

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ УКРАЇНИ**

**ІНСТИТУТ ФІЗИЧНОЇ ОПТИКИ**

На правах рукопису

**ВЛОХ Ростислав Орестович**

УДК 535.511+543.47+535.562

**ГРАДІЄНТНІ ЕФЕКТИ ПАРАМЕТРИЧНОЇ  
КРИСТАЛООПТИКИ**

Спеціальність 01.04.05. - Оптика

**АВТОРЕФЕРАТ**  
дисертації на здобуття вченого ступеня  
доктора фізико-математичних наук

Львів - 1995



00756167 (W)

Державному університету  
політехніка"

Науковий консультант: - доктор технічних наук,  
професор ГОТРА Зеновій Юрійович

- Офіційні опоненти:
- член-кореспондент НАН України  
ЛИТОВЧЕНКО Володимир Григорович, зав.  
відділом Інституту фізики  
напівпровідників НАН України
  - доктор фізико-математичних наук,  
професор ПОПЛАВКО Юрій Михайлович.  
Київський державний політехнічний  
інститут
  - доктор фізико-математичних наук,  
професор МАТКОВСЬКИЙ Андрій  
Орестович, зав. сектором науково-  
виробничого об'єднання "КАРАТ"

Провідна організація - Дніпропетровський державний  
університет

Захист відбудеться "27" січня 1995 р. о 15<sup>15</sup> год. на  
засіданні спеціалізованої вченої ради по захисту дисертацій на  
здобуття вченого ступеня доктора фізико-математичних наук  
(Д.04.07.01) при Інституті фізичної оптики, 290005, м. Львів,  
вул.Драгоманова, 23.

З дисертацією можна ознайомитися у бібліотеці Інституту.

Автореферат розісланий "26" згрудня 1994 р.

Вчений секретар спеціалізованої  
вченої ради кандидат  
фізико-математичних наук

ЛННБ ім. В. Стефаніка  
АН України



-БОЛЕСТА І.М.

## ВСТУП

*Актуальність теми.* Аналіз робіт, які проводились у вітчизняних та зарубіжних наукових школах вказує на те, що увага дослідників в галузі фізичної оптики, зокрема кристалооптики та оптики твердого тіла, переорієнтовується на вивчення реальних, неоднорідних середовищ. Даний факт, очевидно, пов'язаний як з неідеальністю кристалічних структур реальних середовищ, так і з тим, що нові експериментальні методи досліджень досягнули рівня чутливості, при якому стає можливим виявлення та вивчення тих чи інших типів неоднорідностей кристалічного середовища. На цій основі зародився напрямок відомий під назвою градієнтна оптика, в загальних рисах, суть якого полягає в створенні середовищ з градієнтом показника заломлення світла, наприклад, за рахунок відповідної імплантації домішок. В технічному відношенні такі середовища знаходять застосування в оптичних елементах з фокусуючими або адаптивними властивостями.

Однак, що стосується ефектів параметричної кристалооптики (електро-, п'єзо-, магнітооптики), то практично вони зводились до впливу на двозаломлення або оптичну активність однорідних зовнішніх полів відповідної природи або ефектів, викликаних спонтанними електричною поляризацією, деформацією або намагніченням. З другого боку, природня оптична активність або її аналог - електрогірація як ефекти просторової дисперсії пов'язуються з градієнтом поля світлової хвилі в рамках характерної віддалі взаємодії, наприклад постійної кристалічної ґратки.

Питанням параметричних ефектів, зумовлених неоднорідними полями, по суті до робіт автора увага не приділялася. Постановка такої проблеми і її розв'язання навіть на феноменологічному рівні дала б можливість в сукупності з однакових позицій підходити до низки ефектів, викликаних неоднорідністю середовища. Стимулюючим

фактором таких досліджень є не тільки те, що неоднорідності (градієнти) відповідних фізичних величин можуть створюватися як внутрішніми, так і зовнішніми чинниками, але й те, що в дослідженні ефектів просторової дисперсії останнім часом досягнуто значних результатів (відкриття та дослідження явищ електрогірації і п'езогірації).

Базуючись на взаємозв'язку поляризації з градієнтами полів різної природи і виходячи з симетричних умов та тензорного аналізу можна передбачити нові оптичні явища, визначити умови їх спостереження та дослідження. З цієї точки зору вже згадувані ефекти просторової дисперсії виступали б як частковий прояв градієнтної параметричної кристалооптики, інші ж могли б знайти однозначне трактування. Це, зокрема, стосується нетривіальних ефектів, які виникають при сегнетоелектричних і сегнетоеластичних фазових переходах спонтанно або внаслідок дії зовнішніх полів.

З другого боку, такий підхід відкриває нову сторінку в оптиці неоднорідних середовищ, в яких неоднорідність створюється зовнішніми або внутрішніми полями. Розгляд певних модельних ситуацій дає можливість не тільки підійти до оптичної анізотропії градієнтного типу, але й на цій основі сформувати нові методи дослідження і вимірювання неоднорідних напружень в кристалах і створити оптичні пристрої неруйнівного контролю напружених станів та датчики фізичних величин.

*Мета роботи.* 1. Феноменологічний опис, аналіз умов спостереження та експериментальне виявлення і вивчення градієнтних ефектів параметричної кристалооптики.

2. Проведення комплексних досліджень фазових переходів в сегнетоелектричних та сегнетоеластичних кристалах при структурних фазових переходах методами параметричної кристалооптики. Проведення феноменологічного аналізу

спонтанної та індукованої п'езогірації та енантіоморфізму доменної структури для сегнетоеластичних кристалів. Симетрійний аналіз перехресних ефектів параметричної кристалооптики та вивчення їх особливостей при наявності магнітного поля. Отримання, аналіз і експериментальне підтвердження можливих співвідношень між ефектами електро- і пружньооптики та електро- і пружньогірації.

3. Аналіз та експериментальне вивчення взаємодії та інтерференції циркулярно-поляризованих хвиль в точках інверсії лінійного двозаломлення гіротропних кристалів. Проведення аналізу коноскопічних картин та поверхонь фазових і групових швидкостей циркулярно-поляризованих оптичних хвиль в гіротропних кристалах, які володіють ізотропною точкою. Опис нових ефектів зв'язаних з різницею фазових і групових швидкостей циркулярно-поляризованих хвиль. Експериментальне дослідження та аналіз впливу зовнішніх полів на інтерференцію циркулярно-поляризованих хвиль в енантіоморфних кристалах.

4. Опис, експериментальне виявлення та дослідження явища акустогіраційної дифракції світла. Дослідження дифракції світла на гіроелектричних та гіроеластичних доменних структурах.

5. Феноменологічний опис, експериментальне виявлення та всестороннє дослідження оптичних явищ, які виникають в кристалах під дією статичних неоднорідних полів. Дослідження впливу неоднорідних, модельних механічних напружень на гіротропні та заломлюючі властивості кристалів.

6. Вивчення можливостей застосування ефектів градієнтної параметричної кристалооптики для керування оптичним випромінюванням.

#### *Наукова новизна.*

1. В частині, яка стосується поширення та інтерференції циркулярно-поляризованих хвиль в гіротропних кристалах.

