

Адаменко Дмитро Ігорович



УДК 535.551, 539.22, 620.192.63

**ОПТИЧНА АКТИВНІСТЬ ТА ЇЇ ВПЛИВ
НА АКУСТООПТИЧНУ ВЗАЄМОДІЮ
В ФЕРОЇЧНИХ КРИСТАЛАХ**

01.04.05 – Оптика, лазерна фізика

РЕФЕРАТ

дисертації на здобуття наукового ступеня
доктора фізико-математичних наук

Львів – 2023

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Інституті фізичної оптики імені О.Г. Влоха
Міністерства освіти і науки України (м. Львів).

Офіційні опоненти:

Васнецов Михайло Вікторович, доктор
фіз.-мат. наук, професор, завідувач відділом
оптичної квантової електроніки Інституту
фізики НАН України

Настішин Юрій Адамович, доктор фіз.-
мат. наук, старший науковий співробітник,
провідний науковий співробітник Наукового
центру Сухопутних військ Національної
академії сухопутних військ імені гетьмана
Петра Сагайдачного

Бордун Олег Михайлович, доктор фіз.-
мат. наук, професор, завідувач кафедри
фізичної та біомедичної електроніки
Львівського національного університету
імені Івана Франка

Захист дисертації відбудеться " ____ " _____ 2023 року о
____ год.

на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 35.071.01 при Інституті
фізичної оптики імені О.Г. Влоха Міністерства освіти і науки України
за адресою: 79005, м. Львів, вул. Драгоманова, 23.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Інституту фізичної
оптики імені О.Г. Влоха Міністерства освіти і науки України за
адресою:

79005, м. Львів, вул. Драгоманова, 23.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради Д
35.071.01

кандидат фіз.-мат. наук, с.н.с.

Костирко М.Є.

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми дослідження. Акустооптична (АО) дифракція належить до одного з найцікавіших явищ параметричної оптики у зв'язку з різноманітністю проявів цього ефекту. До її проявів можна віднести, зокрема, АО дифракцію Бреґґа і Рамана-Ната, тангенціальний і колінеарний типи АО дифракції, ізотропний і анізотропний типи АО дифракції тощо. Така різноманітність проявів АО дифракції дозволила успішно використовувати її в широкому колі АО приладів керування оптичним випромінюванням, таких як АО дефлектори оптичного випромінювання, АО модулятори (у тому числі, АО модулятори добротності лазерного випромінювання), АО перестроювані фільтри, інтегрально-оптичні пристрої тощо. При цьому, змінюючи частоту акустичних хвиль (АХ) в таких приладах, можна забезпечити просторове сканування дифрагованим оптичним променем і зміну його частоти; в свою чергу, змінюючи амплітуду АХ, можна здійснити модуляцію інтенсивності дифрагованого порядку і фазову модуляцію нульового порядку АО дифракції.

Незважаючи на те, що явище АО дифракції було виявлене понад сто років тому, певні прояви і характеристики цього явища до цього часу залишаються невивченими. До актуальних питань, які потребують додаткового вивчення та вирішення, належить, насамперед, необхідність збільшення ефективності АО взаємодії, яка, в свою чергу, пов'язана з необхідністю зменшення потужності АХ – а отже, й зниження енергоспоживання АО приладів, нагрівання АО комірок, ймовірності руйнування АО матеріалів тощо. Вочевидь, одночасно вирішити обидві ці проблеми можна лише шляхом оптимізації робочих геометрій АО взаємодії.

Ще до робіт, проведених у рамках цієї дисертації, були запропоновані методи пошуку оптимальних геометрій АО взаємодії, за яких коефіцієнт акустооптичної якості (КАОЯ) досягає максимального значення. До них слід віднести, зокрема, методи чисельного ([1], [2]) та аналітичного ([3]–[5]) розрахунку КАОЯ для різних геометрій АО взаємодії. Однак, у першому випадку при комп'ютерному чисельному моделюванні поверхонь КАОЯ неможливо встановити причини впливу того чи іншого параметру АО взаємодії з огляду на відсутність аналітичних виразів для КАОЯ у явному вигляді. В свою чергу, у другому випадку такі аналітичні вирази були отримані без врахування неортогональності власних АХ, яка може суттєво вплинути на результати розрахунків КАОЯ і

визначення оптимальних геометрій АО взаємодії. Крім того, в обох цих випадках не враховувався вплив оптичної активності на ефективний пружнооптичний коефіцієнт (ЕПОК) і КАОЯ.

Слід зауважити, що питанню впливу оптичної активності на АО взаємодію вже приділялась увага дослідників. Так, зокрема, ще в 1974 році *Yano* та *Watanabe* виявили, що врахування оптичної активності в кристалі α -TeO₂, який є одним з найефективніших АО матеріалів, призводить до збільшення КАОЯ від $(600\text{--}800)\times 10^{-15}$ с³/кг, для випадку взаємодії між лінійно-поляризованими оптичними хвилями, до 1200×10^{-15} с³/кг, для випадку анізотропної АО взаємодії між циркулярно-поляризованими оптичними хвилями, коли падаюча та дифрагована оптичні хвилі поширюються в околі оптичної осі кристалу [6]. В свою чергу, в 2018 році *Kurpeychik* та *Balakshy* виявили, що АО ефективність в оптично активних двовісних кристалах α -НіО₃ також значно зростає при поширенні падаючої та дифрагованої оптичних хвиль вздовж напрямків, близьких до однієї з оптичних осей [7]. При цьому *Yano* та *Watanabe* показали, що зростання КАОЯ при взаємодії циркулярно-поляризованих оптичних хвиль пов'язане з циркулярною (еліптичною) поляризацією власних хвиль в оптично активному кристалі α -TeO₂ [6]. Однак це пояснення було неповним – зокрема, залишались нез'ясованими питання, яким чином еліптичність власних оптичних хвиль впливає на ЕПОК, як впливає величина оптичної активності на КАОЯ, яким є кутовий розподіл КАОЯ, чи може індукована оптична активність впливати на КАОЯ тощо. Саме тому вивчення впливу неортогональності АХ та оптичної активності на ефективність АО дифракції є актуальною проблемою.

-
- [1] A. Andrushchak et al., "Spatial anisotropy of the acousto-optical efficiency in lithium niobate crystals," *J. Appl. Phys.*, vol. 108, p. 103118, 2010.
 - [2] O. Buryy et al., "Global maxima for the acoustooptic effect in SrB₄O₇ crystals," *Appl. Opt.*, vol. 56, pp. 1839-1845, 2017.
 - [3] Y. Zyuryukin, S. Zavarin, and A. Yulaev, "Characteristic features of wideband anisotropic light diffraction in lithium-niobate crystal by a longitudinal acoustic wave," *Opt. Spectrosc.*, vol. 107, pp. 152-156, 2009.
 - [4] O. Mys, O. Krupych, and R. Vlokh, "Anisotropy of an acousto-optic figure of merit for NaBi(MoO₄)₂ crystals," *Appl. Opt.*, vol. 55, pp. 7941-7955, 2016.
 - [5] O. Mys, M. Kostyrko, O. Krupych, and R. Vlokh, "Anisotropy of the acousto-optic figure of merit for LiNbO₃ crystals: isotropic diffraction," *Appl. Opt.*, vol. 54, pp. 8176-8186, 2015.
 - [6] T. Yano and A. Watanabe, "Acousto-optic figure of merit of TeO₂ for circularly polarized light," *J. Appl. Phys.*, vol. 45, pp. 1243-1245, 1974.
 - [7] M. Kurpeychik and V. Balakshy, "Peculiarities of acousto-optic interaction in biaxial crystal of alpha-iodic acid," *Appl. Opt.*, vol. 57, pp. 5549-5555, 2018.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.

Дисертаційна робота виконувалась в Інституті фізичної оптики імені О.Г. Влоха МОН України в рамках наступних науково-дослідних робіт за проектами Міністерства освіти і науки України, зареєстрованих в УкрІНТЕІ: 0109U001063 "Боромісткі матеріали для оптоелектроніки і лазерної техніки. Технологія отримання і властивості" (2009 – 2011 рр.); 0111U001627 "Матеріали для лазерної техніки на основі склоподібних і кристалічних боратних сполук, легованих перехідними та рідкісноземельними елементами" (2011 – 2012 рр.); 0111U010235 "Ефекти параметричної, сингулярної оптики в градієнтних полях з врахуванням просторової дисперсії" (2012 – 2014 рр.); 0117U006454 "Нові ефективні політипічні акустооптичні матеріали на основі халькогенідних кристалів групи $TlInS_2$. Оптимізація геометрії акустооптичної взаємодії" (2017 – 2020 рр.) та 0123U101781 "Підвищення ефективності акустооптичної взаємодії для акустооптичного методу керування сучасними високоточними засобами ураження" (2023 – 2025 рр.).

Мета дослідження полягає у з'ясуванні впливу оптичної активності на АО взаємодію. При цьому для досягнення поставленої мети в процесі дослідження виконувалися наступні **завдання**:

- розгляд оптичної активності та її температурної поведінки в сегнетоелектричних кристалах;
- вивчення магніто-індукованої оптичної активності та температурної поведінки анізотропії оптичних, акустичних і термічних параметрів в лужно-боратних і халькогенідних сполуках;
- аналіз АО взаємодії з врахуванням неортогональності АХ;
- розгляд АО взаємодії за участю циркулярно-поляризованих оптичних хвиль в оптично активних кристалах;
- вивчення АО взаємодії з врахуванням еліптичності оптичних власних хвиль.

Об'єктом дослідження є оптичні, акустичні та термічні властивості акустооптичних середовищ.

Предметом дослідження є основні закономірності впливу оптичної активності на АО взаємодію.

Методи дослідження. Під час виконання дисертаційного дослідження використовувались експериментальні методи поляриметрії зображення, однопроменевої поляриметрії, дилатометрії, а також метод Діксона-Коена та ехо-імпульсний метод. При цьому теоретичний аналіз здійснювався з використанням тензорного апарату, симетрійних умов та принципів кристалології; методів

статистичної фізики; рівнянь оптичної індикатриси, збуреної зовнішніми полями внаслідок відповідних ефектів параметричної оптики; рівнянь Крістоффеля як основних рівнянь теорії поширення АХ; співвідношень, як визначають ефективність АО взаємодії.

Наукова новизна отриманих результатів полягає у тому, що вперше:

1. На прикладі кристалів $Pb_5Ge_3O_{11}$ та $\alpha-SiO_2$ показано, що наявність оптичної активності суттєво підвищує КАОЯ за рахунок ненульової еліптичності взаємодіючих оптичних власних хвиль. Встановлено, що таке підвищення відбувається за рахунок того, що еліптичність оптичних власних хвиль наближається до одиниці поблизу оптичної осі, а в співвідношення для ЕПОК можуть включатися додаткові компоненти пружнооптичного (ПО) тензора.

2. На прикладі кристалів KH_2PO_4 , які не володіють природною оптичною активністю при поширенні оптичних хвиль вздовж оптичної осі, продемонстровано, що індукована зовнішнім магнітним полем фарадеївська еліптичність оптичних власних хвиль призводить до суттєвого зростання КАОЯ, що, у свою чергу, свідчить про принципову можливість керування ефективністю АО дифракції за допомогою зовнішнього магнітного поля. При цьому робочі значення напруженості зовнішнього магнітного поля залежать від величини ефективного коефіцієнта Фарадея відповідного АО середовища для певної визначеної геометрії АО дифракції.

3. Запропоновано метод визначення параметрів розмитих сегнетоелектричних ФП, який базується на поділі досліджуваного зразка на нескінченно велику кількість однорідних елементарних комірок, в кожній з яких фазовий перехід (ФП) є нерозмитим та характеризується певною локальною температурою Кюрі; гауссівському розподілі локальних температур Кюрі в межах досліджуваного зразка; описі температурної поведінки термодинамічних параметрів при ФП другого роду в рамках теорії Ландау. Метод передбачає інтерполяцію експериментальної температурної залежності оптичної активності, оберненої діелектричної проникності або оберненого коефіцієнта лінійного електрогіраційного ефекту середнім по ансамблю відповідних локальних температурних залежностей. Метод апробований на прикладі кристалів сімейства германату свинцю.

4. Експериментально досліджено фарадеївську оптичну активність в халькогенідних кристалах Tl_3AsS_4 , $AgGaGeS_4$, $AgGaGe_3Se_8$, халькогенідних твердих розчинах $TlIn(S_{1-x}Se_x)_2$

($x = 0; 0,02; 0,06; 0,10; 0,15; 0,25$) та лужно-боратних стеклах LiKB_4O_7 , $\text{Li}_2\text{B}_6\text{O}_{10}$, $\text{LiCsB}_6\text{O}_{10}$.

