասարումները հոմեոտրոպ (1) և պլանար բջիջների (2,3) համար, որոնք ունեն հետևյալ տեսքը

$$K \nabla \delta n_r = \frac{1}{2} \mu_2 \left(\frac{\partial v_r}{\partial z} + \frac{\partial v_z}{\partial r} \right) + 2 \mu_3 \frac{d \delta n_r}{dt} - \mu_3 \left(\frac{\partial v_r}{\partial z} - \frac{\partial v_z}{\partial r} \right) \quad (1)$$

$$K \nabla^2 \delta n_y = \frac{1}{2} \mu_2 \left(\frac{\partial v_x}{\partial y} + \frac{\partial v_y}{\partial x} \right) + 2 \mu_3 \frac{d \delta n_y}{dt} - \mu_3 \left(\frac{\partial v_x}{\partial y} - \frac{\partial v_y}{\partial x} \right) \quad (2)$$

$$K\nabla^2 \delta n_z = \frac{1}{2} \mu_2 \left(\frac{\partial v_x}{\partial z} + \frac{\partial v_z}{\partial x} \right) + 2\mu_3 \frac{d\delta n_z}{dt} - \mu_3 \left(\frac{\partial v_x}{\partial z} - \frac{\partial v_z}{\partial x} \right), \quad (3)$$

որտեղ K – ն ֆրանկի առաձգականության գործակիցն է, իսկ μ_1 – ը՝ մածուցիկության հաստատուններն են, որոնք ստացվում են Լեալիի գործակիցներից, v_i – ն՝ արագության բաղադրիչները, իսկ δn_i – ը՝ դիրեկտորի խտորման բաղադրիչները:

§2.3-ում քննարկվել է գաուսյան փնջի կլանման հետևանքով գույգ փակ մակերևույթներով համետորոպ և պլանար բջիջներում առաջացած Ռեյեյ – Բենարի կոնվեկցիան: Թվային եղանակով Comsol Multiphysics ծրագրի միջոցով լուծվել են (1), (2) և (3) հավասարումները Նավիե – Ստոքսի և ջերմահաղորդականության հավասարումների հետ միասին: Բերվել են ջերմամեխանիկական – կոնվեկտիվ հոսքի հետևանքով առաջացած ուղղորդի բաղադրիչների բաշխվածությունները:

§2.4-ում քննարկվել է Մարանգոնիի կոնվեկցիան պլանար և հոմոտորոպ հեղուկ բյուրեղական բջիջներում: Այս դեպքում կոնվեկտիվ շարժումները առաջանում են մակերևութային լարվածության ջերմաստիճանային կախվածության պատճառով: Այստեղ պետք է հաշվի առնել ազատ մակերևույթի վրա ուժերի հավասարակշռության հավասարումը, որը ունի հետևյալ տեսքը՝

$$\eta \frac{\partial v_r}{\partial z} = \sigma' \frac{\partial T}{\partial r}, \quad (4)$$

որտեղ σ' – ը մակերևութային լարվածության ջերմաստիճանային ածանցյալն է, T – ն՝ ջերմաստիճանը, v_r – ն՝ արագության ռադիալ բաղադրիչը և η – ն՝ մածուցիկության գործակիցը:

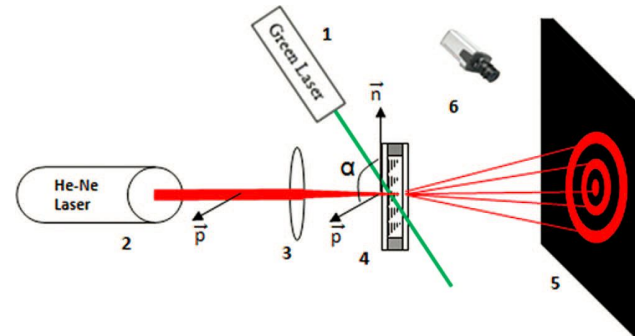
Այս դեպքում նույնպես լուծվել են Նավիե-Ստոքսի և դիրեկտորի հավասարումները և բերվել են ուղղորդի և արագության բաշխվածությունները բջջում: Ստացված արդյունքները լավ համապատասխանության մեջ են գտնվում նախկինում կատարված փորձարարական սովյալների հետ:

Գլուխ 3 ը նվիրված է մաքուր և ազոբենզենային նեմատիկ հեղուկ բյուրեղներում գաուսյան փնջով մակածված ջերմամեխանիկական երևույթի տեսական և փորձարարական ուսումնասիրությանը: Այս գլուխը բաղկացած է երեք պարագրաֆներից:

