

Східний № 53
06.11.2023 р.

ВІДГУК
офіційного опонента
на дисертаційну роботу Адаменка Дмитра Ігоровича
«Оптична активність та її вплив на акустооптичну взаємодію в фероїчних кристалах»,
представлену на здобуття наукового ступеня
доктора фізико-математичних наук
за спеціальністю 01.04.05 – оптика, лазерна фізика

Акустооптична дифракція займає гідне місце серед найцікавіших ефектів параметричної оптики у зв'язку з різноманітністю проявів цього явища і відповідною можливістю застосування у широкому спектрі пристроїв. Одним з найважливіших параметрів акустооптичної дифракції є коефіцієнт акустооптичної якості, від якого залежить ефективність дифракції, а отже, й потужність акустичного сигналу, необхідна для досягнення потрібного рівня сигналу дифрагованого променя. *Актуальним* завданням є зменшення енергоспоживання акустооптичних пристроїв. Слід зазначити, що коефіцієнт акустооптичної якості є комплексним параметром, який визначається такими матеріальними константами як ефективний пружнооптичний коефіцієнт, швидкість поширення акустичної хвилі, що у свою чергу визначається комбінацією пружних модулів, показниками заломлення та густиною матеріалу. Саме тому, попередні роботи інших авторів націлені на підвищення значення коефіцієнта акустооптичної якості велись у напрямку пошуку таких геометрій акустооптичної взаємодії, у яких завдяки анізотропії можна було б суттєво підвищити значення цього коефіцієнта. При цьому очевидно, що зростання коефіцієнта акустооптичної якості можна досягнути за рахунок зменшення швидкості акустичних хвиль. Однак, такий підхід супроводжується негативними наслідками, які проявляються у зменшенні швидкодії акустооптичних пристроїв. Тому основна увага дослідників була спрямована на збільшення ефективного пружнооптичного коефіцієнта шляхом врахування анізотропії пружнооптичного ефекту. Автор даної дисертаційної роботи поставив перед собою завдання дослідити характер залежності значення ефективного пружнооптичного коефіцієнта від поляризації оптичних хвиль, а, відтак, її вплив на ефективність дифракції Брегга, якщо вона співпадає з поляризацією власних оптичних хвиль в оптично активних кристалах. Саме тому тема дисертаційної роботи Адаменка Дмитра Ігоровича «Оптична активність та її вплив на акустооптичну взаємодію в фероїчних кристалах» *є актуальною*.

Дисертаційна робота викладена на 11 авторських аркушах, вона містить 30 таблиць та 143 рисунки і складається з анотації, вступу, п'яти розділів, висновків та списку використаної літератури.

У **вступі** обґрунтовано актуальність теми, визначено мету та завдання дослідження, сформульовано наукову новизну та практичну цінність отриманих результатів та викладено інші обов'язкові положення, що характеризують роботу за формальними ознаками.

У першому розділі представлено результати дослідження критичної поведінки оптичної активності в кристалах сімейства германату свинцю та твердих розчинах на їхній основі при власному розмитому сегнетоелектричному фазовому переході. Дисертантом розроблено метод визначення критичного індексу температурної поведінки параметра порядку на основі аналізу експериментально отриманих температурних залежностей спонтанної і індукованої електрогірації при розмитих фазових переходах. В дисертаційній роботі метод успішно апробований на низці твердих розчинів кристалу германату свинцю і кристалах $Pb_5Ge_3O_{11}$ легованих різними елементами. У всіх цих кристалах спостерігалися розмиті фазові переходів.

Другий розділ дисертації, в основному, присвячений дослідженню оптичної активності Фарадея в кристалах Tl_3AsS_4 , $AgGaGe_3Se_8$, $AgGaGeS_4$ та твердих розчинах $TlIn(S_{1-x}Se_x)_2$ ($x = 0; 0,02; 0,06; 0,10; 0,15; 0,25$). На основі досліджених магнітооптичних параметрів халькогенідних кристалів Tl_3AsS_4 , $AgGaGe_3Se_8$ та твердих розчинів $TlIn(S_{1-x}Se_x)_2$ ($x = 0; 0,02; 0,06; 0,10; 0,15; 0,25$) встановлено, що їх можна віднести до найперспективніших магнітно-невпорядкованих матеріалів для магнітооптики. Крім цього, в результаті комплексного дослідження температурної поведінки анізотропії акустичних, пружних та дилатометричних параметрів халькогенідних кристалів $TlInSe_2$ було встановлено, що у цих кристалах на температурній фазовій діаграмі спостерігаються декілька фазових переходів із достатньо широкими температурними областями співіснування фаз. На основі експериментально отриманих даних поляриметричних двомірних мап 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.