5. Показано, що за наявності лише циркулярного двозаломлення в оптично активних кристалах АО дифракція проявляється у взаємодії між власними циркулярно-поляризованими оптичними хвилями. На прикладі оптично активних кристалів AgGaS_2 для довжини хвилі ізотропної точки 497,4 нм встановлено, що наявність циркулярного двозаломлення призводить до двох типів АО дифракції – а саме, ізотропної АО дифракції за участю циркулярно-поляризованих оптичних власних хвиль з однаковими знаками обертань їхніх векторів напруженості електричного поля та анізотропної АО дифракції, для якої ці знаки є протилежними. На основі аналізу анізотропії швидкостей АХ та експериментальних досліджень ПО коефіцієнтів кристалів AgGaS_2 визначено кути зносу та неортогональності власних АХ, а також кутову залежність КАОЯ для випадку колінеарної АО взаємодії з циркулярно-поляризованими оптичними власними хвилями на довжині хвилі ізотропної точки.

6. Отримано аналітичні вирази для деформацій, спричинених АХ, з врахуванням неортогональності їх поляризації. На основі аналізу впливу неортогональності поляризацій власних АХ на анізотропію КАОЯ для ізотропних АО взаємодій, що відбуваються в головних кристалографічних площинах кристалів Tl_3AsS_4 , $\text{Li}_2\text{B}_4\text{O}_7$ та $\alpha\text{-TeO}_2$, показано, що набір компонент ПО тензора, який визначає ЕПОК, не змінюється при врахуванні або нехтуванні неортогональністю АХ для цих кристалів, а також кристалів, які характеризуються тензорами жорсткості та ПО тензорами з аналогічною структурою. Встановлено, що за цих умов при врахуванні або нехтуванні неортогональністю поляризацій АХ змінюється співвідношення між компонентами ПО тензора, які формують ЕПОК.

7. Експериментально досліджено швидкості АХ в кристалах TlInSe_2 та $\gamma_1\text{-(Ga}_{0,3}\text{In}_{0,7})_2\text{Se}_3$, що дозволило визначити всі компоненти тензорів жорсткості та пружної податливості, кути зносу та неортогональності власних АХ, а також оцінити КАОЯ для випадку ізотропної АО взаємодії.

8. З використанням експериментально отриманих поляриметричних двовірних карт розподілу приростів кута орієнтації оптичної індикатриси та оптичної різниці фаз для різних температур показано, що політипна структура АО халькогенідних твердих розчинів $\text{TlIn(S}_{1-x}\text{Se}_x)_2$ ($x = 0; 0,02; 0,06; 0,10; 0,15; 0,25$) проявляється в неоднорідному розподілі параметрів оптичної анізотропії.

Практичне значення отриманих результатів полягає у тому, що:

1. Продемонстровано принципову можливість керування ефективністю АО дифракції за допомогою зовнішнього магнітного поля.

2. Отримані оптимальні геометрії АО взаємодій можуть бути рекомендовані як робочі геометрії для відповідних АО пристроїв.

3. Використаний метод визначення параметрів розмитих сегнетоелектричних ФП має помітні практичні переваги перед іншими методами розрахунку температури Кюрі та критичного індексу параметра порядку з огляду на його обґрунтованість, непотрібність побудови додаткових температурних залежностей, об'єктивність вихідних параметрів та можливість визначення області розмиття сегнетоелектричних ФП.

4. Отримані значення ефективних коефіцієнтів Фарадея халькогенідних кристалів Tl_3AsS_4 й $\text{AgGaGe}_3\text{Se}_8$ та халькогенідних твердих розчинів $\text{TlIn(S}_{1-x}\text{Se}_x)_2$ ($x = 0; 0,02; 0,06; 0,10; 0,15; 0,25$) дозволяють віднести їх до одних з найкращих магнітно-непорядкованих матеріалів для магнітооптичних застосувань.

Особистий внесок здобувача. Автор запропонував методику визначення параметрів розмитих сегнетоелектричних ФП та процедуру розрахунку ефективних магнітооптичних параметрів у двовірних кристалах; склав, від'юстував та відлагодив експериментальну установку однопроменевої поляриметрії для дослідження температурних залежностей електрогірації й ефекту Фарадея (особисто) та експериментальну установку поляриметрії зображення для дослідження температурних залежностей двовірних розподілів параметрів оптичної анізотропії (спільно з д.ф.-м.н., с.н.с. Ю.В. Васильківим). Дисертант приймав безпосередню участь в проведенні всіх експериментальних досліджень. Поляриметричні експерименти проводилися автором особисто, дилатометричні експерименти – спільно з н.с. А.С. Саєм та к.ф.-м.н, доцентом кафедри оптики Ужгородського національного університету О.О. Гомоннаєм. Експериментальні дослідження АО дифракції проводились разом з д.ф.-м.н., зав. сектором І.Ю. Мартинюк-Лотоцькою. Обговорення (x, T)-фазової діаграми відбувалось за участі к.ф.-м.н, доцента кафедри оптики Ужгородського національного університету О.О. Гомонная. Розрахунки за результатами поляриметричних експериментів виконані автором особисто, розрахунки за результатами АО експериментів – спільно з д.ф.-м.н., с.н.с. О.Г. Мись. Теоретичний аналіз деформацій в

кристалах, викликаних АХ, в аспекті АО взаємодії проводився автором спільно з д.ф.-м.н., зав. сектором О.М. Крупичем. Формулювання напрямків досліджень та обговорення отриманих результатів здійснювалося разом з д.ф.-м.н., проф. Р.О. Влохом.

Апробація матеріалів дисертації. Матеріали дисертаційної роботи доповідались та обговорювались на наукових семінарах Інституту фізичної оптики імені О.Г. Влоха МОН України, а також на таких конференціях та семінарах:

- International Scientific Workshop "Oxide Materials for Electronic Engineering – fabrication, properties and application OMEE-2009", Lviv, Ukraine, June 22–26, 2009;
- 2nd Seminar on Properties of Ferroelectric and Superionic Systems, Uzhhorod National University, Uzhhorod, Ukraine, October 19–20, 2009;
- VIII International seminar "Properties of ferroelectric and superionic systems", Uzhhorod National University, Uzhhorod, Ukraine, October 29–30, 2019;
- IX International seminar "Properties of ferroelectric and superionic systems", Uzhhorod National University, Uzhhorod, Ukraine, October 27, 2020;
- X International seminar "Properties of ferroelectric and superionic systems", Uzhhorod National University, Uzhhorod, Ukraine, October 26–27, 2021;
- XI International seminar "Properties of ferroelectric and superionic systems", Uzhhorod National University, Uzhhorod, Ukraine, October 28, 2022;
- XII International seminar "Properties of ferroelectric and superionic systems", Uzhhorod National University, Uzhhorod, Ukraine, April 20, 2023.

Публікації. Матеріали дисертаційної роботи опубліковано у 36 наукових працях – а саме, в 27 статтях, опублікованих в міжнародних і вітчизняних фахових журналах, які включені до міжнародних наукометричних баз, та в 9 тезах доповідей на наукових конференціях і семінарах.

Структура та обсяг дисертації. Дисертаційна робота складається зі вступу, п'яти розділів з викладом оригінальних результатів, висновків та списку використаних джерел, який нараховує 256 бібліографічних посилань. Обсяг основного тексту дисертаційної роботи становить 11 авторських аркушів, вона містить 30 таблиць та 143 рисунки.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

В першому розділі розглянута оптична активність та її температурна поведінка в сегнетоелектричних кристалах. При цьому показано, що проблема точного визначення критичного індексу β спонтанної електричної поляризації як параметру порядку, що полягає в неоднозначності вибору температури Кюрі T_C у випадку розмитого сегнетоелектричного ФП, може бути вирішена з використанням методики визначення параметрів розмитих сегнетоелектричних ФП, яка базується на (Таблиця 1):

- узагальненій моделі розмитих ФП, в рамках якої досліджуваний зразок можна розділити на нескінченно велику кількість однорідних елементарних комірок таким чином, щоб ФП у кожній з цих комірок був нерозмитим та характеризувався певною локальною температурою Кюрі $T_{Ci} = T_{CN} - \Delta T \times (N - i) / (N - 1)$ ($i = 1, \dots, N$), де параметр $N \in \{2, 3, 4, \dots\}$ визначає точність цієї моделі, а параметр T_{CN} є температурою, за якої оптична активність ρ , викликана спонтанною електрогірацією, повністю зникає в процесі нагрівання досліджуваного зразка;
- гауссівському розподілі локальних температур Кюрі $\varphi(T_{Ci})$ в межах досліджуваного зразка, де роль математичного очікування відіграє так звана середня температура Кюрі $\Theta = T_{CN} - 0,5 \times \Delta T$, яка приймається за температуру ФП та характеризує стан, коли половина досліджуваного зразка в процесі нагрівання зазнає ФП;
- загальному співвідношенні для параметра порядку власного сегнетоелектричного ФП другого роду, яке записується для кожної з однорідних елементарних комірок (ρ_i).

Інтерполяція експериментально отриманої температурної залежності оптичної активності ρ , викликаної спонтанною електрогірацією, здійснюється кривою, що являє собою середнє по ансамблю локальних температурних залежностей ρ_i . В результаті такої інтерполяції визначаються середня температура Кюрі Θ , область розмиття ФП ΔT та критичний індекс β , які забезпечують найкраще узгодження інтерполюючої кривої з експериментальною залежністю.

З використанням вищевказаної методики параметри розмитого сегнетоелектричного ФП Θ , ΔT та β визначено для кристалів чистого $\text{Pb}_5\text{Ge}_3\text{O}_{11}$, твердих розчинів $\text{Pb}_5(\text{Ge}_{1-x}\text{Si}_x)_3\text{O}_{11}$ ($x = 0,03; 0,05; 0,10; 0,20; 0,40$) та $(\text{Pb}_{1-x}\text{Ba}_x)_5\text{Ge}_3\text{O}_{11}$ ($x = 0,02; 0,05$), а також легованих кристалів $\text{Pb}_5\text{Ge}_3\text{O}_{11}:\text{Cu}^{2+}$ (0,14 ваг. %), $\text{Pb}_5\text{Ge}_3\text{O}_{11}:\text{Li}^+$ (0,005 ваг. %), $\text{Pb}_5\text{Ge}_3\text{O}_{11}:\text{La}^{3+}$ (0,02 ваг. %), $\text{Pb}_5\text{Ge}_3\text{O}_{11}:\text{Eu}^{3+}$

(0,021 ваг. %) й $\text{Pb}_5\text{Ge}_3\text{O}_{11}:\text{Li}^+, \text{Bi}^{3+}$ (0,152 ваг. %). При цьому порівняння запропонованої методики з іншими підходами до визначення температури Кюрі та критичного індексу параметру порядку свідчить про такі її істотні переваги, як валідність, об'єктивність, простота та можливість визначення області розмиття ФП ΔT .

Таблиця 1. Основні складові методики визначення параметрів розмитих сегнетоелектричних ФП.

Складова	Математичний зміст складової
Гауссівський розподіл	$\varphi(T_{Ci}) = \frac{1}{\omega_N} \left(\exp \left(-\frac{1}{2\eta_N} \left(\frac{1}{2} - \frac{N-i}{N-1} \right)^2 \right) - \exp \left(-\frac{1}{8\eta_N} \right) \right),$ $\omega_N = \sum_{i=1}^N \exp \left(-\frac{1}{2\eta_N} \left(\frac{1}{2} - \frac{N-i}{N-1} \right)^2 \right) - N \exp \left(-\frac{1}{8\eta_N} \right),$ $\eta_N = \frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N \left(\frac{1}{2} - \frac{N-i}{N-1} \right)^2,$ $\sum_{i=1}^N \varphi(T_{Ci}) = 1, \quad \lim_{T_{ci} \rightarrow T_{ci} + 0} \varphi(T_{Ci}) = \lim_{T_{ci} \rightarrow T_{cv} - 0} \varphi(T_{Ci}) = 0$
Загальне співвідношення для параметру порядку	$\rho_i = A \begin{cases} \left(T_{CN} - \frac{N-i}{N-1} \Delta T - T \right)^\beta; & T < T_{Ci} \\ 0; & T \geq T_{Ci} \end{cases}$
Інтерполяційна крива	$\rho = \sum_{i=1}^N \rho_i \varphi(T_{Ci})$

В результаті експериментального дослідження діелектричних та електрогіраційних властивостей легованих кристалів $\text{Pb}_5\text{Ge}_3\text{O}_{11}:\text{Cu}^{2+}$ (0; 0,10; 0,14; 0,20; 0,50 ваг. %) було побудовано (x, T) -фазову діаграму для системи $\text{Pb}_5\text{Ge}_3\text{O}_{11}:\text{Cu}^{2+}$, з якої випливає, що збільшення концентрації іонів Cu^{2+} призводить до зниження температури ФП. Також показано, що закон Кюрі-Вейса приблизно виконується для всіх досліджуваних легованих кристалів $\text{Pb}_5\text{Ge}_3\text{O}_{11}:\text{Cu}^{2+}$. Експериментальні дослідження дисперсії оптичної активності та

поглинання легованих кристалів $\text{Pb}_5\text{Ge}_3\text{O}_{11}:\text{Cu}^{2+}$ (0,14 ваг. %) при $T = 300 \text{ K}$ показали, що край поглинання цих кристалів порівняно з кристалами чистого $\text{Pb}_5\text{Ge}_3\text{O}_{11}$ дещо зміщений у довгохвильову область. При цьому в легованих кристалах $\text{Pb}_5\text{Ge}_3\text{O}_{11}:\text{Cu}^{2+}$ (0,14 ваг. %) виявлено збільшення як коефіцієнту оптичного поглинання, так й оптичної активності в спектральному діапазоні 550–700 нм. Швидше за все, це викликано домішками іонів Cu^{2+} – внаслідок порівняно малого іонного радіусу вони утворюють центри забарвлення та домішкові рівні у забороненій зоні.

