

ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу

Адаменка Дмитра Ігоровича "Оптична активність та її вплив на акустооптичну взаємодію в фероїчних кристалах", представленої на здобуття наукового ступеня доктора фіз.-мат. наук за спеціальністю 01.04.05 – оптика, лазерна фізика.

Дисертаційна робота Дмитра Ігоровича Адаменка присвячена дослідженням в області акустооптики, а саме вирішенню проблеми акустооптичної взаємодії в оптично активних середовищах із врахуванням еліптичної та циркулярної поляризації власних оптичних хвиль, а також неортогональності поляризації власних акустичних хвиль.

Актуальність виконаних досліджень з одного боку пов'язана з розв'язанням досить складної картини взаємодії еліптично-поляризованих оптичних хвиль (дифракції Бреґґа на просторовому розподілі діелектричної проникливості, що виникає завдяки акустичній хвилі в анізотропному середовищі), а з іншого боку пояснюється практичною необхідністю збільшення ефективності акустооптичної взаємодії, та із необхідністю зменшення потужності акустичного сигналу і підвищенню стійкості акустооптичних комірок. Зокрема, перед початком досліджень нез'ясованими були питання, яким чином еліптичність власних оптичних хвиль впливає на ефективний пружнооптичний коефіцієнт і коефіцієнт акустооптичної якості, чи може індукована оптична активність впливати на ці параметри, та як аналіз вказаних особливостей акустооптичної взаємодії може бути використаним для підвищення її ефективності. Саме тому завдання, які вирішені в процесі виконання дисертаційної роботи Адаменка Д.І. є актуальними та новітніми.

Дисертація складається із анотації, вступу, п'яти розділів, висновків та списку цитованої літератури. Кожен розділ завершується висновками.

Вступ містить усі обов'язкові пункти, які сформульовано чітко, предметно та відповідно до діючих вимог.

В першому розділі дисертації розглянута оптична активність в сегнетоелектричних кристалах при розмитих фазових переходах та її температурна залежність. Розгляд проведено на прикладі кристалів сімейства германату свинцю, які далі у п'ятому розділі використовуються для дослідження акустооптичної взаємодії. Показано, що проблема точного визначення критичного індексу спонтанної електричної поляризації β як параметру порядку, що полягає в неоднозначності вибору температури Кюрі у випадку розмитого сегнетоелектричного фазового переходу, може бути вирішена з використанням методики визначення параметрів розмитих сегнетоелектричних фазових переходів, яка базується на: узагальненій моделі розмитих фазових переходів, в рамках якої досліджуваний зразок можна розділити на нескінченно велику кількість однорідних

елементарних комірок (доменів) таким чином, щоб фазовий перехід у кожній з цих комірок був нерозмитим та характеризувався певною локальною температурою Кюрі; гауссівському розподілі локальних температур Кюрі в межах досліджуваного зразка, де роль математичного очікування відіграє так звана середня температура Кюрі, яка приймається за температуру фазового переходу та характеризує стан, коли половина досліджуваного зразка зазнає переходу; загальному співвідношенні для параметра порядку власного сегнетоелектричного фазового переходу другого роду, яке записується для кожної з однорідних елементарних комірок. В роботі цей метод успішно апробований на твердих розчинах кристалів германату свинцю і кристалів германату свинцю з легуванням, з використанням експериментально отриманих результатів з температурних залежностей оптичної активності і індукованої електрогірації.

Другий розділ дисертації присвячено дослідженню ефекту Фарадея та температурної поведінки анізотропії оптичних, акустичних і термічних параметрів в лужно-боратних і халькогенідних сполуках. Ефективні коефіцієнти Фарадея та константи Верде були експериментально визначені для двовісних халькогенідних кристалів Tl_3AsS_4 , $AgGaGe_3Se_8$, $AgGaGeS_4$ та твердих розчинів $TlIn(S_{1-x}Se_x)_2$ ($x = 0; 0,02; 0,06; 0,10; 0,15; 0,25$) а також для лужно-боратних стекел $LiKB_4O_7$, $Li_2B_6O_{10}$ 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. У цьому розділі увага також була присвячена дослідженню акустичних і дилатометричних властивостей кристалів, у тому числі при фазових переходах. Слід зауважити, що ефект Фарадея використовується у дисертаційній роботі при аналізі впливу магнітоіндукованої оптичної активності на коефіцієнт акустооптичної якості. Що ж стосується дилатометричних досліджень, то вони можуть вважатись супутніми і характеризують основні властивості акустооптичних матеріалів.

