

## 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

Дисертаційна робота Адаменка Д.І. присвячена одній з важливих наукових проблем фізичної оптики – проблемі керування оптичним випромінюванням. Як відомо, керування оптичним випромінюванням, в основному, здійснюється на основі ефектів параметричної оптики, а саме електро-, магніто-, акустооптики. Ці фізичні явища дозволяють здійснювати як модуляцію оптичного випромінювання за різними його параметрами, так і його просторове відхилення. Саме акустооптична (АО) дифракція світла є найзручнішим методом сканування лазерним променем з можливістю одночасної його модуляції. На даний час на основі явища АО функціонують такі пристрої як дефлектори оптичного випромінювання, модулятори, модулятори добротності лазерного випромінювання, АО перестроювані фільтри, інтегрально-оптичні пристрої тощо. Слід зауважити, що однією з центральних проблем їх конструювання і вибору матеріалу АО елемента є енергоспоживання цих пристроїв. Тому 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 акустичної хвилі (АХ) – а отже, й зниження енергоспоживання АО приладів і запобігання нагрівання АО комірок та ймовірності руйнування АО матеріалів. В роботі Адаменка Дмитра Ігоровича запропоновано вирішення цієї проблеми за рахунок врахування еліптичності власних оптичних хвиль в оптично активних кристалах і кристалах з індукованою оптичною активністю, що в свою чергу приводить до зростання ефективного пружнооптичного (ПО) коефіцієнта, коефіцієнта АО якості, і як наслідок до зростання ефективності брегівської АО дифракції. Тому роботу Адаменка Д.І. «Оптична активність та її вплив на

акустооптичну взаємодію в фероїчних кристалах» без сумніву слід вважати **актуальною**.

**Актуальність** роботи також обґрунтовується тісним зв'язком із державними науковими програмами і темами. Практично усі результати дисертації були отримані у рамках наступних науково-дослідних робіт за проектами Міністерства освіти і науки України:

- 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.).

**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.

Дисертаційна робота присвячена з'ясуванню 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.

Для досягнення поставленої мети у **першому розділі** був проведений детальний аналіз критичної поведінки спонтанної і індукованої електрогірації в кристалах сімейства германату свинцю та в твердих розчинах на їх основі при розмитих сегнетоелектричних фазових переходах. Як наслідок автором був запропонований релевантний метод визначення критичних індексів при розмитих фазових переходах для яких ця проблема не була остаточно вирішена до даного часу.

У **другому розділі** експериментально визначені магнітооптичні параметри, а саме стала Верде і коефіцієнт ефекту Фарадея ряду кристалів, до яких відносяться кристали  $Tl_3AsS_4$ ,  $AgGaGe_3Se_8$ ,  $AgGaGeS_4$  та тверді розчини  $TlIn(S_{1-x}Se_x)_2$  ( $x = 0; 0,02; 0,06; 0,10; 0,15; 0,25$ ), а також лужно-боратних стекол  $LiKB_4O_7$ ,  $Li_2B_6O_{10}$  та  $LiCsB_6O_{10}$ . Встановлено, що халькогенідні кристали  $Tl_3AsS_4$ ,  $AgGaGe_3Se_8$  та тверді розчини  $TlIn(S_{1-x}Se_x)_2$  ( $x = 0; 0,02; 0,06; 0,10; 0,15; 0,25$ ) можна вважати одними з найкращих магнітно-невпорядкованих матеріалів для магнітооптичних застосувань. Крім цього, з використанням експериментально отриманих поляриметричних двомірних карт розподілу приростів кута орієнтації оптичної індикатрисы 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** проаналізовано АО взаємодії з врахуванням неортогональності АХ для отримання аналітичних співвідношень для компонент тензора деформацій, що викликані АХ з довільним напрямком хвильового вектора. Аналітичні співвідношення, отримані в результаті

застосування цієї методики надалі використані для послідовного аналізу анізотропії коефіцієнта АО якості. Для АО взаємодій, що відбуваються в головних кристалографічних площинах проаналізований вплив відхилень поляризації власних АХ від чисто поздовжнього та чисто поперечного станів на анізотропію коефіцієнта АО якості. Представлено результати експериментальних досліджень швидкостей АХ в кристалах  $\text{TlInSe}_2$  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 АО якості для випадку ізотропної АО взаємодії.