За допомогою вищевказаної методики, адаптованої для інтерполяції температурних залежностей експериментальних даних, що характеризують індуквану електрогірацію та діелектричну проникність в кристалах з розмитими сегнетоелектричними ФП, для легованих кристалів $\text{Pb}_5\text{Ge}_3\text{O}_{11}:\text{Cu}^{2+}$ (0; 0,10; 0,14; 0,20; 0,50 ваг. %) було визначено параметри розмитого сегнетоелектричного ФП Θ та ΔT . При цьому виявлено, що для кристалів чистого $\text{Pb}_5\text{Ge}_3\text{O}_{11}$ та легованих кристалів $\text{Pb}_5\text{Ge}_3\text{O}_{11}:\text{Cu}^{2+}$ (0,14 ваг. %) ці параметри добре узгоджуються з відповідними параметрами, отриманими в результаті інтерполяції температурних залежностей оптичної активності, викликаної спонтанною електрогірацією.

В результаті аналізу температурної поведінки спонтанної та індукваної електрогірації в твердих розчинах $\text{Pb}_5(\text{Ge}_{1-x}\text{Si}_x)_3\text{O}_{11}$ ($x = 0,03; 0,05; 0,10; 0,20; 0,40$) та $(\text{Pb}_{1-x}\text{Ba}_x)_5\text{Ge}_3\text{O}_{11}$ ($x = 0,02; 0,05$) в околі сегнетоелектричного ФП встановлено, що заміни іонів Pb^{2+} на іони Ba^{2+} та іонів Ge^{4+} на іони Si^{4+} не впливають на величину коефіцієнтів спонтанної електрогірації $\tilde{\gamma}_{333}$, визначених в одиницях оберненої спонтанної електричної поляризації. В свою чергу, температурна поведінка коефіцієнтів індукваної електрогірації γ_{333} , визначених в одиницях оберненої напруженості зовнішнього електричного поля, в околі температури ФП визначається критичною поведінкою коефіцієнта діелектричної проникності. Встановлено, що для твердих розчинів $\text{Pb}_5(\text{Ge}_{1-x}\text{Si}_x)_3\text{O}_{11}$ та $(\text{Pb}_{1-x}\text{Ba}_x)_5\text{Ge}_3\text{O}_{11}$ приблизно виконується закон Кюрі-Вейса, а ізовалентне заміщення призводить до зниження температури ФП та зменшення коефіцієнтів термодинамічного потенціалу.

Результати аналізу температурної поведінки спонтанної та індукваної електрогірації в кристалах $\text{Pb}_5\text{Ge}_3\text{O}_{11}$, легованих іонами $\text{Li}^+, \text{La}^{3+}, \text{Eu}^{3+}, \text{Nd}^{3+}$ та Bi^{3+} , свідчать про те, що введення цих легуючих домішок помітно впливає на ФП та змінює його кількісні параметри – зокрема, зміщує ФП в бік нижчих температур та розмиває його. При

цьому температурні залежності оберненого коефіцієнта індукованої електрогірації для цих легованих кристалів мають лінійний характер, який узгоджується із законом Кюрі-Вейса.

В твердих розчинах $Pb_5(Ge_{0,9}Si_{0,1})_3O_{11}$, $Pb_5(Ge_{0,8}Si_{0,2})_3O_{11}$ та легованих кристалах $Pb_5Ge_3O_{11}:Eu^{3+}$ (0,021 ваг. %) виявлено істотне збільшення величини індукованої електрогірації у порівнянні як з кристалами чистого $Pb_5Ge_3O_{11}$, так й з іншими легованими кристалами та твердими розчинами цього сімейства. При цьому зниження температури Кюрі у вищевказаних сполуках забезпечує додаткові переваги в експлуатації електрогіраційних елементів на їхній основі. Таким чином, тверді розчини $Pb_5(Ge_{0,9}Si_{0,1})_3O_{11}$, $Pb_5(Ge_{0,8}Si_{0,2})_3O_{11}$ та леговані кристали $Pb_5Ge_3O_{11}:Eu^{3+}$ (0,021 ваг. %) можна віднести до категорії перспективних електрогіраційних матеріалів.

В **другому розділі** досліджено магніто-індуковану оптичну активність та температурну поведінку анізотропії оптичних, акустичних і термічних параметрів в лужно-боратних і халькогенідних сполуках. При цьому встановлено, що магнітооптичні параметри лужно-боратних стекел $LiKB_4O_7$, $Li_2B_6O_{10}$ та $LiCsB_6O_{10}$, експериментально визначені за нормальних умов для довжини оптичної хвилі 632,8 нм, попри їхню меншу величину порівняно з відповідними характеристиками відомих магнітооптичних матеріалів, свідчать про принципову можливість використання цих стекел для роботи з потужним лазерним випромінюванням з огляду на такі їхні переваги, як нетоксичність, простота в отриманні, прозорість в широкому спектральному діапазоні та висока променева стійкість. Натомість ефективні коефіцієнти Фарадея та константи Верде були експериментально визначені для двовісних халькогенідних кристалів Tl_3AsS_4 , $AgGaGe_3Se_8$, $AgGaGeS_4$ та твердих розчинів $TlIn(S_{1-x}Se_x)_2$ ($x = 0; 0,02; 0,06; 0,10; 0,15; 0,25$) за нормальних умов для довжини оптичної хвилі 632,8 нм в геометрії експерименту, яка відповідає напрямкам поширення світла та напруженості магнітного поля, паралельним одній з оптичних осей. При цьому встановлено, що в твердих розчинах $TlIn(S_{1-x}Se_x)_2$ ($x = 0; 0,02; 0,06; 0,10; 0,15; 0,25$) ефективний коефіцієнт Фарадея та константа Верде мають тенденцію до зростання із збільшенням концентрації атомів Se x , що можна пояснити дисперсією коефіцієнтів Фарадея та зсувом краю поглинання в бік більших довжин оптичних хвиль.

Виходячи зі значень їхніх магнітооптичних параметрів, халькогенідні кристали Tl_3AsS_4 , $AgGaGe_3Se_8$ (Таблиця 2) та тверді розчини $TlIn(S_{1-x}Se_x)_2$ ($x = 0; 0,02; 0,06; 0,10; 0,15; 0,25$) (Таблиця 3)

можна вважати одними з найкращих магнітно-невпорядкованих матеріалів для магнітооптичних застосувань, порівняно з такими конкурентами у цій сфері, як кристали $Sn_2P_2S_6$, $ZnTe$, Cu_2O та $Tb_3Ga_5O_{12}$.

Таблиця 2. Константи Верде V_F та ефективні коефіцієнти Фарадея F' , експериментально отримані для кристалів Tl_3AsS_4 , $AgGaGe_3Se_8$, $AgGaGeS_4$ при $\lambda = 632,8$ нм.

Кристали	$V_F, (Тл \times м)^{-1}$	$F', 10^{-13} м/А$
Tl_3AsS_4	82,21±1,82	9,23±0,21 (F'_{22})
$AgGaGe_3Se_8$	69,54±2,78	8,36±0,33 (F'_{11})
$AgGaGeS_4$	7,83±0,21	1,40±0,04 (F'_{33})

Таблиця 3. Константи Верде V_F та ефективні коефіцієнти Фарадея F'_{33} , експериментально отримані для твердих розчинів $TlIn(S_{1-x}Se_x)_2$ (2/м) при $\lambda = 632,8$ нм.

x	$V_F, (Тл \times м)^{-1}$	$F'_{33}, 10^{-13} м/А$
0	112,43±1,54	12,96±0,18
0,02	101,67±1,33	11,72±0,15
0,06	150,91±2,41	17,40±0,28
0,10	142,48±2,71	16,43±0,31
0,15	143,75±1,78	16,58±0,21
0,25	162,62±1,61	18,75±0,19

В результаті комплексного дослідження температурної поведінки анізотропії акустичних (швидкості АХ, коефіцієнти жорсткості й пружної податливості) та термічних (відносні термічні зміни розмірів та об'єму, коефіцієнти лінійного та об'ємного термічного розширення) параметрів халькогенідних кристалів $TlInSe_2$ було встановлено, що ці кристали зазнають декількох ФП та проходів через широкий температурний діапазон співіснування фаз. Так, зокрема, значна аномальна поведінка цих параметрів була виявлена при $T_1 \approx 245$ К та $T_2 \approx 145$ К; причому температурні залежності швидкостей АХ та дилатометричні дані свідчать про те, що симетрія кристалів $TlInSe_2$ стає нижчою за тетрагональну нижче температури T_1 . Поряд з появою спонтанних деформацій вздовж основних кристалографічних напрямків це може вказувати на сегнетоеластичну природу відповідного ФП (більше того, можливим є співіснування фаз

в області температур між T_1 та T_2). При цьому слід зауважити, що специфічна точка $T_2 \approx 145$ К виявляється близькою до температури 135 К, в якій іншими дослідниками було виявлено ФП з неспівмірної фази у впорядковану фазу. В свою чергу, точка $T_1 \approx 245$ К може відповідати температурі 185 К, в якій, згідно з деякими літературними даними, також відбувається ФП.

На основі експериментальних досліджень температурної поведінки анізотропії термічного розширення халькогенідних кристалів TlGaSe_2 було отримано залежності власних значень тензора лінійного термічного розширення. Показано, що в кристалах TlGaSe_2 спостерігається анізотропія термічного розширення не тільки вздовж напрямків, паралельних та перпендикулярних до площини спайності, але й в самій площині спайності. Ця анізотропія проявляється в тому, що власні значення α'_{11} та α'_{22} тензора лінійного термічного розширення суттєво відрізняються між собою. Використовуючи температурні залежності термічного розширення, в кристалах TlGaSe_2 було виявлено аномалії, які, найбільш ймовірно, відповідають структурним ФП серед різних політипів. Так, зокрема, аномалії, виявлені при $T_C \approx 106$ К та $T_i \approx 113$ К, можуть бути пов'язані з ФП відповідно в сегнетоелектричну фазу та неспівмірну фазу в політипі з $c = c_0$, тоді як аномалію в температурній області $T'_C = (124 \text{ К}; 137 \text{ К})$ можна віднести до ФП в політипі з $c = 2c_0$. Крім того, аномальна поведінка параметрів термічного розширення спостерігалася в області температур $\Delta T_k = (200 \text{ К}; 240 \text{ К})$. Ймовірно, це вказує на існування в кристалічній матриці досліджуваних зразків кристалів TlGaSe_2 політипів з певними вищими значеннями параметра c , які мають характеризуватися також й певними іншими структурними змінами.

В результаті комплексного дослідження температурної поведінки анізотропії термічних та оптичних (двовірні розподіли приростів кута орієнтації оптичної індикатриси та оптичної різниці фаз) параметрів халькогенідних твердих розчинів $\text{TlIn}(\text{S}_{1-x}\text{Se}_x)_2$ ($x = 0; 0,02; 0,06; 0,10; 0,15; 0,25$) було встановлено, що збільшення концентрації атомів Se x знижує майже всі температури ФП. Проте температура T_i для політипу з $c = c_0$ зростає при концентрації атомів Se $x > 0,10$. Крім того, спостерігається розширення області температур, де існує неспівмірна фаза. Також було встановлено, що ФП з неспівмірної фази в сегнетоелектричну фазу має чітко впізнаваний розмитий характер. Й, нарешті, було показано, що політипна структура властива не лише для чистих кристалів $\beta\text{-TlInS}_2$, але також й для твердих розчинів $\text{TlIn}(\text{S}_{1-x}\text{Se}_x)_2$, оскільки у цих

твердих розчинах з $0 \leq x \leq 0,05$ виникає додатковий ФП, який є, скоріше за все, ФП в сегнетоелектричну фазу в політипі з $c = 16c_0$.

В **третьому розділі** проаналізовано АО взаємодії з врахуванням неортогональності АХ. При цьому методика, яка застосовується для отримання аналітичних співвідношень для компонент тензора деформацій, що викликані АХ з довільним напрямком хвильового вектора, передбачає використання стандартних матриць повороту декартових систем координат та побудову перерізів вказівних поверхонь, які описуються тензором Крістоффеля. Аналітичні співвідношення, отримані в результаті застосування цієї методики, можуть бути використані для послідовного аналізу анізотропії КАОЯ.