Розширена феноменологічна теорія нелінійно-оптичних явищ, які проявляються при врахуванні градієнтів полів різної природи. З врахуванням частотних перестановок проведений макроскопічний опис та симетрійний аналіз градієнтних ефектів параметричної кристалооптики. Показано, що ефекти природньої та індукованої гіротропії першого порядку є лише частковим проявом явищ градієнтної кристалооптики. Проведений аналіз коноскопичних картин та поверхонь фазових та групових швидкостей циркулярно-поляризованих оптичних хвиль в гіротропних кристалах, які володіють ізотропною точкою. Обґрунтована можливість існування ефекту двопроменевої рефракції циркулярно-поляризованих хвиль. Експериментально досліджена інтерференція циркулярно-поляризованих хвиль в кристалах  $\text{SiO}_2$  та  $\text{TeO}_2$  під дією електричного поля та механічного напруження; вперше виявлений квадратичний електрогіраційний ефект в кристалах  $\text{TeO}_2$  в чистому вигляді. Проведено аналіз впливу енантіоморфізму кристалів на зміну гіраційних поверхонь при електро- та п'єзогірації.

2. В частині, яка стосується параметричної кристалооптики власних гіротропних сегнетоелектриків та сегнетоеластиків.

На прикладі кристалів  $\text{K}_2\text{Cd}_2(\text{SO}_4)_3$  при сегнетоеластичному фазовому переході виявлені нетривіальні властивості, зокрема: "заборонена" доменна структура, взаємозаміщення показників заломлення при прямому і зворотньому проходженні через точку Кюрі, ізоструктурний фазовий перехід, що проявляється в параметричних оптичних ефектах. Вперше проаналізовано температурну поведінку спонтанної та індукованої п'єзогірації в сегнетоеластичних кристалах, отримані гіроеластичні петлі гістерезиса, які виникають при механічному

переключенні сегнетоеластичних доменів, що володіють різним знаком енантіоморфізму. Отримані інваріантні співвідношення для ефектів електро- та пружньооптики і електро- та пружньогірації в сегнетоелектриках-сегнетоеластиках, виконуваність яких експериментально підтверджена на кристалах амонієвої сегнетової солі.

3. В частині, яка стосується гіраційно-дифракційної взаємодії електромагнітних хвиль.

Здійснений феноменологічний опис, виявлено та досліджено явище акустогіраційної дифракції світла. Проведений аналіз умов спостереження колінеарної акустогіраційної взаємодії світла та звуку. Виявлена та досліджена колінеарна акустогіраційна дифракція світла в енантіоморфних кристалах кварцу в умовах взаємодії циркулярно-поляризованих хвиль. Всесторонньо вивчена дифракція світла на доменній структурі в кристалах барій-натрієвого ніобату та молібдату гадолінія. Виявлена пружньогіраційна дифракція світла на енантіоморфних доменах в кристалах  $Ba_2NaNb_5O_{15}$ . Експериментально досліджені температурні та кутові залежності пружньогіраційної та пружньооптичної дифракції світла в даних кристалах та розраховані на їх основі пружньооптичні та пружньогіраційні константи.

4. В частині, яка стосується поширення світла в кристалах при статичних неоднорідних діях.

Проведено симетрійний аналіз заломлюючих та гіротропних властивостей кристалів в неоднорідних полях. Експериментально досліджено зміну двозаломлення кристалів  $LiNbO_3$  при крученні. Отримано розподіл коноскопичних картин, оптичних індикатрис та двозаломлення ніобату літію при скручуванні його навколо осі  $Z$  та скануванні оптичним

променем по ХУ-перерізу кристалу. Виявлено, що при скручуванні кристалів  $\text{LiNbO}_3$  навколо оптичної осі та поширенні оптичного променя вздовж осі Z двозаломлення не виникає при поширенні світла тільки через геометричний центр колового ХУ-перетину кристалу. При цьому показано, що при переході світлового пучка через геометричний центр перетину двозаломлення змінює знак при незмінності знаку скручуючого моменту. Виявлено зміщення точки відсутності двозаломлення при прикладенні різних по величині скручуючих моментів до кристалу  $\text{LiNbO}_3$ , що пояснюється проявом градієнтного фотопружного ефекту. Експериментально досліджено розподіл оптичних індикатрис та двозаломлення в ніобаті літію при згині, на основі чого розраховано розподіл деформацій. При крученні та згині ніобату літію виявлена особливість, яка полягає у повертанні оптичної індикатриси у певних областях кристалу на кут  $90^\circ$  при збереженні орієнтації довгої осі індикатриси, тобто зістикування осей X і Y. Показано, що дана особливість як при крученні так і при згині кристалів  $\text{LiNbO}_3$  пов'язана з зануленням в цих областях однієї з компонент тензора деформацій. При скручуванні кристалів ніобату літію навколо оптичної осі виявлено, що загальна картина розподілу оптичних індикатрис володіє особливими напрямками, які відповідають кристалофізичним осям X і Y. Запропоновано торсійно-оптичний спосіб орієнтації кристалів середніх сингоній. Експериментально виявлений градієнтний п'єзогіраційний ефект в кристалах  $\text{NaBi}(\text{MoO}_4)_2$  та градієнтний п'єзооптичний ефект в ніобаті літію. Отримана залежність приросту компоненти тензора гірації від скручуючого моменту. Проведений опис вперше запропонованих п'єзооптичних, п'єзогіраційних та торсійно-оптичних способів та пристроїв для керування оптичним випромінюванням.

*Наукове та практичне значення результатів роботи.*

1. Результати феноменологічного опису градієнтних ефектів параметричної кристалооптики, як явищ нелінійної оптики, дають можливість збагнути загальну картину нелінійно-оптичних ефектів, які проявляються як з врахуванням польових градієнтів так і без даного врахування. Більше того, з вищезгаданої концепції випливає можливість існування цілої низки нових ефектів параметричної кристалооптики, зокрема, таких як акустогіраційна дифракція світла, градієнтні п'єзооптичний та п'єзогіраційний, а також електрооптичний та електрогіраційний ефекти та ін. Даним феноменологічним описом такі явища, як природня гіротропія, електрогірація та п'єзогірація визначаються, як частковий прояв нелінійних градієнтних явищ параметричної кристалооптики. Тому наукове значення даної роботи полягає, в першу чергу, в описі, виявленні та дослідженні нових градієнтних явищ параметричної кристалооптики.

2. Результати аналізу поширення, взаємодії та інтерференції циркулярно-поляризованих хвиль в гіротропних кристалах з ізотропною точкою дають можливість глибше проникнути в природу взаємодії електромагнітного випромінювання з просторово-дисперсійними структурами, передбачити можливість спостереження коноскопічних картин при інтерференції циркулярно-поляризованих хвиль та ефекту двопроменевої рефракції світла - аналога кінчної рефракції лінійно-поляризованих хвиль. Слід також зауважити, що дослідження та аналіз впливу електричного поля та механічного напруження на гіраційні властивості кристалів кварцу та парателуриту привели до виявлення квадратичного електрогіраційного ефекту в чистому вигляді, а також до встановлення правила знаків для електро- та п'єзогіраційних ефектів в енантіоморфних кристалах.

3. Отримані результати, що стосуються заломлюючих, електрооптичних, п'єзооптичних та гіротропних властивостей кристалів  $K_2Cd_2(SO_4)_3$ , при сегнетоеластичних фазових переходах можуть бути корисними, як для теоретичної інтерпретації структурних перетворень в твердому тілі на мікроскопічному рівні, так і для більш глибокого теоретичного вивчення ефектів параметричної кристалооптики. В результаті встановлення інваріантних співвідношень для ефектів електро- та пружньооптики і електро- та пружньогірації в сегнетоелектриках-сегнетоеластиках, аналізу характеру спонтанної і індукованої п'єзогірації в сегнетоеластиках та аналізу гіреластичних петель гістерезису, які виникають при механічному переключенні сегнетоеластичної доменної структури, складається загальна картина спонтанної та індукованої гіротропії при сегнетоелектричних та сегнетоеластичних фазових переходах.