У третьому розділі дисертації проаналізовано акустооптичну взаємодію з врахуванням неортогональності акустичних хвиль. Для цього були отримані аналітичні співвідношення, які можуть бути використані для послідовного аналізу анізотропії коефіцієнта акустооптичної якості. На основі аналізу впливу неортогональності поляризації 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 поляризації акустичних хвиль змінюється співвідношення між компонентами пружнооптичного тензора, які формують ефективний пружнооптичний коефіцієнт. Експериментально досліджено швидкості акустичних хвиль в кристалах $TlInSe_2$ та $\gamma_1-(Ga_{0,3}In_{0,7})_2Se_3$, 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.

У **четвертому розділі** дисертації розглянуто акустооптичну взаємодію за участю циркулярно-поляризованих оптичних хвиль в оптично активних кристалах. Проаналізовано акустооптичну взаємодію в оптично активних кристалах $AgGaS_2$ на довжині оптичної хвилі ізотропної точки. Встановлено, що за умови врахування циркулярного двозаломлення, викликаного оптичною активністю, в цих кристалах можна виділити два типи акустооптичної дифракції: ізотропну та анізотропну. 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.

П'ятий розділ дисертації присвячено питанню впливу природної і індукованої оптичної активності на ефективність акустооптичної взаємодії. На основі аналізу впливу природної оптичної активності на ефективність акустооптичної взаємодії в кристалах $\alpha-SiO_2$ показано, що для типів ізотропної взаємодії за участю оптичних власних хвиль вона призводить до різкого зростання ефективного пружнооптичного коефіцієнта та коефіцієнта акустооптичної якості. Подібні результати були отримані і експериментально підтверджені також для кристалів $Pb_5Ge_3O_{11}$. Причому, оптична активність в цих кристалах є індукованою спонтанною поляризацією, а отже може бути індукованою зовнішнім електричним полем. У цьому розділі, на прикладі кристалів KH_2PO_4 , в яких відсутня природна оптична активність при поширенні світла вздовж оптичної осі, показано, що акустооптична ефективність може бути підвищена шляхом індукування зовнішнім магнітним полем еліптичності оптичних власних хвиль за рахунок ефекту Фарадея. Отримані результати демонструють принципову можливість керування

ефективністю акустооптичної дифракції Бреґґа за допомогою зовнішнього магнітного поля.

Загальні висновки до дисертаційної роботи містять перелік основних результатів та їхнє місце у розв'язанні проблеми акустооптичної взаємодії з врахуванням еліптичності оптичних власних хвиль.

Список цитованої літератури, який складається з 256 найменувань, вміщує як ключові публікації з теми дисертації, так і публікації автора, в яких викладено основні наукові результати, які винесено на захист.

Серед **найважливіших результатів**, які визначають **новизну дисертації**, можна назвати наступні:

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 до 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 зразках лужно-боратного скла із складами $LiKB_4O_7$, $Li_2B_6O_{10}$, $LiCsB_6O_{10}$. 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 $\alpha\text{-TeO}_2$, 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.

7. Експериментально досліджено швидкості акустичних хвиль в кристалах TlInSe_2 та γ_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 отриманих експериментальних 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.

Практичне значення одержаних результатів полягає у наступному:

1. Продемонстровано принципову можливість керування ефективністю акустооптичної дифракції 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 $\text{TlIn}(\text{S}_{1-x}\text{Se}_x)_2$ ($x = 0; 0,02; 0,06; 0,10; 0,15; 0,25$) дозволяють віднести їх до одних з найкращих магнітно-невпорядкованих матеріалів для магнітооптичних застосувань.