Вплив відхилень поляризації власних АХ від чисто поздовжнього та чисто поперечного станів на анізотропію КАОЯ було проаналізовано для АО взаємодій, що відбуваються в головних кристалографічних площинах. При цьому аналітичні співвідношення, які описують ЕПОК для 6 різних типів ізотропних АО взаємодій, були отримані для випадків нехтування та врахування таких відхилень. Слід зауважити, що формули для ЕПОК, які враховують відхилення поляризації власних АХ від чисто поздовжнього та чисто поперечного станів, у наближенні власних АХ з чистими станами поляризації можуть бути зведені до відповідних співвідношень, отриманих при нехтуванні такими відхиленнями, що свідчить про самоузгодженість цих формул. Виходячи з вищевказаних співвідношень, можна відзначити, що набір компонент ПО тензора, який визначає ЕПОК, залишається незмінним для випадків нехтування та врахування відхилень поляризації власних АХ від чисто поздовжнього та чисто поперечного станів. Це стосується кристалів, що належать до орторомбічних точкових груп симетрії, а також кристалів інших точкових груп симетрії, які характеризуються тензорами жорсткості та ПО тензорами з аналогічною структурою. Відповідний аналіз було проведено на прикладі кристалів Tl_3AsS_4 , які є достатньо ефективним АО матеріалом. При цьому було виявлено, що для кристалів Tl_3AsS_4 відхилення поляризації власних АХ від чисто поздовжнього та чисто поперечного станів впливають на анізотропію КАОЯ лише у випадку АО взаємодій з QT АХ (Таблиця 4). Це зумовлено специфічними властивостями кристалів Tl_3AsS_4 – а саме, малими кутами неортогональності власних АХ та близькістю значень головних ПО коефіцієнтів. Показано, що в більш загальній ситуації, характерній для інших кристалічних матеріалів, збільшення кута неортогональності власних АХ повинно призвести до суттєвих відмінностей між

залежностями КАОЯ від кута орієнтації хвильового вектора АХ θ , отриманими у випадках нехтування та врахування такої неортогональності. При визначенні експериментальних геометрій АО взаємодій, за яких досягаються максимальні значення КАОЯ для кристалів Pb_3AsS_4 , було виявлено, що глобальний максимум КАОЯ ($2186 \times 10^{-15} \text{ c}^3/\text{кг}$) відповідає АО взаємодіям у площинах ab та bc з PL АХ, яка поширюється вздовж кристалографічної осі b .

Таблиця 4. Максимальні значення КАОЯ M_2 , розраховані для різних типів ізотропних АО взаємодій в кристалах Pb_3AsS_4 при врахуванні неортогональності поляризацій власних АХ.

Тип АО взаємодії	$\theta, ^\circ$	Площина АО взаємодії	$M_2, 10^{-15} \text{ c}^3/\text{кг}$
I	90, 270	ab	2186
II	0, 180	bc	2186
III	66, 114, 246, 294	bc	277
IV	19, 161, 199, 341	bc	1595
V	47, 133, 227, 313	ac	432
VI	22, 158, 202, 338	ac	364

Вплив неортогональності власних АХ на анізотропію КАОЯ було проаналізовано для ізотропних АО взаємодій, які відбуваються в головних кристалографічних площинах кристалів $\text{Li}_2\text{V}_4\text{O}_7$ та $\alpha\text{-TeO}_2$. При цьому були отримані геометрії АО взаємодій, за яких повинні спостерігатися максимальні значення КАОЯ (Таблиця 5). В результаті було виявлено, що глобальний максимум КАОЯ для кристалів $\text{Li}_2\text{V}_4\text{O}_7$ ($3,4 \times 10^{-15} \text{ c}^3/\text{кг}$) досягається при типі I АО взаємодії у кристалографічній площині ac (bc). Натомість глобальний максимум КАОЯ для кристалів $\alpha\text{-TeO}_2$ ($71,6 \times 10^{-15} \text{ c}^3/\text{кг}$) спостерігається при типі IV АО взаємодії у кристалографічній площині взаємодії ac (bc).

Таблиця 5. Максимальні значення КАОЯ M_2 , розраховані для різних типів ізотропних АО взаємодій в кристалах $\text{Li}_2\text{V}_4\text{O}_7$ (LTV) та $\alpha\text{-TeO}_2$ (Ptlr) при врахуванні неортогональності поляризацій власних АХ.

Тип АО взаємодії	$\theta, ^\circ$		Площина АО взаємодії		$M_2, 10^{-15} \text{ c}^3/\text{кг}$	
	LTV	Ptlr	LTV	Ptlr	LTV	Ptlr
I	90, 270	90, 270	ac, bc	ac, bc	3,4	33,3
II	45, 135, 225, 315	64, 116, 244, 296	ab	ac, bc	1,7	31,2
III	90, 270	42, 138, 222, 318	ac, bc	ac, bc	0,8	3,6
IV	90, 270	61, 119, 241, 299	ac, bc	ac, bc	0,37	71,6
V	62, 152, 242, 332	72, 162, 252, 342	ab	ab	0,0055	0,54
VI	20, 160, 200, 340	18, 72, 108, 162, 198, 252, 288, 342	ac, bc	ab	0,097	6,7

Результати експериментальних досліджень швидкостей АХ в кристалах TlInSe_2 дали можливість визначити всі компоненти тензорів жорсткості та пружної податливості. При цьому було встановлено, що пружні податливості $S_{44} = S_{55}$ та S_{66} значно більші за інші, що свідчить про надзвичайно високу податливість кристалів TlInSe_2 щодо напружень зсуву. Використовуючи поперечні перерізи поверхонь швидкостей АХ в кристалах TlInSe_2 , було виявлено, що найповільніша QL АХ (2444 м/с) поширюється вздовж бісектриси кристалографічних осей a та b . В свою чергу, найповільніші QT_1 АХ та QT_2 АХ (1356 м/с) поширюються, відповідно, в довільному напрямку в кристалографічній площині bc та в довільному напрямку в кристалографічній площині ab . Показано, що кути зносу та неортогональності власних АХ для кристалів TlInSe_2 є відносно великими. При цьому КАОЯ в кристалах TlInSe_2 ($170 \times 10^{-15} \text{ c}^3/\text{кг}$) був оцінений при $\lambda = 1,15 \text{ мкм}$ для випадку ізотропної АО взаємодії з найповільнішою QL АХ.

Результати експериментальних досліджень швидкостей АХ в кристалах $\gamma_1\text{-(Ga}_{0,3}\text{In}_{0,7})_2\text{Se}_3$ дали можливість визначити всі компоненти тензорів жорсткості та пружної податливості. При цьому

встановлено, що компоненти цих тензорів задовольняють наближені співвідношення $C_{11} \approx C_{33}$, $S_{11} \approx S_{33}$, $C_{44} \approx C_{66}$, $S_{44} \approx S_{66}$, $C_{66} = 0,5(C_{11} - C_{12})$ та $S_{66} = 2(S_{11} - S_{12})$, які характерні для ізотропних твердотільних середовищ. Кут зносу власних АХ для кристалів γ_1 -(Ga_{0,3}In_{0,7})₂Se₃ є достатньо малими; те ж саме стосується кутів неортогональності QL АХ та QT₁ АХ, з огляду на що для них можна використовувати наближення чистих станів поляризації. Значення КАОЯ для кристалів γ_1 -(Ga_{0,3}In_{0,7})₂Se₃ було виміряно для різних геометрій ізотропної АО дифракції звичайної оптичної хвилі з довжиною $\lambda = 632,8$ нм. При цьому максимальна величина КАОЯ, $(38,6 \pm 0,7) \times 10^{-15}$ с³/кг, відповідає ПО коефіцієнту $|p_{11}| = 0,105 \pm 0,014$. Слід зауважити, що, оскільки експериментально визначені повільності АХ та ПО коефіцієнти є не надто великими (так, наприклад, $|p_{11}| = 0,105 \pm 0,014$, $|p_{13}| = 0,072 \pm 0,010$ та $|p_{12}| = 0,09 \pm 0,03$), в кристалах γ_1 -(Ga_{0,3}In_{0,7})₂Se₃ основний внесок в КАОЯ пов'язаний з високими показниками заломлення, що спостерігаються в спектральній області поблизу краю оптичного поглинання.

В четвертому розділі розглянуто АО взаємодії за участю циркулярно-поляризованих оптичних хвиль в оптично активних кристалах. При цьому аналіз АО взаємодії в оптично активних кристалах AgGaS₂ на довжині оптичної хвилі $\lambda_i = 497,4$ нм, в якій показники заломлення звичайної та незвичайної оптичних хвиль рівні між собою (на довжині хвилі ізотропної точки), показав, що за умови врахування циркулярного двозаломлення, викликаного оптичною активністю, в цих кристалах можна виділити два типи АО дифракції: ізотропну та анізотропну. Ізотропна АО дифракція являє собою АО дифракцію за участю циркулярно-поляризованих оптичних власних хвиль з однаковими знаками обертань їхніх векторів напруженості електричного поля, в свою чергу, для анізотропної АО дифракції ці знаки є протилежними (Рисунок 1). При цьому було отримано співвідношення для ЕПОК у випадку вищевказаних типів АО дифракції, а також встановлено, що при анізотропній АО дифракції фаза дифрагованої оптичної хвилі зсувається на -90° відносно фази падаючої оптичної хвилі, тоді як при ізотропній АО дифракції фазовий зсув між падаючою та дифрагованою оптичними хвилями дорівнює нулю.

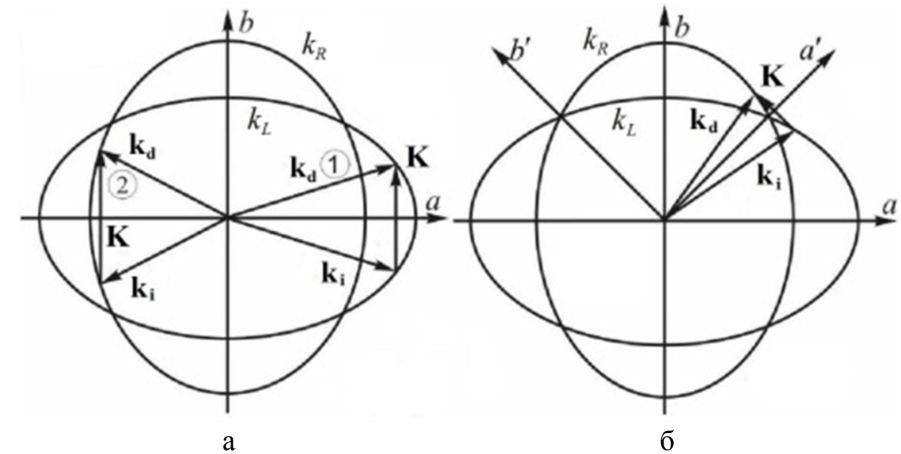


Рисунок 1. Схематичні векторні діаграми для ізотропної (а) та анізотропної (б) АО дифракції Брегга на довжині хвилі ізотропної точки 497,4 нм кристалів AgGaS₂. 1 – ліві циркулярно-поляризовані оптичні хвилі; 2 – праві циркулярно-поляризовані оптичні хвилі. k_R , k_L – перерізи кристаліграфічною площиною ab вказівних поверхонь хвильових векторів для правої та лівої циркулярно-поляризованих оптичних хвиль, відповідно; k_i , k_d , K – хвильові вектори падаючої й дифрагованої оптичних хвиль та АХ, відповідно.

Використовуючи результати експериментальних досліджень ПО властивостей кристалів AgGaS₂, величину КАОЯ було оцінено для низки випадків АО взаємодії за участю циркулярно-поляризованих оптичних власних хвиль на довжині хвилі ізотропної точки. В результаті було виявлено, що достатньо малі значення ПО коефіцієнтів в цих кристалах призводять до малих значень КАОЯ – а отже, й до низької ефективності АО дифракції.

Аналіз анізотропії швидкостей АХ кристалів AgGaS₂ показав, що ці кристали мають п'ять акустичних осей (напрямків рівності швидкостей QT₁ АХ та QT₂ АХ), одна з яких паралельна кристаліграфічній осі c , а чотири інші лежать у кристаліграфічній площині ab . Для кристалів AgGaS₂ кут зносу власних АХ є достатньо великим – він досягає значення 36° в головних кристаліграфічних площинах. Натомість кут неортогональності поляризацій власних АХ для кристалів AgGaS₂ не перевищує 8° в цих площинах, що дозволяє

проводити аналіз анізотропії КАОЯ в наближенні чистих станів поляризації власних АХ.

В результаті розгляду часткового випадку колінеарної АО дифракції за участю циркулярно-поляризованих оптичних власних хвиль на довжині хвилі ізотропної точки $\lambda_i = 497,4$ нм в кристалах AgGaS_2 було виявлено, що анізотропія КАОЯ в кристалографічній площині ac (bc) зумовлена насамперед анізотропією ЕПОК. При цьому максимальне значення КАОЯ ($0,9 \times 10^{-15}$ с³/кг) досягається за умови поширення взаємодіючих хвиль під кутами $\theta = 48^\circ, 132^\circ, 228^\circ, 312^\circ$ відносно кристалографічної осі a (b).