4. Фундаментальне наукове значення має опис, виявлення та дослідження акустогіраційної дифракції світла. Результати аналізу прояву колінарної акустогіраційної взаємодії світла та звуку створюють можливості подальшого цілеспрямованого вивчення даного ефекту. Прямим доказом існування акустогіраційної дифракції світла є закономірна різниця в поведінці акустогіраційної взаємодії в енантіоморфних кристалах кварцу, а також результати досліджень пружньогіраційної дифракції світла на енантіоморфних гіроеластичних доменах <sup>с</sup> в кристалах барій-натрієвого ніобату. Слід також зауважити, що комплексні дослідження дифракції світла на доменних структурах в сегнетоелектриках та сегнетоеластиках можуть використовуватись, як метод вивчення критичних явищ при фазових переходах.

5. Експериментальне дослідження впливу неоднорідних механічних напружень на заломлюючі та гіротропні властивості кристалів володіють, як фундаментальним, так і прикладним значенням. Так вперше виявлений і описаний градієнтний п'езогіраційний ефект дозволяє глибше проникнути в природу явищ просторової дисперсії, а також він може знайти застосування як інструмент для дослідження неоднорідно-напруженого стану середовищ. Запропоновані в роботі способи та пристрої для керування оптичним випромінюванням на основі торсійно-оптичних ефектів позитивно відрізняються характеристиками від аналогів, що застосовують однорідні поля тим, що дають можливість перестроювати чутливість керуючих елементів.

*Положення, які виносяться на захист.*

1. Феноменологічний опис та симетрійний аналіз градієнтних ефектів параметричної кристалооптики.

2. Коноскопичні картини та поверхні фазових і групових швидкостей циркулярно-поляризованих хвиль в гіротропних кристалах, які володіють ізотропною точкою. Обґрунтування можливості існування ефекту двопроменевої рефракції циркулярно-поляризованих хвиль. Співвідношення для ефекту двопроменевої рефракції світла та оцінка його величини в кристалах  $\text{AgGaS}_2$ .

3. Результати експериментальних досліджень інтерференції циркулярно-поляризованих хвиль в кристалах  $\text{SiO}_2$  та  $\text{TeO}_2$  під дією електричного поля та механічного напруження; виявлення квадратичного електрогіраційного ефекту в кристалах  $\text{TeO}_2$  в чистому вигляді. Результати аналізу впливу енантіоморфізму кристалів на зміну гіраційних поверхонь при електро- та п'езогірації. Правило знаків для зміни гіраційних поверхонь при електро- та п'езогірації.

4. Результати аналізу енантіоморфізму сегнетоеластичних доменів і гіроеластичних петель гістерезиса при їх переключенні в кристалах, які володіють фазовими переходами  $43m - 42m$ ,  $43m - 222$ ,  $6mm - mm2$ ,  $6mm - 2$ ,  $4mm - mm2$ ,  $4mm - 2$ . Виявлення "забороненої" доменної структури в сегнетоеластичному  $K_2Cd_2(SO_4)_3$ . Феноменологічний опис температурної поведінки спонтанної та індукованої п'єзогірації при сегнетоеластичних фазових переходах і їх класифікація з даної точки зору (гіро- та гіпергіроеластичні). Інваріантні співвідношення для ефектів електро- і пружньооптики та електро- і пружньогірації. Симетрійний аналіз перехресних ефектів параметричної кристалооптики.

5. Результати комплексних експериментальних досліджень фазових переходів в кристалах  $K_2Cd_2(SO_4)_3$  методами параметричної кристалооптики. Виявлення ізоструктурного фазового переходу при температурі 425 К в кристалах  $K_2Cd_2(SO_4)_3$  і зумовлених ним, а також сегнетоеластичним фазовим переходом, аномалій температурних залежностей заломлюючих, гіротропних, електрооптичних та п'єзооптичних властивостей.

6. Феноменологічний опис, виявлення та дослідження акустогіраційної дифракції світла. Результати аналізу умов спостереження нелінійної акустогіраційної дифракції світла та її експериментального дослідження при взаємодії циркулярно-поляризованих електромагнітних хвиль в кристалах кварцу.

7. Виявлення пружньогіраційної дифракції світла на енантіоморфних сегнетоеластичних доменах в кристалах  $Ba_2NaNb_5O_{15}$ . Результати експериментальних досліджень температурних і куткових залежностей пружньооптичної, електрооптичної та гіраційної дифракції світла в кристалах  $Ba_2NaNb_5O_{15}$  і  $Gd_2(MoO_4)_3$  та розрахунок на їх основі

пружнооптичних, електрооптичних та пружногіраційних констант.

8. Результати досліджень заломлюючих властивостей кристалів ніобату-літію під дією механічного кручення та згину. Виявлення та аналіз розподілу оптичних індикатрис, коноскопичних картин та двозаломлення при крученні та згині кристалів  $\text{LiNbO}_3$ . Опис, виявлення та дослідження градієнтного п'єзогіраційного ефекту в кристалах  $\text{NaBi}(\text{VO}_4)_2$ . Торсійно-оптичний спосіб орієнтації кристалів середніх сингоній. П'єзооптичні, п'єзогіраційні та торсійно-оптичні способи та пристрої для керування оптичним випромінюванням.

*Структура та об'єм дисертації.* Дисертація складається з п'яти розділів, висновків та списку літератури. В першому розділі викладена феноменологічна теорія градієнтних явищ параметричної кристалооптики, а також опис та результати вивчення процесів поширення і взаємодії циркулярних оптичних хвиль в гіротропних кристалах. В другому розділі приведені результати експериментальних досліджень і теоретичного аналізу заломлюючих та гіротропних властивостей сегнетоелектриків та сегнетоеластиків при фазових переходах. Третій розділ присвячений опису, виявленню та дослідженню акустогіраційної дифракції світла та дифракції електромагнітних хвиль на гіроелектричних та гіроеластичних доменних структурах. В четвертому розділі представлені результати досліджень ефектів параметричної кристалооптики при неоднорідних, статичних діях. П'ятий розділ присвячений опису пристроїв та способів п'єзооптичного, п'єзогіраційного та торсійно-оптичного керування оптичним випромінюванням. Дисертація складається з 227 сторінок тексту, 70 рисунків, 7 таблиць та 228 бібліографічних назв.

*Апробація роботи.* Матеріали представлені в дисертаційній роботі доповідались та обговорювались на Всесоюзних, Європейських та Міжнародних конференціях з фізики сегнетоелектриків та сегнетоеластиків (Харків, 1984; Чернівці, 1986; Дніпропетровськ, 1988; Рига, 1988; Сарбрюкен, 1989; Ростов-на-Дону, 1989; Львів, 1990; Урбана-Шампейн, 1990; Діжон, 1991; Ужгород, 1991; Клемсон, 1992; Гайзерзбург, 1993), Міжнародних конференціях з нелінійної оптики та магнітооптики (Мінськ, 1988; Харків, 1991), Всесоюзних школах-семінарах з оптики анізотропних середовищ (Москва, 1987, 1990) та на деяких інших Всесоюзних і республіканських нарадах, семінарах і школах. По матеріалах дисертації опубліковано понад 60 робіт, в тому числі отримано 4 авторські свідоцтва на винаходи.