§3.1-ում բերվել է դիսիպատիվ ֆունկցիայի բացատրությունն ու ստացումը:

§3.2-ը նվիրված է հեղուկ բյուրեղում կլանման հետևանքով ջերմաստիճանի փոփոխության և ջերմային գրադիենտի որոշմանը: Բերվել է ջերմահաղորդականության հավասարման լուծումը և ջերմաստիճանի գրադիենտի համար ստացվել է հետևյալ արտահայտությունը՝

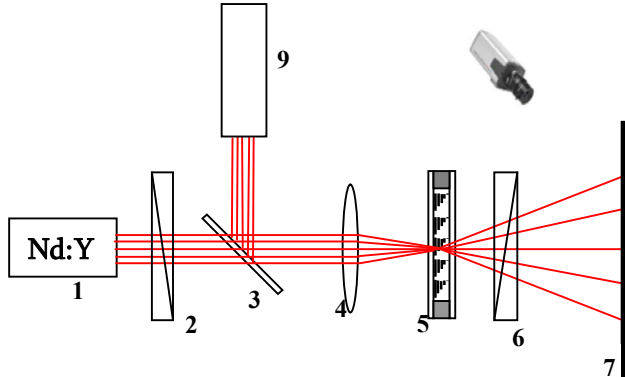
հեղուկ – նեոնային լազերի միջոցով: Բջիջը մի քանի վայրկյանով կանաչ լազերի լայն փնջով ($I = 15$ մՎտ/սմ²) ճառագայթելուց հետո գոնդող հեղուկ-նեոնային լազերի միջոցով էկրանի վրա դիտվել է մի քանի լուսավոր օղակներից բաղկացած պատկեր, անկախ այն հանգամանքից, կանաչ լազերը միացրած է, թե ոչ: Սա վկայում է հեղուկ-նեոնային փնջի և միջավայրի միջև ոչգծային փոխազդեցության մասին: Պատելով բջիջը իր հարթության մեջ փոխում ենք հեղուկ – նեոնային լազերի բևեռացման և բջջի առաջին պատի մոտ ուղղորդի միջև α անյունը: Դրա հետևանքով փոխվում է ինտենսիվության բաշխումը էկրանի վրա: Արդյունքում սկզբնական օղակներից գատ, էկրանին պայծառ օղակներ են հայտնվում ($\alpha = 45^\circ$):



Նկ.3: Փորձարարական սխեմա: 1) կանաչ լազեր, 2) հեղուկ – նեոնային լազեր, 3) սուպլյակ, 4) հեղուկ բյուրեղական բջիջ, 5) էկրան, 6) թվային ֆոտոխցիկ

Նույն փորձը կատարվել է նաև պլանար բջջի դեպքում : ՀԲ բջջի վրա հեղուկ – նեոնային փնջի թե՛ նորմալ, թե՛ անկյան տակ անկման դեպքում ստացվել է նույն արդյունքը: Այսպիսով, կարող ենք եզրակացնել, որ լազերային փունջը տարածվելով ուղղորդի թվիստ և պլանար բաշխում ունեցող BAAB 1005 տեսակի ազոբենզենային նեմատիկ հեղուկ բյուրեղական միջավայրով, ոչգծային փոխազդեցության մեջ է մտնում միջավայրի հետ: Այդ փոխազդեցության հետևանքով էկրանին դիտվում են օղակներ: Օղակների առաջացման ու ոչգծային փոխազդեցության մեխանիզմի հիմքում ընկած է այն հանգամանքը, որ տրանս – ցիս անցման հետևանքով փոխվում է միջավայրի բեկման ցուցիչը: Այդ բեկման ցուցիչի փոփոխությունը համեմատական է ընկնող լույսի ինտենսիվությանը: Պարզվում է, որ փոխազդեցության մեխանիզմները տարբեր են վերևում դիտարկված երկու տեսակի բջիջների համար: Ուսումնասիրելով էկրանի վրա առաջացած օղակաձև պատկերները ընկնող լույսի տարբեր բևեռացումների համար, ցույց է տրվել, որ երկու տեսակի կողմնորոշումային մեխանիզմներ են