В **п'ятому розділі** досліджено АО взаємодії з врахуванням еліптичності оптичних власних хвиль. При цьому аналіз впливу природної оптичної активності на ефективність АО взаємодії в кристалах $\alpha\text{-SiO}_2$ показав, що для типів I та II АО взаємодії за участю оптичних власних хвиль вона призводить до пікоподібного зростання ЕПОК та КАОЯ. При цьому для типу I АО взаємодії КАОЯ зростає на 46 %, досягаючи значення $1,58 \times 10^{-15}$ с³/кг, а для типу II АО взаємодії – більш ніж утричі, досягаючи значення $1,58 \times 10^{-15}$ с³/кг. Аналогічна ситуація спостерігається також й у випадку типів III та IV АО взаємодії: для типу III АО взаємодії КАОЯ зростає на 9 %, досягаючи значення $1,22 \times 10^{-15}$ с³/кг, тоді як для типу IV АО взаємодії – більш ніж на порядок, досягаючи значення $1,22 \times 10^{-15}$ с³/кг.

Аналіз анізотропії ЕПОК та КАОЯ для випадку АО взаємодій у головній площині XZ кристалів $\text{Pb}_5\text{Ge}_3\text{O}_{11}$ показав, що в цих кристалах наявність оптичної активності, зумовленої спонтанною електрогірацією, суттєво підвищує КАОЯ внаслідок ненульової еліптичності оптичних власних хвиль, що приймають участь у АО взаємодіях. При цьому таке підвищення відбувається з огляду на те, що еліптичність оптичних власних хвиль наближається до одиниці поблизу оптичної осі, а також тому, що в співвідношення для ЕПОК при врахуванні еліптичності оптичних власних хвиль можуть включатися додаткові компоненти ПО тензора. На прикладі кристалів $\text{Pb}_5\text{Ge}_3\text{O}_{11}$ показано, що той чи інший ступінь підвищення ефективності АО взаємодії завжди характерний для всіх типів АО взаємодій, коли падаюча оптична хвиля поширюється в околі оптичної осі. При цьому встановлено, що у випадку АО взаємодії, яка відбувається в площині XZ кристалів $\text{Pb}_5\text{Ge}_3\text{O}_{11}$, максимальна АО ефективність досягається для типів I та II ізотропної АО взаємодії – завдяки відмінній від нуля еліптичності оптичних власних хвиль

КАОЯ зростає відповідно з $6,8 \times 10^{-15}$ с³/кг та $5,6 \times 10^{-15}$ с³/кг до $12,4 \times 10^{-15}$ с³/кг.

Аналіз, проведений на прикладі кристалів KN_2PO_4 , в яких відсутня природна оптична активність при поширенні світла вздовж оптичної осі, для типів I та II АО взаємодії в площині XZ показав, що АО ефективність може бути підвищена шляхом індукування зовнішнім магнітним полем, за рахунок ефекту Фарадея, еліптичності оптичних власних хвиль χ :

$$\chi \approx \frac{G_H}{n_o^2 - n_e'^2}, \quad G_H = F_{33} H_3 \cos^2 \phi, \quad n_e' = \left(\frac{n_o^2 n_e^2}{n_e^2 \cos^2 \phi + n_o^2 \sin^2 \phi} \right)^{1/2},$$

де F_{33} – компонента тензора Фарадея; H_3 – напруженість зовнішнього магнітного поля, яке діє вздовж оптичної осі; $\phi = \theta + \theta_B$ – кут між напрямком поширення падаючої оптичної хвилі та віссю Z ; θ – кут між хвильовим вектором QL АХ та віссю X ; $\theta_B = 0,1^\circ$ – кут Брегга; n_o та n_e – відповідно звичайний та незвичайний показники заломлення.

При цьому для типу I АО взаємодії в площині XZ співвідношення для квадрату ЕПОК може бути записане як

$$\begin{aligned} (p_{eff}^{(1)})^2 = & (p_{12} \cos \theta \cos \mu_2 + p_{13} \sin \theta \sin \mu_2)^2 + 0,5 \chi^2 [(p_{11} \cos \theta \cos \mu_2 + \\ & + p_{13} \sin \theta \sin \mu_2)^2 \cos^4 \theta + (p_{31} \cos \theta \cos \mu_2 + p_{33} \sin \theta \sin \mu_2)^2 \sin^4 \theta + \\ & + 0,5 p_{44}^2 \sin^2 (\mu_2 + \theta) \sin^2 2\theta + p_{44} (p_{11} \cos \theta \cos \mu_2 + p_{13} \sin \theta \sin \mu_2) \times \\ & \times \sin (\mu_2 + \theta) \sin 2\theta \cos^2 \theta + p_{44} (p_{31} \cos \theta \cos \mu_2 + p_{33} \sin \theta \sin \mu_2) \times \\ & \times \sin (\mu_2 + \theta) \sin 2\theta \sin^2 \theta], \end{aligned}$$

де $\mu_2 = \mu_2(\theta)$ – кут неортогональності поляризації QL АХ; p_{ij} – компоненти ПО тензора.

В цьому випадку при поширенні падаючої й дифрагваної оптичних хвиль у напрямках, близьких до оптичної осі, з поляризаціями, що є такими ж самими, як й магніто-індукована поляризація еліптичних оптичних власних хвиль χ , КАОЯ може бути збільшений приблизно в два рази (Рисунок 2).

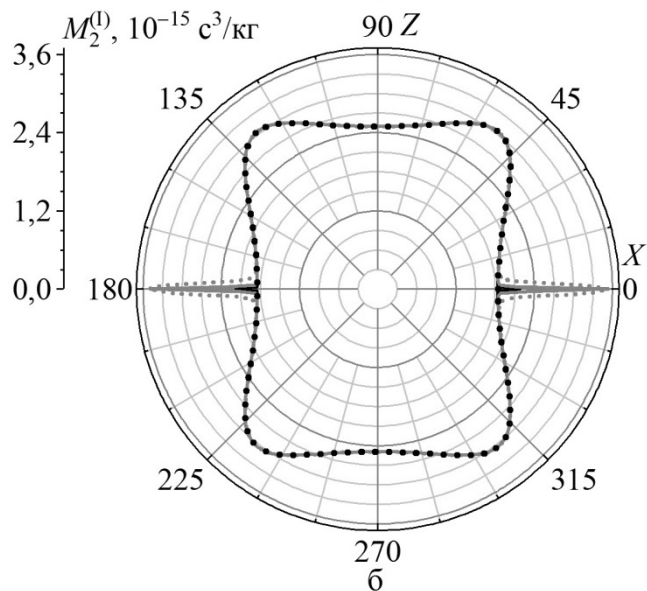
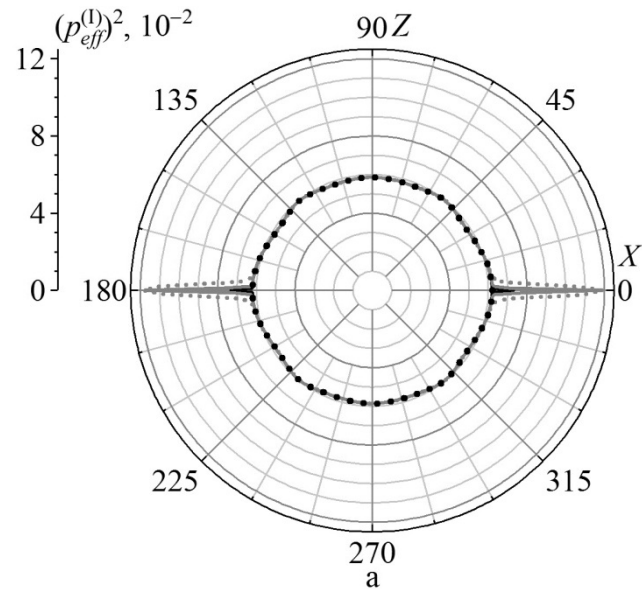


Рисунок 2. Залежності квадрату ЕПОК (а) та КАОЯ (б) від кута θ для типу I АО взаємодії в площині XZ кристалів K_2HPO_4 . Лінії: чорна пунктирна – $H_3 = 0$; чорна суцільна – $H_3 \sim 10^5 \text{ А/м}$; сіра суцільна – $H_3 \sim 10^7 \text{ А/м}$; сіра пунктирна – $H_3 \sim 10^8 \text{ А/м}$.

Отримані результати демонструють принципову можливість керування ефективністю АО дифракції Брегга за допомогою зовнішнього магнітного поля. При цьому робочі величини напруженості зовнішнього магнітного поля залежать від величини тих компонент тензора Фарадея відповідного АО матеріалу, що формують ефективний коефіцієнт Фарадея для певної визначеної геометрії АО дифракції Брегга, з огляду на що видається найбільш доцільним використання в магніто-керованих АО приладах таких АО середовищ, які є найкращими магнітооптичними матеріалами.

ОСНОВНІ РЕЗУЛЬТАТИ ТА ВИСНОВКИ

В результаті виконання дисертаційного дослідження:

- вирішена проблема акустооптичної взаємодії в оптично активних середовищах з врахуванням еліптичної та циркулярної поляризації власних оптичних хвиль, а також неортогональності поляризації власних акустичних хвиль;
- показано, що ефективністю акустооптичної дифракції можна керувати зовнішнім магнітним полем;
- запропоновано метод визначення параметрів розмитих сегнетоелектричних фазових переходів, який базується на результатах експериментальних досліджень оптичної активності;
- виявлені нові ефективні магнітооптичні матеріали.

При цьому, зокрема:

1. На прикладі кристалів $\text{Pb}_5\text{Ge}_3\text{O}_{11}$ та $\alpha\text{-SiO}_2$ показано, що наявність оптичної активності суттєво підвищує коефіцієнт акустооптичної якості за рахунок ненульової еліптичності взаємодіючих оптичних власних хвиль. Встановлено, що таке підвищення відбувається за рахунок того, що еліптичність оптичних власних хвиль наближається до одиниці поблизу оптичної осі, а в співвідношення для ефективного пружнооптичного коефіцієнта можуть включатися додаткові компоненти пружнооптичного тензора.

2. На прикладі кристалів K_2HPO_4 , які не володіють природною оптичною активністю при поширенні оптичних хвиль вздовж оптичної осі, продемонстровано, що індукована зовнішнім магнітним полем фарадеївська еліптичність оптичних власних хвиль призводить до суттєвого зростання коефіцієнта акустооптичної якості, що, у свою чергу, свідчить про принципову можливість керування ефективністю акустооптичної дифракції за допомогою зовнішнього магнітного поля. При цьому робочі значення напруженості зовнішнього магнітного

поля залежать від величини ефективного коефіцієнта Фарадея відповідного акустооптичного середовища для певної визначеної геометрії акустооптичної дифракції.

3. Запропоновано метод визначення параметрів розмитих сегнетоелектричних фазових переходів, який базується на поділі досліджуваного зразка на нескінченно велику кількість однорідних елементарних комірок, в кожній з яких фазовий перехід є нерозмитим та характеризується певною локальною температурою Кюрі; гауссівському розподілі локальних температур Кюрі в межах досліджуваного зразка; описі температурної поведінки термодинамічних параметрів при фазових переходах другого роду в рамках теорії Ландау. Метод передбачає інтерполяцію експериментальної температурної залежності оптичної активності, оберненої діелектричної проникності або оберненого коефіцієнта лінійного електрогіраційного ефекту середнім по ансамблю відповідних локальних температурних залежностей. Метод апробований на прикладі кристалів сімейства германату свинцю.

4. Експериментально досліджено фарадеївську оптичну активність в халькогенідних кристалах Tl_3AsS_4 , $AgGaGeS_4$, $AgGaGe_3Se_8$, халькогенідних твердих розчинах $TlIn(S_{1-x}Se_x)_2$ ($x = 0; 0,02; 0,06; 0,10; 0,15; 0,25$) та лужно-боратних стеклах $LiKB_4O_7$, $Li_2B_6O_{10}$, $LiCsB_6O_{10}$. При цьому отримані значення ефективних коефіцієнтів Фарадея халькогенідних кристалів Tl_3AsS_4 й $AgGaGe_3Se_8$ та халькогенідних твердих розчинів $TlIn(S_{1-x}Se_x)_2$ ($x = 0; 0,02; 0,06; 0,10; 0,15; 0,25$) дозволяють віднести їх до одних з найкращих магнітно-невпорядкованих матеріалів для магнітооптичних застосувань.

5. Показано, що за наявності лише циркулярного двозаломлення в оптично активних кристалах акустооптична дифракція проявляється у взаємодії між власними циркулярно-поляризованими оптичними хвилями. На прикладі оптично активних кристалів $AgGaS_2$ для довжини хвилі ізотропної точки 497,4 нм встановлено, що наявність циркулярного двозаломлення призводить до двох типів акустооптичної дифракції – а саме, ізотропної акустооптичної дифракції за участю циркулярно-поляризованих оптичних власних хвиль з однаковими знаками обертань їхніх векторів напруженості електричного поля та анізотропної акустооптичної дифракції, для якої ці знаки є протилежними. На основі аналізу анізотропії швидкостей акустичних хвиль та експериментальних досліджень пружнооптичних коефіцієнтів кристалів $AgGaS_2$ визначено кути зносу та

неортогональності власних акустичних хвиль, а також кутову залежність коефіцієнта акустооптичної якості для випадку колінеарної акустооптичної взаємодії з циркулярно-поляризованими оптичними власними хвилями на довжині хвилі ізотропної точки.