*Особистий внесок автора у виконання дисертаційної роботи.*

Автору даної дисертаційної роботи належить формування напрямку досліджень, постановка завдання на різних етапах виконання роботи, аналіз теоретичних і експериментальних результатів та формулювання висновків. Зокрема, автором була сформульована концепція градієнтних явищ параметричної кристалооптики та проведений їх феноменологічний аналіз. Особисто автору належать теоретичні та експериментальні дослідження ефектів параметричної кристалооптики власних гіротропних сегнетоелектриків та сегнетоеластиків. Експериментальні дослідження акустогіраційної дифракції світла, дифракції світла на доменних структурах в кристалах  $Cd_2(MoO_4)_3$  і  $Ba_2NaNb_3O_{15}$ , впливу неолнорідних механічних напружень на заломлюючі та гіротропні властивості кристалів ніобату літію та натрій-вісмут молібдату були проведені автором та науковими співробітниками лабораторії градієнтної оптики інституту фізичної оптики Міністерства освіти України Скабом І.П. та П'ятаком Ю.А. Крім того, автором даної роботи та Скабом І.П. були

отримані співвідношення, які описують коноскопічні картини, що виникають в ізотропних точках гіротропних кристалів і двопробеневу рефракцію світла.

### ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У першому розділі представлені результати феноменологічного аналізу ефектів параметричної кристалооптики, які виникають при наявності в середовищі градієнтів по-ів різноманітної природи. Передбачено існування таких невідомих раніше явищ градієнтної кристалооптики, як градієнтний п'єзо- та електрооптичний і п'єзо- та електрогіраційний ефект, градієнтне детектування та генерація гармо. ік, акустогіраційна дифракція світла, градієнтний ефект фарадея та градієнтна невзасмність показників заломлення. Отримані поверхні швидкостей циркулярно-поляризованих хвиль та променів і коноскопічні картини, які виникають при інтерференції циркулярно-поляризованих хвиль в кристалі з точкою інверсії лінійного двозаломлення. Описане явище двопробенової рефракції циркулярно-поляризованих променів, яке проявляється на довжині хвилі ізотропної точки гіротропного кристалу та отримані співвідношення, які описують дане явище. Так рівняння для кута внутрішньої двопробенової рефракції має вигляд:

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{(v_{xz}^2 v_{ly}^2 - v_{ly}^2 v_{xz}^2)(v_{ly}^2 - v_{ly}^2)(v_{xz}^2 - v_{ly}^2)^{1/2}}{v_{ly}^2 v_{ly}^2 (v_{xz}^2 - v_{ly}^2) + v_{xz}^2 v_{ly}^2 (v_{ly}^2 - v_{ly}^2)}, \text{ або}$$

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{8n_0^2(Gg_{33})^{1/2}(4n_0^4 + Gg_{33})}{(4n_0^4 - G^2)(4n_0^4 - g_{33}^2)},$$

де  $n_0$  - показник заломлення на довжині хвилі ізотропної точки,  $g_{33}$  - компонента тензора гірації,  $G = g_{11} \cos^2 \phi + g_{22} \sin^2 \phi$  - скалярний параметр гірації для площини XY,  $\phi$  - кут між віссю X та

проекцією полірадіалі, вздовж якої в кристалі поширюється світло, на площину XY,  $v_{rz}$ ,  $v_{ry}$ ,  $v_{lz}$ ,  $v_{ly}$  - швидкості право- та лівоциркулярно-поляризованих хвиль вздовж осей Z та Y, відповідно. Співвідношення для кута зовнішньої двопрменевої рефракції є наступним:

$$\operatorname{tg}\beta = \frac{(v_{rz}^2 v_{ly}^2 - v_{ry}^2 v_{lz}^2)(v_{ly}^2 - v_{ry}^2)(v_{rz}^2 - v_{lz}^2)^{1/2}}{v_{rz} v_{lz} v_{ry} v_{ly}(v_{rz}^2 - v_{lz}^2 + v_{ly}^2 - v_{ry}^2)}, \text{ або}$$

$$\operatorname{tg}\beta = \frac{8n_0^2(Gg_{33})^{1/2}(4n_0^4 + Gg_{33})(G + g_{33})}{g_{33}(4n_0^4 - G^2)^2 + G(4n_0^4 - g_{33}^2)^2}.$$

Для кристалів, що належать до груп симетрії  $\bar{4}2m$ ,  $mm2$ ,  $m$  кути зовнішньої та внутрішньої рефракції співпадають, а співвідношення при  $g_{33}=G=g_{11}$  набуває вигляду:

$$\operatorname{tg}\alpha = \frac{8n_0^2 g_{11}(4n_0^4 + g_{11}^2)}{(4n_0^4 - g_{11}^2)^2}.$$

Оцінка кута зовнішньої та внутрішньої двопрменевої рефракції була проведена на прикладі кристалів  $\text{AgGaS}_2$  (точкова група симетрії  $\bar{4}2m$ ,  $g_{11}=4 \times 10^{-3}$ ,  $n_0=2,7$ ,  $\lambda=498$  нм), які володіють ізотропною точкою на довжині хвилі  $\lambda=498$  нм. Як виявилось, кут двопрменевої рефракції для даних кристалів  $\alpha=\beta=3,77'$  є дуже малим і питання виявлення вищезгаданого ефекту є нетривіальною експериментальною проблемою.

У даному розділі, також, було запропоноване правило знаків для компонент аксіальних тензорів, експериментально підтвержене на прикладі п'єзогіраційного ефекту в енантіоморфних кристалах кварцу.

Другий розділ присвячений вивченню таких відомих градієнтних ефектів параметричної кристалооптики, як п'єзогірація та електрогірація в сегнетоеластичних та сегнетоелектричних кристалах. Показано, що сегнетоеластичні

кристали можуть бути, як гіпергіроеластиками, так і гіроеластиками. На основі феноменологічних співвідношень проведено опис спонтанної та індукованої п'езогірації при власних сегнетоеластичних фазових переходах другого роду. Виявлено, що поведінка індукованої п'езогірації при гіро- і гіпергіроеластичних фазових переходах є ідентичною. Отримані гіроеластичні петлі гістерезиса, які виникають при механічному переключенні сегнетоеластичної доменної структури. На прикладі кристалів калій-кадмієвого лангбейніту експериментально підтверджена поведінка спонтанної та індукованої п'езогірації при власному сегнетоеластичному фазовому переході.

Методами параметричної кристалооптики досліджено фазовий перехід в кристалі  $K_2Cd_2(SO_4)_3$ . Виявлено аномалії заломлюючих, гіротропних, електро- та п'езооптичних властивостей даного кристалу при сегнетоеластичному фазовому переході ( $T_c = 159^\circ C$ ) та при  $T = 152^\circ C$ . Дана температура визначена, як температура ізоструктурного фазового переходу. В даному кристалі нами вперше спостерігалась "заборонена" симетрією доменна структура, існування якої найбільш імовірно є викликана наявністю градієнтів механічних деформацій на границі доменів.

В даному розділі, також, сформульовані умови існування інваріантних співвідношень для ефектів електро- та п'езооптики і електро- та п'езогірації в сегнетоелектриках-сегнетоеластиках ( $\beta_{ijk}/\pi_{ijk} = \gamma_{ijk}/r_{ijk}$ ). Дані співвідношення були отримані нами для всіх типів сегнетоелектричних-сегнетоеластичних фазових переходів. Їх експериментальне підтвердження проведено на прикладі кристалів амонієвої сегнетової солі, які зазнають фазового переходу із зміною симетрії 222 - 2. Виявилось, що ( $\beta_{55}/\pi_{55} = \gamma_{52}/r_{52} = 0,22$ ) відповідні компоненти тензорів п'езогірації та п'езооптики ~~відносяться, як~~ компоненти тензорів електрогірації та електрооптики.