У четвертому розділі дисертаційної роботи наведено аналіз АО взаємодії за участі оптичних циркулярно поляризованих хвиль в оптично активних кристалах на довжині хвилі ізотропної точки. У цьому розділі показано, що в оптично активних кристалах АО дифракція проявляється у взаємодії між власними циркулярно-поляризованими оптичними хвилями. На прикладі оптично активних кристалів  $\text{AgGaS}_2$  для довжини хвилі ізотропної точки 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. Крім цього, на основі аналізу анізотропії швидкостей АХ та експериментальних досліджень ПО коефіцієнтів кристалів  $\text{AgGaS}_2$  визначено кути зносу та неортогональності власних АХ, а також кутову залежність коефіцієнта АО якості для випадку колінеарної АО взаємодії з циркулярно-поляризованими оптичними власними хвилями на довжині хвилі ізотропної точки.

У п'ятому розділі дисертаційної роботи, який можна вважати визначальним, наведені результати дослідження впливу еліптичності власних хвиль на ефективний ПО коефіцієнт та коефіцієнт АО якості. При цьому, 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 АО 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 ПО коефіцієнта можуть включатися додаткові компоненти ПО тензора. Крім цього, на прикладі кристалів  $\text{KN}_2\text{PO}_4$ , які не володіють природною активністю при поширенні оптичних хвиль вздовж оптичної осі, продемонстровано, що індукована зовнішнім магнітним полем фарадеївська еліптичність оптичних власних хвиль призводить до суттєвого зростання коефіцієнта АО якості, що, у свою чергу, свідчить про принципову можливість керування ефективністю АО дифракції за допомогою зовнішнього магнітного поля.

На мій погляд, до **найважливіших результатів дисертаційної роботи** Адаменка Д.І., які становлять **наукову новизну** слід віднести:

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 АО 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 ПО коефіцієнта можуть включатися додаткові компоненти ПО тензора.
2. На прикладі кристалів  $\text{KN}_2\text{PO}_4$ , 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 АО якості, 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 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. 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  $\text{AgGaS}_2$  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  $\text{AgGaS}_2$  визначено кути зносу та неортогональності власних АХ, а також кутову залежність коефіцієнта АО якості для випадку

колінеарної АО взаємодії з циркулярно-поляризованими оптичними власними хвилями на довжині хвилі ізотропної точки.

5. Отримано аналітичні вирази для деформацій, спричинених АХ, з врахуванням неортогональності їх поляризації. На основі аналізу впливу неортогональності поляризацій власних АХ на анізотропію коефіцієнта АО якості для ізотропних АО взаємодій, що відбуваються в головних кристалографічних площинах кристалів  $Tl_3AsS_4$ ,  $Li_2B_4O_7$  та  $\alpha-TeO_2$ , показано, що набір компонент ПО тензора, який визначає ефективний ПО коефіцієнт, не змінюється при врахуванні або нехтуванні неортогональністю АХ 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 АХ змінюється співвідношення між компонентами ПО тензора, які формують ефективний ПО коефіцієнт.

До найсуттєвіших результатів дисертаційної роботи, які мають **практичне** значення слід віднести наступні:

1. Продемонстровано принципову можливість керування ефективністю АО дифракції за допомогою зовнішнього магнітного поля.
2. Отримані оптимальні геометрії АО взаємодій, за рахунок врахування еліптичності власних оптичних хвиль, можуть бути рекомендовані як робочі геометрії для відповідних АО пристроїв.