6. Отримано аналітичні вирази для деформацій, спричинених акустичними хвилями, з врахуванням неортогональності їх поляризації. На основі аналізу впливу неортогональності поляризацій власних акустичних хвиль на анізотропію коефіцієнта акустооптичної якості для ізотропних акустооптичних взаємодій, що відбуваються в головних кристалографічних площинах кристалів Tl_3AsS_4 , $Li_2B_4O_7$ та α - TeO_2 , показано, що набір компонент пружнооптичного тензора, який визначає ефективний пружнооптичний коефіцієнт, не змінюється при врахуванні або нехтуванні неортогональністю акустичних хвиль для цих кристалів, а також кристалів, які характеризуються тензорами жорсткості та пружнооптичними тензорами з аналогічною структурою. Встановлено, що за цих умов при врахуванні або нехтуванні неортогональністю поляризацій акустичних хвиль змінюється співвідношення між компонентами пружнооптичного тензора, які формують ефективний пружнооптичний коефіцієнт.

7. Експериментально досліджено швидкості акустичних хвиль в кристалах $TlInSe_2$ та γ_1 - $(Ga_{0,3}In_{0,7})_2Se_3$, що дозволило визначити всі компоненти тензорів жорсткості та пружної податливості, кути зносу та неортогональності власних акустичних хвиль, а також оцінити коефіцієнт акустооптичної якості для випадку ізотропної акустооптичної взаємодії.

8.3 використанням експериментально отриманих поляриметричних двомірних карт розподілу приростів кута орієнтації оптичної індикатриси та оптичної різниці фаз для різних температур показано, що політипна структура акустооптичних халькогенідних твердих розчинів $TlIn(S_{1-x}Se_x)_2$ ($x = 0; 0,02; 0,06; 0,10; 0,15; 0,25$) проявляється в неоднорідному розподілі параметрів оптичної анізотропії.

**СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ
ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ**

1. Y. Shopa, D. Adamenko, R. Vlokh, and O. Vlokh, "Electrogyration effect in lead germanate crystal family. 1. Electrogyration in the solid solutions based on lead germanate crystals," *Ukr. J. Phys. Opt.*, vol. 8, pp. 197-208, 2007.
2. Y. Shopa, O. Kushnir, D. Adamenko, R. Shopa, V. Dzyubanski, R. Vlokh, and O. Vlokh, "Electrogyration effect in lead germanate crystal family. 2. The case of crystals doped with Li, Eu, La, Nd and (Li, Bi)," *Ukr. J. Phys. Opt.*, vol. 10, pp. 71-81, 2009.
3. D. Adamenko, I. Klymiv, Y. Vasylykiv, and R. Vlokh, "Optical activity and critical exponent of the order parameter in lead germanate crystals. 1. The case of diffused phase transition in $Pb_5Ge_3O_{11}$ doped with Cu, Ba and Si ions," *Ukr. J. Phys. Opt.*, vol. 10, pp. 182-193, 2009.
4. D. Adamenko, I. Klymiv, Y. Vasylykiv, V. Duda, A. Ermakov, and R. Vlokh, "Optical activity and critical exponent of the order parameter in lead germanate crystals. 2. Electrogyration and dielectric properties of $Pb_5Ge_3O_{11}:Cu^{2+}$," *Ukr. J. Phys. Opt.*, vol. 10, pp. 194-200, 2009.
5. D. Adamenko, "Dispersion of optical activity and absorption in $Pb_5Ge_3O_{11}:Cu^{2+}$ crystals," *Ukr. J. Phys. Opt.*, vol. 11, pp. 114-118, 2010.
6. D. Adamenko and R. Vlokh, "Critical exponents of the order parameter of diffuse ferroelectric phase transitions in the solid solutions based on lead germanate: studies of optical rotation," *Condens. Matter Phys.*, vol. 25, p. 43703, 2022.
7. I. Martynyuk-Lototska, O. Mys, A. Say, I. Trach, D. Adamenko, O. Gomonnai, I. Roman, and R. Vlokh, "Anisotropy of acoustic and thermal expansion properties of $TlInSe_2$ crystals," *Phase Transit.*, vol. 92, pp. 23-35, 2019.
8. A. Say, D. Adamenko, O. Gomonnai, I. Roman, I. Martynyuk-Lototska, and R. Vlokh, "Anisotropy of thermal expansion of $TlGaSe_2$ crystals," *Phase Transit.*, vol. 92, pp. 824-830, 2019.
9. D. Adamenko, A. Pogodin, Y. Vasylykiv, I. Martynyuk-Lototska, and R. Vlokh, "Manifestations of the polytype structure of β - $TlInS_2$ crystals in their optical anisotropy parameters," *Ukr. J. Phys. Opt.*, vol. 20, pp. 151-158, 2019.
10. A. Say, I. Martynyuk-Lototska, D. Adamenko, A. Pogodin, O. Kokhan, and R. Vlokh, "Thermal expansion anisotropy of β - $TlInS_2$ crystals in the course of phase transitions," *Phase Transit.*, vol. 91, pp. 1-8, 2018.
11. D. Adamenko, A. Say, I. Martynyuk-Lototska, O. Mys, M. Kostyrko, O. Gomonnai, and R. Vlokh, " (x,T) -phase diagram of $TlIn(S_{1-x}Se_x)_2$

- solid solutions ($x = 0, 0.02, 0.06, 0.10, 0.15$ and 0.25)," *Phase Transit.*, vol. 93, pp. 935-944, 2020.
12. A. Say, I. Martynyuk-Lototska, O. Mys, D. Adamenko, M. Kostyrko, O. Gomonnai, and R. Vlokh, "Temperature dependences of optical indicatrix and thermal expansion parameters of $TlIn(S_{1-x}Se_x)_2$ solid solutions ($x = 0, 0.02$ and 0.06)," *Ukr. J. Phys. Opt.*, vol. 21, pp. 57-64, 2020.
 13. D. Adamenko, V. Adamiv, I. Klymiv, and R. Vlokh, "Kerr and Faraday effects in borate glasses," *Ukr. J. Phys. Opt.*, vol. 12, pp. 1-9, 2011.
 14. D. Adamenko, M. Kushnirench, O. Kokhan, and R. Vlokh, "Faraday effect in Tl_3AsS_4 crystals," *Ukr. J. Phys. Opt.*, vol. 16, pp. 134-137, 2015.
 15. D. Adamenko, O. Parasyuk, and R. Vlokh, "Faraday effect in $AgGaGe_3Se_8$ crystals," *Ukr. J. Phys. Opt.*, vol. 17, pp. 27-31, 2016.
 16. D. Adamenko, A. Say, O. Parasyuk, I. Martynyuk-Lototska, and R. Vlokh, "Magneto-optic rotation and thermal expansion of $AgGaGeS_4$ crystals," *Ukr. J. Phys. Opt.*, vol. 17, pp. 105-111, 2016.
 17. D. Adamenko, Y. Vasylykiv, A. Pogodin, O. Kokhan, and R. Vlokh, "Faraday effect in $TlInS_2$ crystals," *Ukr. J. Phys. Opt.*, vol. 18, pp. 197-200, 2017.
 18. D. Adamenko, O. Krupych, M. Kostyrko, Y. Vasylykiv, O. Gomonnai, A. Gomonnai, and R. Vlokh, "Faraday effect in $TlIn(S_{1-x}Se_x)_2$ solid solutions ($x = 0, 0.02, 0.06, 0.10, 0.15$ and 0.25)," *Ukr. J. Phys. Opt.*, vol. 21, pp. 178-183, 2020.
 19. O. Krupych, D. Adamenko, and R. Vlokh, "Analytical relations for the strain tensor components caused by acoustic waves with arbitrary wave vector directions in crystals: acousto-optic applications," *Ukr. J. Phys. Opt.*, vol. 20, pp. 16-22, 2019.
 20. O. Mys, D. Adamenko, O. Krupych, and R. Vlokh, "Effect of deviation from purely transverse and longitudinal polarization states of acoustic waves on the anisotropy of acoustooptic figure of merit: the case of Tl_3AsS_4 crystals," *Appl. Opt.*, vol. 57, pp. 8320-8330, 2018.
 21. O. Mys, V. Savaryn, M. Kostyrko, D. Adamenko, O. Krupych, and R. Vlokh, "Anisotropy of acousto-optic figure of merit in tetragonal crystals with accounting for non-orthogonality of acoustic eigenwave polarizations. 2. The cases of $Li_2B_4O_7$ and TeO_2 crystals," *Ukr. J. Phys. Opt.*, vol. 20, pp. 23-36, 2019.
 22. I. Martynyuk-Lototska, O. Mys, D. Adamenko, M. Kostyrko, S. Bereznyuk, A. Solomon, A. Pogodin, I. Studenyak, and R. Vlokh, "Elastic quasi-isotropy and acousto-optics of $\gamma_1-(Ga_{0.3}In_{0.7})_2Se_3$ crystals," *Ukr. J. Phys. Opt.*, vol. 23, pp. 1-8, 2022.

23. O. Mys, I. Martynyuk-Lototska, A. Pogodin, T. Dudok, D. Adamenko, O. Krupych, I. Skab, and R. Vlokh, "Acousto-optic interaction between circularly polarized optical eigenwaves: example of AgGaS₂ crystals," *Appl. Opt.*, vol. 58, pp. 6012-6018, 2019.
24. O. Mys, D. Adamenko, I. Skab, and R. Vlokh, "Anisotropy of acousto-optic figure of merit for the collinear diffraction of circularly polarized optical waves at the wavelength of isotropic point in AgGaS₂ crystals," *Ukr. J. Phys. Opt.*, vol. 20, pp. 73-80, 2019.
25. O. Mys, D. Adamenko, and R. Vlokh, "Enhancement of acousto-optic diffraction efficiency in SiO₂ crystals due to the ellipticity of eigen optical waves. Isotropic acousto-optic interaction," *Ukr. J. Phys. Opt.*, vol. 24, pp. 124-133, 2023.
26. O. Mys, M. Kostyrko, D. Adamenko, I. Martynyuk-Lototska, I. Skab, and R. Vlokh, "Effect of ellipticity of optical eigenwaves on the enhancement of efficiency of acousto-optic Bragg diffraction. A case of optically active Pb₅Ge₃O₁₁ crystals," *AIP Adv.*, vol. 12, p. 055130, 2022.
27. O. Mys, D. Adamenko, and R. Vlokh, "Influence of Faraday elliptical birefringence on the acousto-optic diffraction efficiency: a case of isotropic interaction with quasi-longitudinal acoustic waves in KH₂PO₄ crystals," *Ukr. J. Phys. Opt.*, vol. 24, pp. 95-103, 2023.
28. D. Adamenko, I. Klymiv, and R. Vlokh, "Electro- and magneto-induced optical activity in lead germanate type crystals," in *International Scientific Workshop "Oxide materials for electronic engineering – fabrication, properties and application OMEE-2009"*, Lviv Polytechnic National University, Lviv, Ukraine, June 22–26, 2009: book of abstracts and Workshop program, Lviv: Lviv Polytechnic National University, 2009. – p. 166.
29. A. Say, O. Mys, D. Adamenko, A. Grabar, Yu. Vysochanskii, and R. Vlokh, "Optical properties and phase transition in Sn₂P₂S₆ crystals: critical exponents, comparison of optical and dilatometric data," in *2nd Seminar "Properties of Ferroelectric and Superionic Systems"*, Uzhhorod National University, Uzhhorod, Ukraine, 19–20. X. 2009, Uzhhorod: Uzhhorod National University, 2009. – p. 12.
30. D. Adamenko, A. Pogodin, O. Gomonnai, A. Say, O. Mys, Y. Vasylykiv, I. Martynyuk-Lototska, and R. Vlokh, "Anisotropy of acoustic, thermal expansion and optical properties of β-TlInS₂, TlInSe₂ and TlGaSe₂ crystals," in *VIII International seminar "Properties of ferroelectric and superionic systems"*, Uzhhorod National University, Uzhhorod, Ukraine, October 29–30, 2019: Programme and abstracts, Uzhhorod: Uzhhorod National University, 2019. – p. 24.
31. D. Adamenko, A. Say, I. Martynyuk-Lototska, O. Mys, M. Kostyrko, O. Gomonnai, A. Gomonnai, and R. Vlokh, "(x,T)-phase diagram of

- TlIn(S_{1-x}Se_x)₂ solid solutions ($x = 0, 0.02, 0.06, 0.10, 0.15$ and 0.25)," in *IX International seminar "Properties of ferroelectric and superionic systems"*, Uzhhorod National University, Uzhhorod, Ukraine, October 27, 2020: Programme and abstracts, Uzhhorod: Uzhhorod National University, 2020. – pp. 33-34.
32. O. Mys, M. Kostyrko, I. Orykhivskiy, D. Adamenko, I. Skab, and R. Vlokh, "Enhancement of the efficiency of acousto-optic Bragg diffraction due to optical activity," in *X International seminar "Properties of ferroelectric and superionic systems"*, Uzhhorod National University, Uzhhorod, Ukraine, October 26–27, 2021: Programme, Uzhhorod: Uzhhorod National University, 2021. – pp. 44-46.
33. R. Vlokh and D. Adamenko, "Parameters of diffuse ferroelectric phase transitions in the lead germanate-based crystals: studies of optical rotation and dielectric permeability," in *XI International seminar "Properties of ferroelectric and superionic systems"*, Uzhhorod National University, Uzhhorod, Ukraine, October 28, 2022: Programme and Abstracts, Uzhhorod: Uzhhorod National University, 2022. – pp. 7-10.
34. O. Mys, I. Martynyuk-Lototska, D. Adamenko, I. Skab, and R. Vlokh, "Acousto-optic interaction between circularly polarized optical eigenwaves in AgGaS₂ crystals," in *XII International seminar "Properties of ferroelectric and superionic systems"*, Uzhhorod National University, Uzhhorod, Ukraine, April 20, 2023: Programme and Abstracts, Uzhhorod: Uzhhorod National University, 2023. – pp. 27-29.
35. O. Mys, D. Adamenko, I. Martynyuk-Lototska, and R. Vlokh, "Influence of ellipticity of eigen optical waves on the acousto-optic diffraction efficiency at the Faraday effect and electrogyration, induced by spontaneous polarization," in *XII International seminar "Properties of ferroelectric and superionic systems"*, Uzhhorod National University, Uzhhorod, Ukraine, April 20, 2023: Programme and Abstracts, Uzhhorod: Uzhhorod National University, 2023. – pp. 30-33.
36. O. Mys, D. Adamenko, O. Krupych, and R. Vlokh, "The effect of deviation from purely transverse and longitudinal polarization states of acoustic waves on the anisotropy of acousto-optic figure of merit," in *XII International seminar "Properties of ferroelectric and superionic systems"*, Uzhhorod National University, Uzhhorod, Ukraine, April 20, 2023: Programme and Abstracts, Uzhhorod: Uzhhorod National University, 2023. – pp. 34-36.