Як відомо, існують три типи оптичної активності, які відрізняються, як симетрією, так і експериментальною поведінкою: це ефект Фарадея (симетрія  $\infty/m$ ), гірація (симетрія  $\infty 2$ ) та слаба оптична активність (симетрія  $\infty pm$ ). З даної точки зору проведена класифікація перехресних ефектів оптичної активності. А саме: п'єзоелектрична активність, яка виникає при спільній дії на середовище електричного поля та механічного напруження (симетрія  $\infty 2$ ), п'єземагнітна та магнітоелектрична активності, які виникають при спільній дії магнітного поля та механічного напруження і магнітного та електричного полів, відповідно, (симетрія  $\infty/m$ ). Експериментально виявлений спонтанний квадратичний п'єзоелектрооптичний ефект в кристалах  $\text{Ca}_2\text{Pb}(\text{C}_2\text{H}_5\text{CO}_2)_6$ , які зазнають власного сегнетоелектричного фазового переходу другого роду при  $T_c = 59^\circ \text{C}$ . Отримано значення компоненти квадратичного спонтанного п'єзоелектрооптичного ефекту  $n = (a n_{333333} + b n_{113333}) = 0,8 \times 10^{-5} \text{ м}^6/\text{НКл}^2$  ( $a$  і  $b$  - коефіцієнти).

У третьому розділі приведені результати аналізу умов спостереження та експериментального вивчення явища акустогіраційної дифракції світла, яке полягає у взаємодії оптичного випромінювання з періодичним п'єзогіраційним розподілом уявної частини діелектричної проникливості, створеним акустичною хвилею. Дане явище описується співвідношенням

$$n_i P_i^{\omega \pm \Omega} = \theta_{ijmkl} \sigma_{kl}^{\Omega} \partial E_j^{\omega} / \partial x_m = i e_{ijn} \theta_{nmkl} \sigma_{kl}^{\Omega} E_j^{\omega} k_m, \quad (6)$$

де  $P_i$  - поляризація середовища,  $E_j$  - напруженість електричного поля світлової хвилі,  $\sigma_{kl}$  - механічна напруженість,  $x_m$  - координата,  $k_m$  - хвильовий вектор світлової хвилі,  $\omega$  та  $\Omega$  - частота електромагнітної та акустичної хвилі, відповідно,  $\theta_{ijmkl}$  і  $\theta_{nmkl}$  - тензори п'ятого та четвертого рангу, відповідно.

Сформульовані умови спостереження колінеарної акустогіраційної дифракції світла:

1. Ацентричність кристалічного середовища.
2. Поляризація акустичної хвилі, яка поширюється в одному напрямку з падаючою та дифрагованою оптичними хвилями повинна бути такою, щоб створена ультразвуком деформація середовища індукувала зміну тензора гірації.
3. Пружньогіраційний тензор  $\beta_{ijkl}$  повинен мати компоненти, у яких індекси  $i, j, k, l$  не однакові між собою.

На основі даних умов проаналізована колінеарна акустогіраційна дифракція світла у кристалах всіх ацентричних груп симетрії. Крім того, було отримано співвідношення для коефіцієнта акустогіраційної якості

$$M_2 = \beta_{mnlk} / n^2 \rho v^3,$$

де  $\beta_{mnlk}$  - ефективний пружньогіраційний коефіцієнт,  $\rho$  - густина середовища,  $v$  - швидкість поширення акустичної хвилі.

Дослідження акустогіраційної дифракції проводилось нами при колінеарній геометрії експерименту у кристалах кварцу. При цьому, як світло так і звук поширювались вздовж оптичної осі кристалу. Амплітуда дифрагованої хвилі безпосередньо залежить від довжини взаємодії, тому нами використовувались кристали кварцу, довжина яких вздовж осі  $Z$  становила  $d_z \sim 12 \times 10^{-2}$  м. Слід зауважити, що умови синхронізму між право- та лівополяризованою оптичними та ультразвуковою хвилями в даному випадку забезпечуються при досить низькій частоті акустичної хвилі ( $f_0 = 2$  МГц). Цікавим є той факт, що на енантіоморфних зразках дифрагований промінь володів різною коловою поляризацією. Це пояснюється відмінністю в умовах синхронізму для правого  $k_l + k_{ac} = k_r$  та лівого  $k_r + k_{ac} = k_l$  кварцу.

У даному розділі приведені також результати експериментальних досліджень дифракції світла на сегнетоелектричній та сегнетоеластичній доменних структурах в кристалах  $\text{Cd}_2(\text{MoO}_4)_3$  і  $\text{Ba}_2\text{NaNb}_5\text{O}_{15}$ , відповідно. Експериментально виявлена пружногіраційна дифракція світла на енантіоморфних сегнетоеластичних доменах в кристалах  $\text{Ba}_2\text{NaNb}_5\text{O}_{15}$ . Проведено експериментальні дослідження температурних та кутових залежностей пружнооптичної, електрооптичної та гіраційної дифракції світла в кристалах  $\text{Ba}_2\text{NaNb}_5\text{O}_{15}$  та  $\text{Gd}_2(\text{MoO}_4)_3$  та здійснено розрахунок на їх основі пружнооптичних, електрооптичних та пружногіраційних констант. Так, наприклад, розрахована на основі пружногіраційної дифракційної ефективності, пружногіраційна константа для гіроеластика барій-натрієвого ніобату  $\beta_{1112} = 3,7 \times 10^{-4}$ .

Четвертий розділ присвячений експериментальному виявленню та вивченню градієнтних ефектів параметричної кристалооптики, індукованих неоднорідними механічними напруженнями, тобто явищ градієнтної п'єзооптики та п'єзогірації, які описуються співвідношеннями

$${}^{nl}P_{ij}^p = K_{ijklm} \partial X_{kl}^0 / \partial x_m E_j,$$

$${}^{nl}P_{ij}^p = R_{ijmkl} \partial X_{kl}^0 / \partial x_m \partial E_j^p / \partial x_n = ic_{ijk} R_{mnlk} \partial X_{kl}^0 / \partial x_m E_j^p k_n,$$

відповідно.

На основі принципів Кюрі і Р'ємана проведено симетрійний аналіз заломлюючих та гіротропних властивостей кристалів в неоднорідних полях. Експериментально досліджено зміну двозаломлення кристалів  $\text{LiNbO}_3$  при крученні. Отримано розподіл коноскопічних картин, оптичних індикатрис та двозаломлення ніобату літію при скручуванні його навколо осі Z та скануванні

оптичним променем по XY-перерізу кристалу. Виявлено, що при скручуванні кристалів  $\text{LiNbO}_3$  навколо оптичної осі та поширенні оптичного променя вздовж осі Z двозаломлення не виникає, якщо світло поширюється тільки через геометричний центр колового XY-перетину кристалу. Показано, що при переході світлового пучка через геометричний центр перетину двозаломлення змінює знак, хоча знак скручуючого моменту залишається незмінним. Виявлено зміщення точки відсутності двозаломлення при прикладенні різних по величині скручуючих моментів до кристалу  $\text{LiNbO}_3$ , що пояснюється проявом градієнтного фотопружного ефекту, який описується співвідношенням

$$\Delta a_{ij} = K_{ijklm} \partial X_{kl} / \partial x_m,$$

де  $\Delta a_{ij}$  - приріст поляризаційних констант,  $K_{ijklm}$  - полярний тензор п'ятого рангу,  $X_{kl}$  - тензор деформації,  $x_m$  - координата.

Експериментально досліджено розподіл оптичних індикатрис та двозаломлення в ніобаті літію при згині, на основі чого розраховано розподіл деформацій в даному кристалі. При крученні та згині ніобату літію виявлена особливість, яка полягає у повертанні оптичної індикатрис у певних областях кристалу на кут  $90^\circ$ . Разом з тим орієнтація довгої осі індикатрис зберігається, тобто має місце зістикування осей X і Y. Показано, що дана особливість, як при крученні, так і при згині кристалів  $\text{LiNbO}_3$  пов'язана з зануленням в цих областях однієї з компонент тензора деформацій. При скручуванні кристалів ніобату літію навколо оптичної осі виявлено, що загальна картина розподілу оптичних індикатрис володіє особливими напрямками, які відповідають кристалофізичним осям X і Y.