տեղադրված թվիստ բջջի դեպքում ինտենսիվության մեծացմանը զուգընթաց էկրանի վրա ստացվող մութ պատկերի տեղը առաջանում է լուսավոր պատկեր: Եթե երևույթը լիներ ոչ կողմնորոշումային, ապա սկզբնական մութ պատկերի փոփոխություն չէր դիտվի: Բացի դա, մեր փորձերում դիտված օղակաձև պատկերները ձևավորվել են բավականին երկար ժամանակներում (ավելի քան 30 վայրկյան): Այս փաստը կրկին անգամ ապացուցում է, որ հայտնաբերված երևույթը կողմնորոշումային բնույթ ունի, այլ ոչ թե ջերմային:



Նկ. 2: Ջերմամեխանիկական երևույթի դիտման փորձարարական սարքի սխեման. 1) Nd:YAG լազեր, 2) բևեռացուցիչ, 3) կիսաթափանց ապակի, 4) 4 սմ ֆոկուսային հեռավորությամբ ոսպնյակ, 5) թվիստ կողմնորոշված ՆՀԲ բջիջ (100 մկմ հաստությամբ), 6) վերլուծիչ, 7) էկրան, 8) թվային ապարատ, 9) He-Ne լազեր:

Երևույթը դիֆրակցիոն բնույթը ստուգելու համար բջջի վրա կիրառվել է էլեկտրական դաշտ, ինչի արդյունքում էկրանի վրա օղակաձև պատկերը վերացել է: Դա ևս մեկ անգամ ապացուցում է երևույթի ոչ-դիֆրակցիոն և կողմնորոշումային բնույթը:

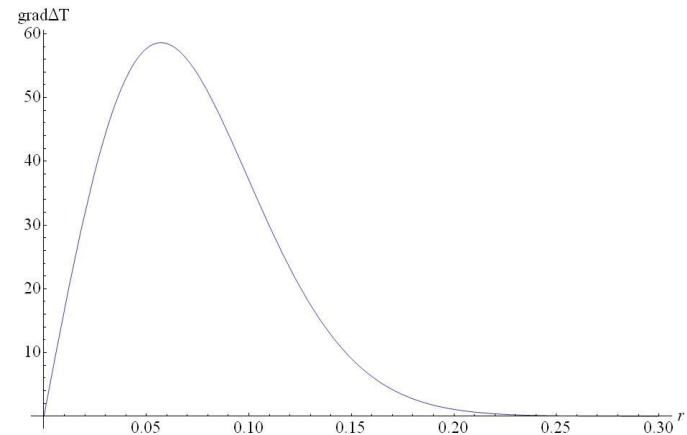
§3.8-ում ներկայացվել է ջերմամեխանիկական երևույթի փորձարարական ուսումնասիրությունը ազդեցիկ հարստացված հեղուկ բյուրեղում: Փորձի սխեման, որը օգտագործվել է BAAB 1005 տեսակի ազդեցիկ նեմատիկ հեղուկ բյուրեղում կողմնորոշումային օպտիկական ոչգծայնությունը ուսումնասիրելու համար տրված է նկ. 3-ում: Ազդեցիկ «ցիս» վիճակի անցումը կատարվել է 0.53 մկմ ալիքի երկարությամբ կանաչ լազերի միջոցով: Ցիս – տրանս անցումը և հեղուկ բյուրեղի մոլեկուլների վերակողմնորոշումը կատարվել է հեղուկ բյուրեղական բջջի վրա 2 սմ ֆոկուսային հեռավորությամբ ոսպնյակով ֆոկուսացված, բջջի պատին ուղղահայաց ընկնող, գծային բևեռացմամբ, միամող,

$$\frac{\partial \Delta T}{\partial r} = \frac{2P\alpha t_c}{\pi c \rho_0 \sigma^2} \frac{1}{r} \left[\exp\left(-\frac{2r^2}{\sigma^2}\right) - \exp\left(-\frac{2r^2}{\sigma^2 \left(1 + \frac{2t}{t_c}\right)}\right) \right], \quad (5)$$

որտեղ P -ն լազերի հզորությունն է, α -ն՝ կլանման գործակիցը, ω -ն՝ փնջի չափը, ρ_0 -ն՝ միջավայրի խտությունը, իսկ $t_c = \omega^2/4D$, որտեղ D -ն ջերմային դիֆուզիայի գործակիցն է, c -ն՝ լույսի արագությունը:

5CB նեմատիկ հեղուկ բյուրեղում ջերմաստիճանի գրադիենտի լայնական բաշխվածությունը պատկերված է նկ. 1-ում:

Ցույց է տրվել, որ փնջի լայնությունից երեք անգամ մեծ հեռավորությունների վրա (փնջի կենտրոնից հաշված) ջերմաստիճանի գրադիենտը գրեթե բացակայում է, հետևաբար, այդ տիրույթում ջերմամեխանիկական երևույթի հետևանքով մոլեկուլների վերակողմնորոշում չի կարող լինել: 40 մՎտ լազերի հզորության և 3սմ^{-1} կլանման գործակցի դեպքում լազերը միացնելուց մեկ վայրկյան հետո դեռ տեղի չի ունեցել նեմատիկ – իզոտրոպ փուլային անցում: Այդ ժամանակը բավական է վերակողմնորոշումը գրանցելու համար: Ինչպես տեսնում ենք ջերմաստիճանի գրադիենտը (5), որից կախված է հեղուկ բյուրեղում երրորդ տեսակի ջերմամեխանիկական երևույթի շնորհիվ ուղղորդի վերակողմնորոշումը, ուղիղ համեմատական է փնջի ինտենսիվության (P/ω^2) և կլանման գործակցի արտադրյալին:



Նկ. 1: Ջերմաստիճանի գրադիենտի լայնական բաշխում (կախվածությունը լայնական r կոորդինատից)

Հետևաբար, նույն ջերմաստիճանային գրադիենտը, ինչպես նաև ջերմամեխանիկական երևույթի հետևանքով առաջացած ուղղորդի վերակողմնորոշումը կարելի է ստանալ՝ օգտագործելով փոքր կլանմամբ միջավայր (մաքուր հեղուկ բյուրեղ) և մեծ ինտենսիվությամբ լազեր կամ մեծ կլանմանաբ միջավայր (ներկանյութի հետ խառնած հեղուկ բյուրեղ) ու փոքր ինտենսիվությամբ լազեր:

§3.3-ում թվիստ բջջի դեպքում լուծվել է ուղղորդի հավասարումը գլանային կորոդինատական համակարգում: Ուղղորդի երեք ρ , φ և z բաղադրիչների համար գլանային կորոդինատական համակարգում ստացվել են հետևյալ հավասարումները՝

$$\sin^2(Z) \nabla^2 \delta n_\rho - \sin(Z) \cos(Z) \nabla^2 \delta n_\varphi + \delta n_\rho - \eta_1 \cos(Z) \sin^2(Z) \frac{1}{r} \frac{\partial T}{\partial r} = \frac{\partial \delta n_\rho}{\partial \tau} \quad (6)$$

$$\sin^2(Z) \nabla^2 \delta n_\varphi - \sin(Z) \cos(Z) \nabla^2 \delta n_\rho + \delta n_\varphi + \eta_1 \cos^2(Z) \sin(Z) \frac{1}{r} \frac{\partial T}{\partial r} = \frac{\partial \delta n_\varphi}{\partial \tau}$$

$$\nabla^2 \delta n_z + \delta n_z + \eta_2 \sin(Z) \frac{\partial T}{\partial r} = \frac{\partial \delta n_z}{\partial \tau}$$

որտեղ δn_ρ , δn_φ , δn_z -ը դիրեկտորի խտտորումներն են, համապատասխանաբար ρ , φ և Z ուղղություններով:

$$\nabla^2 = \frac{1}{\rho} \left[\frac{\partial}{\partial \rho} \left(\rho \frac{\partial}{\partial \rho} \right) + \frac{\partial}{\partial Z} \left(\rho \frac{\partial}{\partial Z} \right) \right], \quad \eta_1 = \frac{2\xi_1 - \xi_3}{2K}, \quad \eta_2 = \frac{\xi_2 + \frac{1}{2}\xi_3}{K}$$

ρ , Z և τ -ն նորմավորված են հետևյալ կերպ,

$$\rho = \frac{\pi r}{2L}, \quad Z = \frac{\pi z}{2L}, \quad \tau = \frac{K\pi^2}{4\gamma L^2} t$$

Այստեղ ξ_i -ը ջերմամեխանիկական հաստատուններն են, δn_z -ը ջերմամեխանիկական երևույթի հետևանքով առաջացած դիրեկտորի լրացուցիչ խտտորումն է:

§3.4-ում լուծվել է դիրեկտորի բաղադրիչների (6) հավասարումների համակարգը Mathematica 8 ծրագրային փաթեթի միջոցով հետևյալ սահմանային պայմանների դեպքում՝

$$\delta n(r=0, 2\omega, z, \tau) = \delta n(r, z=0, L, \tau) = \delta n(r, z, 0) = 0$$