У третьому розділі представлено результати аналізу впливу неортогональності поляризації власних акустичних хвиль на ефективний пружнооптичний коефіцієнт при акустооптичній взаємодії. Отримано аналітичні вирази для деформацій, спричинених акустичними хвилями, з врахуванням неортогональності їхньої 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 $\alpha\text{-TeO}_2$, 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. У цьому розділі також представлено результати експериментальних досліджень швидкостей 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.

У **четвертому розділі** представлено результати дослідження акустооптичної взаємодії в оптично активних кристалах на довжині хвилі ізотропної точки. Показано, що у такому випадку акустооптична взаємодія відбуватиметься між циркулярно поляризованими оптичними хвилями за участі акустичної хвилі. 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.

У **п'ятому розділі** 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. 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.

Всі найважливіші результати дисертації перераховано у висновках до розділів та підсумовано в **основних результатах та висновках** до дисертації.

Обґрунтованість та достовірність отриманих в роботі результатів та висновків забезпечується використанням сучасних добре апробованих експериментальних методик та методів досліджень (акустооптичних, поляриметричних, акустичних, дилатометричних, та ін.), а також використанням симетричних умов та принципів кристалофізики тензорного апарату, методів статистичної фізики, рівнянь Крістоффеля як основних рівнянь теорії поширення акустичних хвиль та основних співвідношень акустооптики.

Найважливішими результатами, що визначають **наукову новизну** дисертаційної роботи Адаменка Д.І. є:

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 велику кількість однорідних елементарних комірок, в кожній з яких фазовий перехід є нерозмитим та характеризується певною локальною температурою Кюрі; гаусовому 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 їхньої 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 $\alpha\text{-TeO}_2$, показано, що набір компонент пружнооптичного тензора, який визначає ефективний пружнооптичний коефіцієнт, не змінюється при врахуванні та без неортогональності 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 неортогональності поляризацій акустичних хвиль змінюється співвідношення між компонентами пружнооптичного тензора, які формують ефективний пружнооптичний коефіцієнт у порівнянні з тим, що має місце за відсутності неортогональності поляризацій акустичних хвиль.

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 $\text{TlIn}(\text{S}_{1-x}\text{Se}_x)_2$ ($x = 0; 0,02; 0,06; 0,10; 0,15; 0,25$) проявляється в неоднорідному розподілі параметрів оптичної анізотропії.

Результати, викладені в дисертації, мають **практичне** значення, оскільки вони можуть бути безпосередньо використані для підвищення ефективності акустооптичної дифракції; керування ефективністю акустооптичної дифракції за допомогою зовнішнього магнітного поля та отримання оптимальних геометрії акустооптичних взаємодій для робочих геометрії відповідних акустооптичних пристроїв.

Поряд з цим до роботи Адаменка Д.І. можна зробити такі **зауваження**:

1. В роботі відсутній аналіз впливу еліптичності власних хвиль при анізотропній дифракції в кристалах KN_2PO_4 при індукуванні оптичної активності магнітним полем та SiO_2 за умови існування природньої оптичної активності. Крім цього при розгляді дифракції в кристалах германату свинцю враховувалась еліптичність лише падаючої оптичної хвилі. Слід було детальніше пояснити чи буде впливати на ефективний пружнооптичний коефіцієнт еліптичність дифрагованої хвилі. Це зауваження стосується й ізотропної дифракції, коли кути дифракції не є малими.

2. Наступне зауваження стосується точності формулювання положень, що визначають цінність роботи. Зокрема, у першому положенні практичного значення сказано: "Продемонстровано принципову можливість керування ефективністю акустооптичної дифракції за допомогою зовнішнього магнітного поля." Незрозуміло, що саме автор хотів підкреслити фразою про "принципову можливість". Можна, наприклад, подумати, що мається на увазі те, що можливість є принциповою, бо вона в принципі існує, але непридатна для використання або навпаки, мається на увазі, що це принципово нова можливість, про яку раніше не було відомо. У такому разі це положення можна б сформулювати наступним чином: "Продемонстровано принципову нову можливість керування ефективністю акустооптичної дифракції, а саме, за допомогою зовнішнього магнітного поля."