Експериментально виявлений градієнтний п'єзогіраційний ефект в кристалах  $\text{NaBi}(\text{MoO}_4)_2$ , який описується співвідношенням

$$\Delta g_{ij} = R_{mklm} \partial X_{kl} / \partial x_m,$$

де  $\Delta g_{ij}$  - приріст тензора гірації,  $R_{mklm}$  - аксіальний тензор п'ятого рангу. Отримана залежність приросту компоненти тензора гірації від скручуючого моменту.

У п'ятому розділі проведений опис вперше запропонованих п'єзооптичних, п'єзогіраційних та торсійно-оптичних способів та пристроїв для керування оптичним випромінюванням та запропоновані ефективні матеріали для перетворення механічних величин. Слід зауважити, що запропоновані торсійно-оптичні способи модуляції оптичного випромінювання, перетворення механічних величин та вимірювання зміщень відрізняються можливістю керування параметрами робочих елементів.

У даному розділі запропоновано торсійно-оптичний спосіб орієнтації кристалів середніх сингоній, а також показано, що ефект градієнтної п'єзогірації може бути основою для створення нових способів та пристроїв неруйнівного контролю неоднорідно-деформованого стану матеріалів.

### ОСНОВНІ РЕЗУЛЬТАТИ ТА ВИСНОВКИ

1. Здійснено феноменологічний опис та симетрійний аналіз градієнтних ефектів параметричної кристалооптики, на основі яких передбачено існування нових нелінійнооптичних ефектів, індукованих неоднорідними полями.

2. Отримані коноскопічні картини та поверхні фазових і групових швидкостей циркулярно-поляризованих хвиль в гіротропних кристалах, які володіють ізотропною точкою.

Обґрунтована можливість існування ефекту двопроменевої рефракції циркулярно-поляризованих хвиль. Отримані співвідношення для ефекту двопроменевої рефракції світла та здійснена оцінка його величини в кристалах  $\text{AgGaS}_2$ .

3. Експериментально досліджена інтерференція циркулярно-поляризованих хвиль в кристалах  $\text{SiO}_2$  та  $\text{TeO}_2$  під дією електричного поля та механічного напруження; вперше виявлений квадратичний електрогіраційний ефект ( кристали  $\text{TeO}_2$  ) в чистому вигляді. Проведений аналіз впливу енантіоморфізму кристалів на зміну гіраційних поверхонь при електро- та п'єзогірації, на основі якого запропоновано правило знаків для зміни гіраційних поверхонь при електро- та п'єзогірації в енантіоморфних кристалах.

4. На основі симетрійного аналізу показано, що сегнетоеластики, фазові переходи в яких відбуваються зі зміною симетрії  $\bar{4}3m - \bar{4}2m$ ,  $\bar{4}3m - 222$ ,  $6mm - mm2$ ,  $6mm - 2$ ,  $4mm - mm2$ ,  $4mm - 2$  (гіроеластики) будуть володіти енантіоморфною доменною структурою. Отримано гіроеластичні петлі гістерезиса при переключенні енантіоморфної доменної структури. Показано, що вигляд даних петель є значно складнішим, ніж в сегнетоелектриків, що в свою чергу викликано суттєвішим пониженням симетрії кристалів при сегнетоеластичних фазових переходах, ніж при сегнетоелектричних переходах. Вперше виявлена "заборонена" доменна структура в сегнетоеластикі  $\text{K}_2\text{Cd}_2(\text{SO}_4)_3$ , існування якої може бути зв'язане з наявністю в кристалі неоднорідних механічних напружень. Здійснено феноменологічний опис температурної поведінки спонтанної та індукованої п'єзогірації при сегнетоеластичних фазових переходах, на основі якого проведена їх класифікація, як гіро- та гіпергіроеластиків. Поведінка індукованої та спонтанної п'єзогірації при

гіпергіроеластичному фазовому переході експериментально підтверджена на прикладі сегнетоеластика  $K_2Cd_2(SO_4)_3$ .

5. Показано, що існує зв'язок між компонентами тензорів, які описують електрооптичний, електрогіраційний, пружньооптичний і пружньогіраційний ефекти. Отримано інваріантні співвідношення для ефектів електро- і пружньооптики та електро- і пружньогірації в сегнетоелектриках-сегнетоеластиках, достовірність яких експериментально підтверджена на прикладі кристалів амонієвої сегнетової солі.

Проведено симетрійний аналіз ефектів оптичної активності та перехресних ефектів параметричної кристалооптики. Показано, що ефекти оптичної активності можуть належати тільки до трьох груп симетрії -  $\infty/m$  (магнітна оптична активність),  $\infty 2$  (гірація) та  $\infty/mn$  (слаба оптична активність). З'ясовано, що магнітоелектрична та п'єзомагнітна оптична активність володіє симетрією  $\infty/m$ , а п'єзоелектрична - симетрією  $\infty 2$ . Експериментально виявлений спонтанний, квадратичний п'єзоелектрооптичний ефект в кристалах  $Ca_2Pb(C_2H_3CO_2)_6$ .

6. Проведено комплексні експериментальні дослідження фазових переходів в кристалах  $K_2Cd_2(SO_4)_3$  методами параметричної кристалооптики. Виявлено ізоструктурний фазовий перехід при температурі 425 К в кристалах  $K_2Cd_2(SO_4)_3$  і зумовлений ним, а також сегнетоеластичним фазовим переходом, аномалії температурних залежностей заломлюючих, гіротропних, електрооптичних та п'єзооптичних властивостей. Побудовано фазову діаграму для кристалів сімейства лангбейнітів з врахуванням ізоструктурних фазових переходів.

7. Вперше здійснено феноменологічний опис, виявлення та дослідження явища акустогіраційної дифракції світла. Проаналізовані умови спостереження колінеарної акустогіраційної дифракції світла.

Експериментально виявлений та досліджений ефект колінеарної акустогіраційної дифракції світла при взаємодії циркулярно-поляризованих електромагнітних хвиль в кристалах кварцу. Експериментально підтверджена відмінність взаємодії між акустичною та циркулярно-поляризованими оптичними хвилями в умовах синхронізму для різних енантіоморфних станів кристалів кварцу.

8. Експериментально виявлена пружногіраційна дифракція світла на енантіоморфних сегнетоеластичних доменах на прикладі кристалів  $Ba_2NaNb_2O_{15}$ . Експериментально досліджені температурні та кутові залежності пружнооптичної, електрооптичної і гіраційної дифракції світла в кристалах  $Ba_2NaNb_2O_{15}$  і  $Gd_2(MoO_4)_3$  та здійснено розрахунок на їх основі пружнооптичних, електрооптичних та пружногіраційних констант.

9. Проведено дослідження заломлюючих властивостей кристалів ніобату-літію під дією механічного кручення та згину. Виявлено та здійснено аналіз розподілу оптичних індикатрис, коноскопічних картин та двозаломлення при крученні та згині кристалів  $LiNbO_3$ . Вперше здійснено опис, виявлення та дослідження градієнтного п'єзогіраційного та п'єзооптичного ефектів на прикладі кристалів  $NaBi(MoO_4)_2$  та  $LiNbO_3$ .

10. Запропоновано торсійно-оптичний спосіб орієнтації кристалів середніх сингоній, п'єзооптич., п'єзогіраційні та торсійно-оптич. способи та пристрої для керування оптичним випромінюванням. Показано, що ефект градієнтної п'єзогірації може бути основою для створення нових способів та пристроїв неруйнівного контролю неоднорідно деформованого стану матеріалів.