**Обґрунтованість** наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих у дисертації та їх **достовірність** базується на використанні апробованих експериментальних методів поляриметрії зображення, однопроменевої поляриметрії, дилатометрії, а також методу Діксона-Коена та ехо-імпульсного методу, а також на теоретичному аналізі, який здійснювався з використанням тензорного апарату, симетрійних умов та принципів кристалофізики; методів статистичної фізики; рівнянь оптичної індикатриси, збуреної зовнішніми полями внаслідок відповідних ефектів

параметричної оптики; рівнянь Крістоффеля, як основних рівнянь теорії поширення АХ; співвідношень, які визначають ефективність АО взаємодії.

Таким чином з точки зору **наукової новизни та практичного значення** дисертаційна робота Адаменка Дмитра Ігоровича може вважатися завершеною науковою роботою. В ній вирішена проблема акустооптичної взаємодії в оптично активних середовищах з врахуванням еліптичної та циркулярної поляризації власних оптичних хвиль, а також неортогональності поляризації власних акустичних хвиль та показано, що ефективністю акустооптичної дифракції можна керувати зовнішнім магнітним полем. Результати дисертаційної роботи повністю викладені в 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.

**На жаль, робота містить окремі недоліки і дискусійні моменти, до яких можна віднести наступні.**

1. Доцільно було б навести в дисертації більше експериментальних підтверджень передбачених ефектів. Експериментально підтверджено лише збільшення ефективного ПО коефіцієнта за рахунок оптичної активності в кристалах  $Pb_5Ge_3O_{11}$ . Можна було б провести, наприклад, експерименти з кристалами кварцу, чи з кристалами  $KH_2PO_4$  при дії магнітного поля.

2. Режим дифракції Бреґга, який розглянутий у роботі, очевидно є тим режимом АО взаємодії, який використовується на практиці. Однак, досить часто при експериментальних дослідженнях проявляється або змішаний режим дифракції, або режим дифракції Рамана-Ната. В роботі цьому не приділена увага. Тому виникає запитання: яким буде вплив еліптичності власних хвиль на різні порядки дифракції в режимі Рамана-Ната?

3. У тексті дисертацій зустрічаються деякі граматичні помилки, описки і неточності.

Однак, вказані недоліки мають частковий характер і не впливають на обґрунтованість, виваженість основних результатів, викладених в



дисертаційній роботі, а також не зменшують її наукової і практичної цінності. Результати роботи, основні наукові положення і висновки повністю представлені в наукових публікаціях, рекомендованих Міністерство освіти і науки України, а також у відомих закордонних журналах та апробовані на конференціях високого рівня. Реферат дисертації адекватно відображає структуру і зміст роботи. Ознаки академічного плагіату в дисертації відсутні.

#### **Висновок.**

Представлена дисертаційна робота Адаменка Дмитра Ігоровича «Оптична активність та її вплив на акустооптичну взаємодію в фероїчних кристалах» є завершеною науковою роботою, яка за об'ємом виконаних експериментальних досліджень, новизною, достовірністю, науковою і практичною цінністю і оформленням поданої на розгляд роботи повністю відповідають вимогам Порядку присудження та позбавлення наукового ступеня доктора наук, затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від від 17 листопада 2021 р. № 1197, зокрема пп. 7, 9, а її автор Адаменко Дмитро Ігорович заслуговує присудження йому наукового ступеня доктора фізико-математичних наук за спеціальністю 01.04.05 – оптика, лазерна фізика.

#### **Офіційний опонент:**

Доктор фізико-математичних наук,  
професор, завідувач кафедри  
фізичної та біомедичної електроніки  
Львівського національного університету  
імені Івана Франка



**Олег БОРДУН**

Підпис Олега БОРДУНА підтверджую

Вчений секретар  
ЛНУ ім. Івана Франка,  
доцент



**Ольга ГРАБОВЕЦЬКА**