Ուղղորդի երեք բաղադրիչների համար ստացվել են բաշխվածության գրաֆիկները: Վերակողմնորոշման ρ և φ բաղադրիչները ունեն հակառակ նշաններ: Պարզվում է, որ այդ վերակողմնորոշումները մեծությամբ նույն կարգի են: Չնայած այն հանգամանքին, որ z բաղադրիչը մի քանի տասնյակ անգամ մեծ է մյուս երկու բաղադրիչներից, ցույց է տրվել, որ այն ներդրում չի տալիս ոչ գծայնության մեջ, երբ ճառագայթը նորմալ է ընկնում նմուշի վրա:

§3.5-ում բերվել է օպտիկական ոչգծայնության հաշվարկը: Լազերային ճառագայթը՝ ընկնելով ZF միջավայրի վրա, ոչգծային փոխազդեցության մեջ է մտնում վերջինիս հետ՝ փոխելով նրա բեկման ցուցիչը: Այդ բեկման ցուցիչի փոփոխությունը ուղիղ համեմատական է լազերային ճառագայթի ինտենսիվությանը: Համեմատականության գործակիցը բնութագրում է տվյալ մեխանիզմով պայմանավորված ոչգծայնությունը: $P = 40$ մՎտ հզորությամբ հելիում - նեոնային զոնդող ճառագայթը օգտագործվել է ոչգծայնությունը և թվիստ բջջում երրորդ տեսակի ջերմամեխանիկական երևույթի շնորհիվ առաջացած մոլեկուլների վերակողմնորոշումը գրանցելու համար: Ջոնդող անսովոր ճառագայթի փուլի փոփոխության համար ստացվել է հետևյալ արտահայտությունը՝

$$\frac{d\Phi}{dz} |_{e\text{-wave}} = \frac{\epsilon_a \omega_p}{cn \cos \beta} (\cos Z \cos^2 \beta \delta n_\rho + \sin Z \delta n_\varphi - \cos Z \sin \beta \cos \beta \delta n_z), \quad (7)$$

որտեղ β -ն անկման անկյունն է, ω_p -ն՝ զոնդող ճառագայթի չափը, $n - \rho$ ՝ բեկման ցուցիչը և ϵ_a -ն՝ դիէլեկտրական ընկալունակության անիզոտրոպիան:

Եթե բեկման ցուցիչի փոփոխության մասին պատկերացում կազմելու համար օգտվենք $\Delta \Phi = 2\pi L \Delta n / \lambda$ բանաձևից, որտեղ L - ը բջջի հաստությունն է, իսկ λ -ն զոնդող ճառագայթի ալիքի երկարությունը, ապա կստանանք $\Delta n \approx 0.4 \times 10^{-2}$: Ոչգծայնության գործակից կախվածությունը բեկման ցուցիչի փոփոխությունից և ինտենսիվությունից ունի հետևյալ տեսքը՝

$$\epsilon_2 = \frac{n_0 c \Delta n}{I} = 0.14 \text{ սմ}^3/\text{երգ},$$

որտեղ I -ն ինտենսիվությունն է, n_0 - ն՝ բեկման ցուցիչը: Այսպիսով, ոչգծայնության գործակիցը նույն կարգի է, ինչ-որ ուժեղ օպտիկական ոչգծայնության դեպքում:

§3.6-ում թվիստ բջջի համար լուծվել է դիրեկտորի հավասարումը դեկարտյան կորոդինատական համակարգում, x և y ուղղություններով ջերմային գրադիենտի առկայության պայմաններում: Ցույց է տրվել, որ այս երկու գրադիենտները վերակողմնորոշում են դիրեկտորը հակառակ ուղղություններով և արդյունքում առաջանում են տիրույթներ, որտեղ վերակողմնորոշումը բացակայում է կամ ավելի փոքր է ի շնորհիվ միջմոլեկուլային ուժերի:

§3.7-ում ներկայացվել է թվիստ բջջում երրորդ տեսակի ջերմամեխանիկական երևույթի փորձարարական ուսումնասիրությունը: Փորձի սխեման ներկայացված է նկ. 2-ում: Թվիստ բջջի վրա լազերային ճառագայթի նորմալ անկման դեպքում էկրանի վրա դիտվել են օղակներ, ինչը վկայում է լազերային ճառագայթի և հեղուկ բյուրեղական միջավայրի միջև ոչգծային փոխազդեցության մասին: Ավելի մեծ վերակողմնորոշում դիտվել է բջջի այն տիրույթներում, որտեղ ջերմաստիճանի գրադիենտը մեծ է: Հայտնաբերված երևույթի կողմնորոշումային բնույթն ապացուցում է այն փաստը, որ զուգահեռ բևեռացուցիչների միջև