Основні результати дисертаційної роботи опубліковані в працях:

1. Влох Р.О., Пятак Ю.А., Скаб І.П. Акустогіраціонна дифракція світла в кристалах кварца. Изв. АН СССР, сер.физ., 1989, т.53, N7, с.1339-1341.
2. Влох Р.О., Пятак Ю.А., Скаб І.П. Торсійно-гіраційний ефект. УФЖ, 1989, т.34, N7, с.845-846.
3. Vlokh R. Nonlinear medium polarization with the gradient invariants accounting. Phys.Stat.Soi.(b), 1991, 168, k.47.
4. Влох Р.О. Параметрическая кристаллооптика циркулярно-поляризованных волн. Диэлектрики и полупроводники, 1989, вып.36, с.3-5.
5. Влох Р.О., Пархоменко О.В., Пятак Ю.А., Скаб І.П. Анізотропія заломлення циркулярних оптичних хвиль в гіротропних кристалах, УФЖ, 1990, т.35, N5, с.680-682.
6. Vlokh R., Pyatak Y., Skab I. The refraction anisotropy and the interference of the circularly polarized optical waves in gyrotropic crystals, Ferroelectrics, 1992, v.126, p.243-246.
7. Vlokh R., Pyatak Y., Skab I. The refraction anisotropy and the interference of the circularly polarized waves in gyrotropic crystals. Ferroelectrics, 1992, v.126, p.243-246.
8. Влох Р.О., Скаб І.П. Двопроменева рефракція циркулярно поляризованих світлових хвиль. УФЖ, 1993, т.38, N8, с.988-989.
9. Влох Р.О., Скаб І.П., Пятак Ю.А. Коноскопические картины в гиروتропных кристаллах с изотропной точкой. ФТТ, 1991, т.33, N9, с.2720-2724.
10. Влох Р.О., Пятак Ю.А., Скаб І.П. Коноскопичні картини в гіротропних кристалах з ізотропною точкою. УФЖ, 1992, т.37, N3, с.365-367.

11. Влох Р.О., Пятак Ю.А., Скаб И.П. Пьезогирация в энантиоморфных кристаллах кварца. Оптика и спектроскопия, 1991, т.70, вып.1, с.243-244.
12. Влох Р.О., Пятак Ю.А., Скаб И.П. Квадратичная электрогирация в парателлурите. Кристаллография, 1989, вып.2, т.34, с.498.
13. Влох Р.О. Симметричные аспекты пьезогирации в собственных сегнетоэластиках. УФЖ, 1988, т.34, N3, с.368-369.
14. Бережной И.В., Влох О.Г., Влох Р.О., Лазько Л.А., Поздеев В.Г. Преломляющие и гиротропные свойства кристаллов  $K_2Cd_2(SO_4)_3$ . ФТТ, 1984, т.26, N12, с.3690-3692.
15. Билецкий И.Н., Влох Р.О., Отко А.И., Шопа Я.И. Исследование фазовых переходов в кристалле  $K_2Cd_2(SO_4)_3$ , УФЖ, 1988, т.33, N5, с.689-694.
16. Влох О.Г., Влох Р.О., Шопа Я.И. Оптическая активность и двулучепреломление кристаллов  $K_2Cd_2(SO_4)_3$ . УФЖ, 1987, т.32, N7, с.1040-1042.
17. Влох Р.О., Шопа Я.И. Оптическая активность сегнетоэластика  $K_2Cd_2(SO_4)_3$ . Кристаллография, 1989, т.34, N1, с.252-253.
18. Влох Р.О., Винярчук И.С. Электрооптический эффект в кристаллах  $K_2Cd_2(SO_4)_3$ . УФЖ, 1986, т.31, N4, с.509-510.
19. Влох Р.О. Электрооптический эффект в кристаллах  $K_2Cd_2(SO_4)_3$ . Кристаллография, 1987, т.32, вып.6, с.1527-1538.
20. Влох Р.О., Шопа Я.И. Спонтанный и индуцированный пьезооптический эффект в кристаллах  $K_2Cd_2(SO_4)_3$  при фазовых переходах. Кристаллография, 1988, т.33, вып.2, с.520-522.
21. Влох Р.О., Сливка В.Ю. Энантиоморфизм ферроэластических доменов. В сб. "Оптика анизотропных сред", М.: Изд. МФТИ, 1988, с.93-95.

22. Vlokh R., Slivka V. Enantiorphism of ferroelastic domains. *Ferroelectrics*, 1989, v.98, p.167-170.
23. Бережной И.В., Влох Р.О. О влиянии электрического поля и механического напряжения на гиротропные и преломляющие свойства сегнетоэлектриков-сегнетоэластиков. *ФТТ*, 1988, т.30, №7, с.2223-2225.
24. Влох О.Г., Влох Р.О. Симметричные аспекты эффектов оптической активности. *Оптика и спектроскопия*, 1989, т.69, №1, с.225-227.
25. Влох Р.О. К симметрии перекрестных эффектов оптической активности. *УФЖ*, 1989, т.34, №12, с.1809-1811.
26. Влох Р.О., Шопя Я.И., Ольхова О.М. Электрооптический эффект и оптическая активность при фазовых переходах в кристаллах  $\text{Ca}_2\text{Pb}(\text{C}_2\text{H}_5\text{CO}_2)_6$ . *УФЖ*, 1989, т.34, №3, с.383-386.
27. Влох Р.О., Шопя Я.И. Преломляющие и гиротропные свойства сегнетоэлектрика  $\text{Ca}_2\text{Pb}(\text{C}_2\text{H}_5\text{CO}_2)_6$ . В сб. "Оптика анизотропных сред", М.: Изд. МФТИ, 1987, с.99-101.
28. Vlokh R.O., Biletsky I.M. Electrooptic and electrogyration of ferroelectric  $\text{Ca}_2\text{Pb}(\text{C}_2\text{H}_5\text{CO}_2)_6$  crystal under smeared phase transition. *Ferroelectrics*, 1989, v.90, p.183-186.
29. Влох Р.О., Скаб И.П., П'ятак Ю.А. Колінеарна акустогіраційна взаємодія світла та звуку. *ДАН УРСР*, 1991, №7, с.39-41.
30. Vlokh R., Vlokh O., Pyatak Y., Skab I. Acoustogyration diffraction of light. *Ferroelectrics*, 1990, v.110, p.1117-1121.
31. Влох Р.О., Скаб И.П. Дифракция света на доменной структуре в кристаллах  $\text{Ba}_2\text{NaNb}_5\text{O}_{15}$  и  $\text{Cd}_2(\text{MoO}_4)_3$ . *ФТТ*, 1992, №10, с.3250-3255.
32. Влох Р.О. Симметрично-тензорное описание преломляющих и гиротропных свойств кристаллов при неоднородных воздействиях. *УФЖ*, 1989, т.7, с.1000-1002.