АНОТАЦІЯ

Адаменко Д.І. Оптична активність та її вплив на акустооптичну взаємодію в фероїчних кристалах. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора фізико-математичних наук за спеціальністю 01.04.05 "Оптика, лазерна фізика". – Інститут фізичної оптики імені О.Г. Влоха Міністерства освіти і науки України, Львів, 2023.

Дисертацію присвячено з'ясуванню механізмів та основних закономірностей виникнення та прояву ефектів оптичної активності акустооптичних середовищ в аспекті їхнього впливу на акустооптичну взаємодію в цих середовищах. З цією метою у ній було розглянуто оптичну активність та її температурну поведінку в сегнетоелектричних кристалах; досліджено магніто-індуковану оптичну активність та температурну поведінку анізотропії в лужно-боратних і халькогенідних сполуках; розглянуто різні типи акустооптичної взаємодії з врахуванням неортогональності акустичних власних хвиль та еліптичності оптичних власних хвиль; проаналізовано різні типи акустооптичної взаємодії за участю циркулярно-поляризованих оптичних власних хвиль в оптично активних кристалах.

В процесі дисертаційного дослідження було отримано наступні результати, що мають наукову новизну:

1. На прикладі кристалів $Pb_5Ge_3O_{11}$ та $\alpha-SiO_2$ показано, що наявність оптичної активності суттєво підвищує коефіцієнт акустооптичної якості за рахунок ненульової еліптичності взаємодіючих оптичних власних хвиль. Встановлено, що таке підвищення відбувається за рахунок того, що еліптичність оптичних власних хвиль наближається до одиниці поблизу оптичної осі, а в співвідношення для ефективного пружнооптичного коефіцієнта можуть включатися додаткові компоненти пружнооптичного тензора.

2. На прикладі кристалів KH_2PO_4 , які не володіють природною оптичною активністю при поширенні оптичних хвиль вздовж оптичної осі, продемонстровано, що індукована зовнішнім магнітним полем фарадеївська еліптичність оптичних власних хвиль призводить до суттєвого зростання коефіцієнта акустооптичної якості, що, у свою чергу, свідчить про принципову можливість керування ефективністю акустооптичної дифракції за допомогою зовнішнього магнітного поля. При цьому робочі значення напруженості зовнішнього магнітного поля залежать від величини ефективного коефіцієнта Фарадея відповідного акустооптичного середовища для певної визначеної геометрії акустооптичної дифракції.

3. Запропоновано метод визначення параметрів розмитих сегнетоелектричних фазових переходів, який базується на поділі досліджуваного зразка на нескінченно велику кількість однорідних елементарних комірок, в кожній з яких фазовий перехід є нерозмитим та характеризується певною локальною температурою Кюрі; гауссівському розподілі локальних температур Кюрі в межах досліджуваного зразка; описі температурної поведінки термодинамічних параметрів при фазових переходах другого роду в рамках теорії Ландау. Метод передбачає інтерполяцію експериментальної температурної залежності оптичної активності, оберненої діелектричної проникності або оберненого коефіцієнта лінійного електрогіраційного ефекту середнім по ансамблю відповідних локальних температурних залежностей. Метод апробований на прикладі кристалів сімейства германату свинцю.

4. Експериментально досліджено фарадеївську оптичну активність в халькогенідних кристалах Tl_3AsS_4 , $AgGaGeS_4$, $AgGaGe_3Se_8$, халькогенідних твердих розчинах $TlIn(S_{1-x}Se_x)_2$ ($x = 0; 0,02; 0,06; 0,10; 0,15; 0,25$) та лужно-боратних стеклах $LiKB_4O_7$, $Li_2B_6O_{10}$, $LiCsB_6O_{10}$.

5. Показано, що за наявності лише циркулярного двозаломлення в оптично активних кристалах акустооптична дифракція проявляється у взаємодії між власними циркулярно-поляризованими оптичними хвилями. На прикладі оптично активних кристалів $AgGaS_2$ для довжини хвилі ізотропної точки 497,4 нм встановлено, що наявність циркулярного двозаломлення призводить до двох типів акустооптичної дифракції – а саме, ізотропної акустооптичної дифракції за участю циркулярно-поляризованих оптичних власних хвиль з однаковими знаками обертань їхніх векторів напруженості електричного поля та анізотропної акустооптичної дифракції, для якої ці знаки є протилежними. На основі аналізу анізотропії швидкостей акустичних хвиль та експериментальних досліджень пружнооптичних коефіцієнтів кристалів $AgGaS_2$ визначено кути зносу та неортогональності власних акустичних хвиль, а також кутову залежність коефіцієнта акустооптичної якості для випадку колінеарної акустооптичної взаємодії з циркулярно-поляризованими оптичними власними хвилями на довжині хвилі ізотропної точки.

6. Отримано аналітичні вирази для деформацій, спричинених акустичними хвилями, з врахуванням неортогональності їх поляризації. На основі аналізу впливу неортогональності поляризацій власних акустичних хвиль на анізотропію коефіцієнта акустооптичної якості для ізотропних акустооптичних взаємодій, що відбуваються в головних кристалографічних площинах кристалів Tl_3AsS_4 , $Li_2B_4O_7$ та $\alpha-TeO_2$, показано, що набір компонент пружнооптичного тензора, який визначає ефективний пружнооптичний коефіцієнт, не змінюється при врахуванні або нехтуванні неортогональністю акустичних хвиль

для цих кристалів, а також кристалів, які характеризуються тензорами жорсткості та пружнооптичними тензорами з аналогічною структурою. Встановлено, що за цих умов при врахуванні або нехтуванні неортогональністю поляризацій акустичних хвиль змінюється співвідношення між компонентами пружнооптичного тензора, які формують ефективний пружнооптичний коефіцієнт.

7. Експериментально досліджено швидкості акустичних хвиль в кристалах TlInSe_2 та $\gamma_1\text{-(Ga}_{0,3}\text{In}_{0,7})_2\text{Se}_3$, що дозволило визначити всі компоненти тензорів жорсткості та пружної податливості, кути зносу та неортогональності власних акустичних хвиль, а також оцінити коефіцієнт акустооптичної якості для випадку ізотропної акустооптичної взаємодії.

8. З використанням експериментально отриманих поляриметричних двомірних карт розподілу приростів кута орієнтації оптичної індикатриси та оптичної різниці фаз для різних температур показано, що політипна структура акустооптичних халькогенідних твердих розчинів $\text{TlIn(S}_{1-x}\text{Se}_x)_2$ ($x = 0; 0,02; 0,06; 0,10; 0,15; 0,25$) проявляється в неоднорідному розподілі параметрів оптичної анізотропії.

При цьому практичне значення отриманих результатів полягає в наступному:

1. Продемонстровано принципову можливість керування ефективною акустооптичною дифракцією за допомогою зовнішнього магнітного поля.

2. Отримані оптимальні геометрії акустооптичних взаємодій можуть бути рекомендовані як робочі геометрії для відповідних акустооптичних пристроїв.

3. Використаний метод визначення параметрів розмитих сегнетоелектричних фазових переходів має помітні практичні переваги перед іншими методами розрахунку температури Кюрі та критичного індексу параметра порядку з огляду на його обґрунтованість, непотрібність побудови додаткових температурних залежностей, об'єктивність вихідних параметрів та можливість визначення області розмиття сегнетоелектричних фазових переходів.

4. Отримані значення ефективних коефіцієнтів Фарадея халькогенідних кристалів Tl_3AsS_4 й $\text{AgGaGe}_3\text{Se}_8$ та халькогенідних твердих розчинів $\text{TlIn(S}_{1-x}\text{Se}_x)_2$ ($x = 0; 0,02; 0,06; 0,10; 0,15; 0,25$) дозволяють віднести їх до одних з найкращих магнітно-невпорядкованих матеріалів для магнітооптичних застосувань.

Ключові слова: оптична активність, електрогірація, ефект Фарадея, термічне розширення, акустооптична взаємодія, коефіцієнт акустооптичної якості, ефективний пружнооптичний коефіцієнт, анізотропія, неортогональність, еліптичність оптичних власних хвиль, фероїки, лужно-боратні стекла, фазові переходи, параметр порядку.

SUMMARY

Adamenko D.I. Optical activity and its influence on acousto-optic interaction in ferroic crystals. – Manuscript.

The thesis for a doctor of physical-mathematical science degree in specialty 01.04.05 "Optics, laser physics". – O.G. Vlokh Institute of Physical Optics of the Ministry of Education and Science of Ukraine, Lviv, 2023.

The dissertation is devoted to elucidating the mechanisms and basic laws of the emergence and manifestation of the effects of optical gyrotropy of acousto-optic environments in terms of their influence on the acousto-optic interaction in these environments.

For this purpose, the optical activity and its temperature behavior in ferroelectric crystals have been considered; the magnetically induced optical gyrotropy and temperature behavior of anisotropy in alkaline-borate and chalcogenide compounds were investigated; the various types of acousto-optic interaction, taking into account the non-orthogonality of acoustic eigenwaves and the ellipticity of optical eigenwaves have been considered; the different types of acousto-optic interaction involving circularly polarized optical eigenwaves in optically active crystals have been analyzed.

In the process of the dissertation research, the following results, which possess scientific novelty, have been obtained:

1. In the example of $\text{Pb}_5\text{Ge}_3\text{O}_{11}$ and $\alpha\text{-SiO}_2$ crystals, it is shown that the presence of optical activity significantly increases the acousto-optic figure of merit due to the non-zero ellipticity of the interacting optical eigenwaves. It was established that such an increase occurs due to the fact that the ellipticity of optical eigenwaves approaches unity near the optical axis, and the relationship for effective elasto-optic coefficient may include additional components of the elasto-optic tensor.

2. Using the example of KH_2PO_4 crystals, which do not possess natural optical activity when optical waves propagate along the optical axis, it was demonstrated that the Faraday ellipticity of optical eigenwaves induced by an external magnetic field leads to a significant increase in the acousto-optic figure of merit, which, in turn, indicates the fundamental possibility of controlling the efficiency of acousto-optic diffraction with the help of an external magnetic field. At the same time, the magnitude of the external magnetic field is determined by the value of the effective Faraday coefficient of the corresponding acousto-optic medium for a specific geometry of acousto-optic diffraction.

3. A method for determining the parameters of diffuse ferroelectric phase transitions is proposed, which is based on the division of the studied sample into an infinitely large number of homogeneous elementary cells, in each of which the phase transition is not diffused and is characterized by a specific local Curie temperature; the Gaussian distribution of local Curie temperatures within the studied sample; description of the temperature behavior of thermodynamic parameters during second-order phase transitions within the Landau theory. The method involves interpolating the experimental temperature dependence of the optical activity, the inverse dielectric permittivity, or the inverse coefficient of the linear electrogyration effect by the average of the ensemble of the corresponding local temperature dependences. The method was tested on the example of crystals of the lead germanate family.

4. Faraday optical activity in Tl_3AsS_4 , AgGaGeS_4 , $\text{AgGaGe}_3\text{Se}_8$ chalcogenide crystals, $\text{TlIn}(\text{S}_{1-x}\text{Se}_x)_2$ ($x = 0; 0.02; 0.06; 0.10; 0.15; 0.25$) chalcogenide solid solutions and LiKB_4O_7 , $\text{Li}_2\text{B}_6\text{O}_{10}$, $\text{LiCsB}_6\text{O}_{10}$ alkaline-borate glasses was experimentally investigated.