Подібне зауваження стосується пункту 3 «Практичного значення отриманих результатів», який сформульовано наступним чином: «3. Використаний метод визначення параметрів розмитих сегнетоелектричних фазових переходів має помітні практичні переваги перед іншими методами розрахунку температури Кюрі та критичного індексу параметра порядку...». Фраза «Використаний метод...» провокує запитання стосовно того чи даний метод розроблений та запропонований автором чи був раніше повідомлений в літературі іншими авторами.

Точність формулювання положень наукової новизни та практичної цінності є важливою, бо саме вони визначають вагу дисертаційної роботи. Якщо прочитати усю дисертацію, то стає зрозуміло, що у першому випадку метод розроблено та запропоновано автором, а у другому – мається на увазі саме “принципово нова можливість”. Однак, варто наголосити, що положення наукової новизни та практичної цінності - це візитна картка дисертації, яка формує уявлення про дисертацію ще до її повного прочитання так, щоб читач міг зрозуміти чи дана дисертація йому цікава.

3. Деякі заголовки розділів є не зовсім вдалимими. Зокрема, назва першого розділу анонсує розгляд проблеми "Оптична активність та її температурна поведінка в сегнетоелектричних кристалах", а фактично усі підпункти розділу присвячені лише кристалом $Pb_5Ge_3O_{11}$, легованим певними домішками, що значно вужче, ніж те, що передбачає назва розділу. Назва другого розділу містить фразу "...температурна поведінка анізотропії в лужно-боратних і халькогенідних сполуках...", а тому провокує запитання: "Анізотропії чого?"

4. Англійський переклад Анотації граматично не зовсім коректний. Замість терміну SUMMARY загальноприйнятим є термін ABSTRACT, замість "acousto-optic environments" – "acousto-optic media". Англійський термін "environment" вживається в розумінні оточуючого навколишнього середовища. Термін, що відповідає "субстанції, яка є носієм певних властивостей" перекладається як "medium": "optical medium, liquid medium, solid medium...". Другий абзац, який починається фразою "For this purpose, it considered", граматично некоректний і тому весь абзац складний для читання.

Проте зазначені зауваження не зменшують наукової і практичної цінності роботи в цілому. Дисертаційна робота Адаменка Д.І. є завершеною науковою працею, що вирішує наукову проблему акустооптичної взаємодії в оптично активних середовищах з врахуванням еліптичної та циркулярної поляризації власних оптичних хвиль. Аналіз і узагальнення отриманих автором результатів є добрим підґрунтям для їхнього використання для потреб оптоелектроніки.

Реферат дисертації повністю відповідає змісту і достатньо повно відображає основні результати роботи. Дисертація добре оформлена, а стиль викладу матеріалів та висновків забезпечує доступність їхнього сприйняття.

Основні результати дисертації в повному обсязі опубліковані в авторитетних фахових журналах, неодноразово доповідались на наукових конференціях та семінарах, за кількістю та якістю відповідають чинним вимогам до докторських дисертацій. Ознак академічного плагіату в дисертації не виявлено.

Таким чином, вважаю, що дисертаційна робота «Оптична активність та її вплив на акустооптичну взаємодію в фероїчних кристалах» за своїм науковим рівнем, актуальністю виконаних досліджень, новизною наукових результатів, практичним значенням та аргументованістю висновків відповідає вимогам Порядку присудження та позбавлення наукового ступеня доктора наук, затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 17 листопада 2021 року № 1197, а її автор Адаменко Дмитро Ігорович є сформованим спеціалістом, який заслуговує на присудження йому наукового ступеня доктора фізико-математичних наук за спеціальністю 01.04.05 – оптика, лазерна фізика.

Офіційний опонент,

Провідний науковий співробітник
Наукового центру Сухопутних військ
Національної академії сухопутних
військ ім. гетьмана Петра Сагайдачного,
доктор фізико-математичних наук,
старший науковий співробітник

Юрій НАСТИШИН

Підпис Ю. НАСТИШИНА засвідчую

Заступник начальника
Національної академії сухопутних військ
імені гетьмана Петра Сагайдачного
з наукової роботи,
доктор технічних наук, професор
полковник

В. ГРАБЧАК

“ 06 ”

2023