33. Влох Р.О., Пятак Ю.А., Скаб И.П. Фотоупругий эффект в кристаллах  $\text{LiNbO}_3$  при кручении. ФТТ, 1991, т.33, N8, с.2467-2470.
34. Влох Р.О., Пятак Ю.А., Скаб И.П. Преломляющие и гиротройные свойства кристалла  $\text{LiNbO}_3$  при кручении. Кристаллография, 1991, т.36, N5, с.1318-1319.
35. Vlokh R., Pyatak Y., Skab I. Elastooptic effect in  $\text{LiNbO}_3$  under crystal bending. Ferroelectrics, 1992, v.126, p.239-242.
36. Влох Р.О., Высочанский Ю.М., Грабар А.А., Китык А.В. Электрооптический эффект в сегнетоэлектрике  $\text{Sn}_2\text{P}_2\text{S}_6$ . Изв. АН СССР, Сер. неорг. мат., 1991, т.27, N4, с.689.
37. Влох Р.О., Пятак Ю.А., Скаб И.П. Про орієнтування кристалів середніх сингоній. УФЖ, 1992, т.37, N2, с.207-210.
38. Влох Р.О., Пятак Ю.А., Скаб И.П., Турок И.Н. Авт.свид. Преобразователь механических величин. N1746787, 1992.
39. Влох Р.О., Мокрый О.-В.М., Пятак Ю.А., Шопа Я.В. Авт.свид. N1448848, Датчик давления или силы, 1989.
40. Влох Р.О., Пятак Ю.А., Скаб И.П. Авт.свид. N1818945, Способ определения механических величин, 1992.
41. Влох Р.О., Пятак Ю.А., Сиротинский О.И., Скаб И.П. Способ модуляции и модулятор оптического излучения. Авт.свид. N1829670, 1992.
42. Влох Р.О. Кристаллооптика собственных сегнетоэлектриков и сегнетоэлектриков при фазовых переходах. Дисс. к.ф.-м.н., 1989, Ужгород, 132с.
43. Влох Р.О. Симметричные аспекты эффектов оптической активности. Львов. ФМИ им.Г.В.Карпенко АН УССР, (Препринт N153). 1988, 30с.

44. Vlokh R., Pyatak Y., Skab I. The symmetry analysis and experimental investigation of the gradient crystallooptic effects. Abst. of the IMF-8, Switzerland, 1993.
45. Влох Р.О., Пятак Ю.А., Скаб И.П. Акустогирационная дифракция света в кристаллах кварца, Тез. докл. 4-ой Всесоюзной школы-семинара "Сегнетоэластики (свойства, применение), Днепропетровск, 1988, с.186-189.
46. Влох Р.О., Скаб И.П. Анизотропия преломления циркулярных оптических волн в гиротропных кристаллах, Тез. докл. 5-ой Всесоюзной школы-семинара по физике сегнетоэластиков, Ужгород, 1991, с.102.
47. Влох Р.О., Пятак Ю.А., Скаб И.П. Кристаллооптические свойства ниобата лития при кручении и изгибе, Тезисы 5-ой Всесоюзной школы-семинара по физике сегнетоэластиков, 1991, Ужгород, с.102.
48. Vlokh R., Skab I. The refraction anisotropy and the interference of the circularly polarized optical waves in gyrotropic crystals. Abst. of the 7-th Europ. Meeting on ferroelectricity, 1991, Dijon.
49. Влох Р.О. Симметричные аспекты гиротропных свойств сегнетоэластиков. Тезисы докл. 5-ой Всесоюзной школы-семинара "Сегнетоэластики (свойства, применение)", Днепропетровск, 1988, с.184-186.
50. Влох Р.О., Шопя Я.И. Преломляющие и гиротропные свойства кристалла  $K_2Cd_2(SO_4)_3$ . Тез. докл. 11-ой Всесоюзной конференции по физике сегнетоэлектриков. Черновцы, 1986, т.2, с.60-61.
51. Бережной И.В., Влох О.Г., Влох Р.О. Инвариантные соотношения для нелинейных эффектов гирации и преломления. Тез. докл. 13-ой Международной конференции по когерентной и нелинейной оптике, Минск, 1988, т.2, с.124-125.

52. Влох Р.О., Билецкий И.Н. Электрооптика и электрогирация в сегнетоэлектрике  $\text{Ca}_2\text{Pb}(\text{C}_2\text{H}_5\text{CO}_2)_6$ . Тез. докл. 111 Межведомственного семинара-выставки "Получение, исследование и применение прозрачной сегнетокерамики", Рига, 1988, т.2, с.188-190.
53. Влох Р.О., Пятак Ю.А., Скаб И.П. Акустогирационная дифракция света в кристаллах кварца. Тез. докл. 4-ой Всесоюзной школы-семинара "Сегнетоэластики (свойства, применение)", Днепропетровск, 1988, с.186-188.
54. Vlokh R., Vlokh O., Pyatak Y., Skab I. Acoustogyration diffraction of light. Abst. of IMF-7, 1989, Saarbrucken, p.337.
55. Vlokh R., Vlokh O., Skab I. Acoustogyration diffraction of light. Abst. of ISAF-7, 1990, Urbana, p.IX.14.
56. Vlokh O.G., Vlokh R.O., New optical phenomena in ferroelectrics-applications for the recording and processing of information. Abst. of ISAF-7, 1990, Urbana, p.IX.12.
57. Vlokh R., Pyatak Y. Refractive properties of the  $\text{LiNbO}_3$ ,  $\text{TeO}_2$ ,  $\text{NaBi}(\text{MoO}_4)_2$  crystals at torsion deformation. Abs. of EMF-7, Dijon, 1991, p.395.
58. Влох Р.О., Высочанский Ю.М., Грабар А.А., Китык А.В. Электрооптический эффект в сегнетоэлектрике  $\text{Sn}_2\text{P}_2\text{S}_6$ . Тез. докл. 7-ой Всесоюзной конференции "Химия, физика и техническое применение халькогенидов", Ужгород, 1988, ч.3, с.294.

**Влох Р.О. Градиентные эффекты параметрической кристаллооптики.**  
Диссертация на соискание ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 01.04.05.- оптика. Институт физической оптики, Львов, 1995.

Защищается 54 научных работ и 4 авторских свидетельства, которые содержат феноменологический анализ и экспериментальные исследования эффектов градиентной кристаллооптики. Создана концепция эффектов градиентной кристаллооптики, на основании которой произведено описание и экспериментальное исследование таких неизвестных ранее явлений, как двулучевая рефракция циркулярно-поляризованных оптических волн, акустогирационная дифракция света, градиентная пьезооптика и пьезогирация и др. Получены и экспериментально подтверждены инвариантные соотношения для эффектов электро- и пьезооптики и электро- и пьезогирации в сегнетоэлектриках-сегнетоэластиках. На основании исследованных эффектов предложены новые способы и устройства для управления оптическим излучением.

**Vlokh R.O. The gradient effects of the parametric crystalloptic.**  
Thesis on search of the scientific degree of doctor of physical and mathematical sciences, speciality 01.04.05.-optics. Institute of Physical Optics, Lviv, 1995.

54 scientific papers and 4 author certificates containing phenomenological analysis and experimental investigations of gradient crystalloptic effects are defended. On the basis of the created conception of gradient crystalloptic effects was described and experimental investigated such unknown early phenomena as two-beam refraction of circular-polarized optical waves, acoustogyration light diffraction, gradient piezooptics and piezogyration and another. Invariant equations for the effects of electro- and piezooptics and electro- and piezogyration in ferroelectric-ferroelastics was obtained and experimental confirmed. New methods and devices for optical radiation control were proposed on the basis of the investigated effects.

**Ключові слова:** *градієнтні ефекти, акустогіраційна дифракція світла, двопроменева рефракція, циркулярно-поляризовані хвилі.*

ПІДПИСАНО ДО ДРУКУ 21.12.94. ФОРМАТ ПАПЕРУ 60x84, 1/16  
ПАПІР ГАЗЕТНИЙ. ДРУК ОФЕТНИЙ. БЕЗКОШТОВНО.  
ДРУКАРСЬКИХ ЛИСТІВ 2. ЗАМ. 1050. ТИРАЖ 100.

---

РОТОПРИНТ ЛЬВІВСЬКОГО ЦНТІ. ВУЛ 700-РІЧЧЯ ЛЬВІВА 57.





AB 31.668