5. It has been shown that in the presence of solely circular birefringence in optically active acousto-optic crystals, acousto-optic diffraction is manifested in the interaction between eigen circularly polarized waves. In the example of gyrotropic AgGaS_2 crystals for the wavelength of an isotropic point 497.4 nm, it was established that the presence of circular birefringence leads to two types of acousto-optic diffraction, namely, isotropic acousto-optic diffraction involving circularly polarized optical eigenwaves with the same signs of rotation of their electric field strength vectors and anisotropic acousto-optic diffraction, for which these signs are opposite. Based on the analysis of the anisotropy of acoustic waves velocities and experimental studies of the elasto-optic coefficients of AgGaS_2 crystals, the obliquity angles and non-orthogonality of acoustic eigenwaves, as well as the angular dependence of acousto-optic figure of merit for the case of collinear acousto-optic interaction with circularly polarized optical eigenwaves at the wavelength of the isotropic point, were determined.

6. Considering the non-orthogonality of polarization of acoustic waves, the analytical expressions for the deformations caused by these waves, have been obtained. Based on the analysis of the influence of the non-orthogonality of the polarizations of acoustic eigenwaves on the anisotropy of acousto-optic figure of merit for isotropic acousto-optic interactions occurring in the principle crystallographic planes of Tl_3AsS_4 , $\text{Li}_2\text{B}_4\text{O}_7$ and $\alpha\text{-TeO}_2$ crystals, it has been shown that the set of components of the elastic-optic tensor, which determines the efficient elasto-optic coefficient, does not change when taking into account or neglecting the non-orthogonality for these crystals, as well as crystals characterized by

elastic stiffness tensors and elasto-optic tensors with a similar structure. It was found that under these conditions, considering or neglecting the non-orthogonality of polarizations of the acoustic waves, the ratio between the components of the elasto-optic tensor, which form the efficient elasto-optic coefficient, changes.

7. The velocities of acoustic waves in TlInSe_2 and $\gamma_1\text{-(Ga}_{0.3}\text{In}_{0.7})_2\text{Se}_3$ crystals were experimentally investigated, which made it possible to determine all the components of the stiffness and elastic compliance tensors, the obliquity angles and non-orthogonality of acoustic eigenwaves, and also estimate the acousto-optic figure of merit for the case of isotropic acousto-optic interaction.

8. Using experimentally obtained polarimetric two-dimensional maps of the distribution of increases in the orientation angle of the optical indicatrix and the optical phase difference for different temperatures, it is shown that the polytype structure of $\text{TlIn}(\text{S}_{1-x}\text{Se}_x)_2$ ($x = 0; 0.02; 0.06; 0.10; 0.15; 0.25$) acousto-optical chalcogenide solid solutions is manifested in the inhomogeneous distribution of optical anisotropy parameters.

At the same time, the practical significance of the obtained results is as follows:

1. The fundamental possibility of controlling the efficiency of acousto-optic diffraction using an external magnetic field is demonstrated.

2. The obtained optimal geometries of acousto-optic interactions can be recommended as working geometries for the corresponding acousto-optic devices.

3. The used method of determining the parameters of diffuse ferroelectric phase transitions has noticeable practical advantages over other methods of calculating the Curie temperature and the critical index of the order parameter in view of its validity, the needlessness of constructing additional temperature dependencies, the objectivity of the initial parameters and the possibility of determining the diffusion area of ferroelectric phase transitions.

4. The obtained values of the effective Faraday coefficients of Tl_3AsS_4 and $\text{AgGaGe}_3\text{Se}_8$ chalcogenide crystals and $\text{TlIn}(\text{S}_{1-x}\text{Se}_x)_2$ ($x = 0; 0.02; 0.06; 0.10; 0.15; 0.25$) chalcogenide solid solutions make it possible to classify them as one of the best magnetically disordered materials for magneto-optical applications.

Keywords: optical activity, electrogyration, Faraday effect, thermal expansion, acousto-optic interactions, acousto-optic figure of merit, effective elasto-optic coefficient, anisotropy, non-orthogonality, ellipticity of optical eigenwaves, ferroics, alkaline-borate glasses, phase transitions, order parameter.

ABSTRAIT

Adamenko D.I. Activité optique et son effet sur l'interaction acousto-optique dans les cristaux ferroïques. – Manuscrit.

Mémoire pour l'obtention du diplôme scientifique de Docteur en Sciences Physiques et Mathématiques dans la spécialité 01.04.05 "Optique, physique des lasers". – Institut d'Optique Physique nommé d'après O.G. Vlokh du Ministère de l'Éducation et des Sciences de l'Ukraine, Lviv, 2023.

La thèse est consacrée à l'élucidation des mécanismes et des lois fondamentales de l'émergence et de la manifestation des effets de gyrotropie optique des environnements acousto-optiques en termes de leur influence sur l'interaction acousto-optique dans ces environnements.

Pour cela, l'activité optique et son comportement en température dans les cristaux ferroélectriques ont été considérés; la gyrotropie optique induite magnétiquement et le comportement en température de l'anisotropie dans les composés alcalino-borate et chalcogénure ont été étudiés; les différents types d'interactions acousto-optiques, prenant en compte la non orthogonalité des ondes propres acoustiques et l'ellipticité des ondes propres optiques ont été considérés; les différents types d'interactions acousto-optiques impliquant des ondes propres optiques polarisées circulairement dans des cristaux optiquement actifs ont été analysés.

Au cours de la recherche de la thèse, les résultats suivants, qui possèdent une nouveauté scientifique, ont été obtenus:

1. Dans l'exemple des cristaux de $Pb_5Ge_3O_{11}$ et $\alpha-SiO_2$, il est montré que la présence d'activité optique augmente significativement le facteur de mérite acousto-optique en raison de l'ellipticité non nulle des ondes propres optiques en interaction. Il a été établi qu'une telle augmentation est due au fait que l'ellipticité des ondes propres optiques se rapproche de l'unité près de l'axe optique, et que la relation pour le coefficient élasto-optique effectif peut inclure des composantes supplémentaires du tenseur élasto-optique.

2. En utilisant l'exemple des cristaux KH_2PO_4 , qui ne possèdent pas d'activité optique naturelle lorsque les ondes optiques se propagent le long de l'axe optique, il a été démontré que l'ellipticité de Faraday des ondes propres optiques induites par un champ magnétique externe entraîne une augmentation significative de l'acoustique figure de mérite optique, qui, à son tour, indique la possibilité fondamentale de contrôler l'efficacité de la diffraction acousto-optique à l'aide d'un champ magnétique externe. Dans le même temps, l'amplitude du champ magnétique externe est déterminée par la valeur du coefficient de Faraday effectif du milieu acousto-optique correspondant pour une géométrie spécifique de diffraction acousto-optique.

3. Une méthode de détermination des paramètres des transitions de phase ferroélectriques diffuses est proposée, basée sur la division de l'échantillon étudié en un nombre infiniment grand de cellules élémentaires homogènes, dans chacune desquelles la transition de phase n'est pas diffusée et se caractérise par une température de Curie locale spécifique; la distribution gaussienne des températures de Curie locales au sein de l'échantillon étudié; description du comportement en température des paramètres thermodynamiques lors des transitions de phase du second ordre dans le cadre de la théorie de Landau. La méthode consiste à interpoler la dépendance expérimentale en température de l'activité optique, la permittivité diélectrique inverse ou le coefficient inverse de l'effet d'électrogiration linéaire par la moyenne de l'ensemble des dépendances locales correspondantes en température. La méthode a été testée sur l'exemple de cristaux de la famille des germanates de plomb.

4. L'activité optique de Faraday dans les cristaux de chalcogénure Tl_3AsS_4 , $AgGaGeS_4$, $AgGaGe_3Se_8$, les solutions solides de chalcogénure $TlIn(S_{1-x}Se_x)_2$ ($x = 0; 0.02; 0.06; 0.10; 0.15; 0.25$) et les verres alcalino-borate $LiKB_4O_7$, $Li_2B_6O_{10}$, $LiCsB_6O_{10}$ a été étudiée expérimentalement.

5. Il a été démontré qu'en présence d'une biréfringence uniquement circulaire dans des cristaux acousto-optiques optiquement actifs, la diffraction acousto-optique se manifeste dans l'interaction entre des ondes propres polarisées circulairement. Dans l'exemple des cristaux gyrotropes $AgGaS_2$ pour la longueur d'onde d'un point isotrope 497.4 nm, il a été établi que la présence d'une biréfringence circulaire conduit à deux types de diffraction acousto-optique, à savoir la diffraction acousto-optique isotrope impliquant des ondes propres optiques polarisées circulairement avec le mêmes signes de rotation de leurs vecteurs d'intensité de champ électrique et de diffraction acousto-optique anisotrope, pour lesquels ces signes sont opposés. Basé sur l'analyse de l'anisotropie des vitesses des ondes acoustiques et des études expérimentales des coefficients élasto-optiques des cristaux $AgGaS_2$, des angles d'obliquité et de la non-orthogonalité des ondes propres acoustiques, ainsi que de la dépendance angulaire du facteur de mérite acousto-optique pour le cas d'interaction acousto-optique colinéaire avec des ondes propres optiques polarisées circulairement à la longueur d'onde du point isotrope, ont été déterminés.

6. Compte tenu de la non orthogonalité de polarisation des ondes acoustiques, les expressions analytiques des déformations provoquées par ces ondes ont été obtenues. Basé sur l'analyse de l'influence de la non-orthogonalité des polarisations des ondes propres acoustiques sur l'anisotropie de la figure de mérite acousto-optique pour les interactions acousto-optiques isotropes se produisant dans les principaux plans cristallographiques des cristaux de Tl_3AsS_4 , $Li_2B_4O_7$ et $\alpha-TeO_2$, il a été montré que l'ensemble des composantes du tenseur élasto-optique, qui détermine le coefficient élasto-optique effectif, ne change pas lorsqu'on

prend en compte ou néglige la non-orthogonalité de ces cristaux, ainsi que des cristaux caractérisés par des tenseurs de rigidité et tenseurs élasto-optiques de structure similaire. Il a été constaté que dans ces conditions, en considérant ou en négligeant la non-orthogonalité des polarisations des ondes acoustiques, le rapport entre les composantes du tenseur élasto-optique, qui forment le coefficient élasto-optique effectif, change.

7. Les vitesses des ondes acoustiques dans les cristaux TlInSe_2 et γ_1 - $(\text{Ga}_{0.3}\text{In}_{0.7})_2\text{Se}_3$ ont été étudiées expérimentalement, ce qui a permis de déterminer toutes les composantes des tenseurs de rigidité et de conformité élastique, les angles d'obliquité et la non-orthogonalité de ondes propres acoustiques, et estimer également le facteur de mérite acousto-optique pour le cas d'interaction acousto-optique isotrope.

8. À l'aide de cartes bidimensionnelles polarimétriques obtenues expérimentalement de la distribution des augmentations de l'angle d'orientation de l'indicateur optique et de la différence de phase optique pour différentes températures, il est montré que la structure polytypique de $\text{TlIn}(\text{S}_{1-x}\text{Se}_x)_2$ ($x = 0; 0.02; 0.06; 0.10; 0.15; 0.25$) les solutions solides de chalcogénure acousto-optique se manifestent par la distribution inhomogène des paramètres d'anisotropie optique.

Dans le même temps, la signification pratique des résultats obtenus est la suivante:

1. La possibilité fondamentale de contrôler l'efficacité de la diffraction acousto-optique à l'aide d'un champ magnétique externe est démontrée.

2. Les géométries optimales obtenues des interactions acousto-optiques peuvent être recommandées comme géométries de travail pour les dispositifs acousto-optiques correspondants.

3. La méthode utilisée pour déterminer les paramètres des transitions de phase ferroélectriques diffuses présente des avantages pratiques notables par rapport aux autres méthodes de calcul de la température de Curie et de l'indice critique du paramètre d'ordre en raison de sa validité, de l'inutilité de construire des dépendances de température supplémentaires, de l'objectivité des paramètres initiaux et la possibilité de déterminer l'aire de diffusion des transitions de phase ferroélectriques.

4. Les valeurs obtenues des coefficients de Faraday effectifs des cristaux de chalcogénure Tl_3AsS_4 et $\text{AgGaGe}_3\text{Se}_8$ et des solutions solides de chalcogénure $\text{TlIn}(\text{S}_{1-x}\text{Se}_x)_2$ ($x = 0; 0.02; 0.06; 0.10; 0.15; 0.25$) permettent de les classer comme un des meilleurs matériaux magnétiquement désordonnés pour les applications magnéto-optiques.

Mots clés: activité optique, électrogyration, effet Faraday, dilatation thermique, interactions acousto-optiques, facteur de mérite acousto-optique, coefficient élasto-optique effectif, anisotropie, non orthogonalité, ellipticité des ondes propres optiques, ferroïques, verres alcalino-borate, transitions de phase, paramètre d'ordre.