Дисертація Д.І.Адаменка залишає позитивне враження. Автором проведено цілеспрямоване багатостороннє теоретичне та експериментальне дослідження ефективності акустооптичної дифракції і впливу на неї еліптичності власних оптичних хвиль та неортогональності поляризації власних акустичних хвиль. Експериментальні результати та їхній аналіз викладені достатньо чітко і зрозуміло. Для досягнення сформульованої в дисертації мети дисертантом використовувались надійні апробовані експериментальні методи досліджень, а теоретичний аналіз на підставі класичної кристалооптики, математичне моделювання та розрахунки проводились на основі добре

обґрунтованих алгоритмів. Тож достовірність отриманих результатів експериментальних та теоретичних досліджень не викликає сумніву.

Наукові результати Д.І.Адаменка своєчасно опубліковані в провідних фахових виданнях як в Україні, так і за кордоном, вони також доповідались на представницьких наукових конференціях. Статті опубліковані в таких міжнародних журналах як *Applied Optics*, *AIP Advances*, *Phase Transitions* а також в українському журналі – *Ukrainian Journal of Physical Optics* з досить високим імпаکت-фактором ($IF(2022) = 3,9$). Реферат адекватно відображає зміст дисертації, та основні результати. Аналіз наукових результатів, представлених в дисертації, та наукових публікацій за темою дисертації, засвідчує, що автор добре володіє експериментальними і теоретичними методами досліджень та є спеціалістом в області акустооптики та кристалооптики у цілому.

Незважаючи на загальне цілком позитивне враження від дисертації Д.І.Адаменка, хочу звернути увагу на деякі недоліки, які, на мою думку, слід відзначити.

1. Назва роботи вживає термін «фероїчні кристали», хоча дослідження ведеться для більш вузького класу сегнетоелектричних кристалів.
2. В роботі розглядається акустооптична взаємодія між циркулярно поляризованими оптичними власними хвилями оптичного випромінювання, за умовою, що довжина хвилі відповідає ізотропній точці. Однак дифракція на біжучій хвилі приводить до доплерівського зсуву частоти дифрагованої хвилі. Таким чином, довжина хвилі дифрагованого випромінювання в деякій мірі не відповідатиме довжині хвилі ізотропної точки і ця хвиля не буде циркулярно поляризованою. Оцінка еліптичності дифрагованої хвилі наприклад для кристалу $AgGaS_2$ в роботі відсутня.
3. В роботі проаналізований вплив еліптичності власних хвиль, зумовленої оптичною активністю (спонтанною електрогірацією), на коефіцієнт акустооптичної якості кристалів $Pb_5Ge_3O_{11}$. Доцільно було б проаналізувати, як впливає зміна активності з температурою на величину піку приросту цього коефіцієнта. Це дало б можливість оцінити залежність величини піку коефіцієнта акустооптичної якості від напруженості електричного поля.

Вказані зауваження не є принциповими, і ні в якому разі не знижують високої оцінки дисертаційної роботи.

Підсумовуючи вищевикладене, можу стверджувати, що дисертація Адаменка Дмитра Ігоровича “Оптична активність та її вплив на акустооптичну взаємодію в фероїчних кристалах ” є цілісною, завершеною науковою працею. Всі винесені на захист положення є новими і наукова цінність роботи висока. Достовірність результатів та висновків не

викликає сумніву. Результати дисертації повністю викладені в наукових публікаціях, зарахованих за темою докторської дисертації. Ознак академічного плагіату не виявлено. Таким чином дисертація повністю 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 заслуговує на присудження йому наукового ступеня доктора фізико-математичних наук за спеціальністю: 01.04.05 – оптика, лазерна фізика.

Завідувач відділом оптичної квантової електроніки
Інституту фізики НАН України
доктор фіз.-мат. наук, професор,

 Васнецов М.В.

Підпис Васнецова М.В. засвідчую:
Вчений секретар
Інституту фізики НАН України



ВІРНО
ВЧЕНИЙ СЕКРЕТАР
ІФ НАН УКРАЇНИ
В.С. МАНЖАРА