

## ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

доктора физико-математических наук, доцента Кокшарова Юрия Алексеевича о диссертационной работе Купрейчика Максима Игоревича «Акустооптическое взаимодействие в двуосных кристаллах», представленной на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.4. Радиофизика

Одной из тенденций современной оптоэлектроники и лазерной техники является все более широкое использование оптически двуосных материалов. Особенно востребованы универсальные двуосные кристаллы, такие как BiVO<sub>3</sub>, KTP, KTA, LBO, обладающие комплексом полезных свойств: высокой технологичностью, хорошей лучевой стойкостью, сильным нелинейно-оптическим и электрооптическим эффектом и т.д., что позволяет применять их в различных сферах оптики и фотоники. По тем же причинам (технологичность и многофункциональность) в лазерной технике широкое распространение получили калий-редкоземельные вольфраматы (KReW). Благодаря своим хорошим акустооптическим (АО) свойствам, эти моноклинные двуосные кристаллы послужили основой также для коммерческих АО-лазерных затворов.

Характерной особенностью нелинейно-оптического эффекта в двуосном кристалле является существование синхронизмов высокого порядка, а также комбинированных некритичных взаимодействий. Многие из них уже успешно используются для преобразования частоты светового излучения. Поиск некритичных режимов АО-взаимодействия в двуосных материалах и обстоятельное исследование их характеристик – одна из задач, решаемых в диссертационной работе Купрейчика М.И. Кроме того, в ней анализируется перспективное применение множества других геометрий АО-взаимодействия в двуосных кристаллах в АО-устройствах разных классов, в том числе работающих с неполяризованным светом. Слабая изученность АО-эффекта в двуосных материалах вместе с открывающейся возможностью создания более функциональных АО-приборов делают выбранную тематику актуальной и перспективной.

Диссертация изложена на 222 страницах текста, содержит 87 рисунков и 2 таблицы. Список литературы имеет 240 наименований.

Во **введении** рассмотрена степень проработанности тематики исследования и обоснована ее актуальность. Перечислены цели и задачи работы, отмечена новизна и практическая значимость полученных результатов.

В **первой главе** изложены основы теории АО-эффекта в оптически анизотропных средах. Сделан обзор основных типов серийных АО-устройств на одноосных кристаллах, объяснены принципы их функционирования и указаны сферы применения. Кроме того, в главе кратко изложен ковариантный подход к описанию распространения оптических мод в двуосных кристаллах, оказавшийся особенно удобным при анализе некритичных синхронизмов. В конце главы описаны оригинальные алгоритмы численного исследования геометрии и ширины синхронизма вне главных плоскостей, легшие в основу созданного

диссертантом программного комплекса для анализа АО-эффекта в двуосных кристаллах.

Во **второй главе** подробно рассмотрен АО-синхронизм в главных плоскостях двуосного кристалла. Основное внимание уделено не критичным взаимодействиям. Описаны все существующие в таких плоскостях конфигурации не критичного по углу синхронизма высокого порядка. Показано, что при распространении света вдоль лучевой оптической оси реализуется комбинированный не критичный по углу падения света и частоте ультразвука синхронизм. Такой режим АО-взаимодействия был назван диссертантом низкоселективным.

В **третьей главе** на примере кристалла теоарсенида таллия  $Tl_3AsS_4$  орторомбической сингонии анализируется перспективное применение двуосных сред в различных АО-устройствах. Получены эффективные оценки частотной и угловой полосы синхронизма при низкоселективном взаимодействии, доказывающие возможность создания многофункционального широкоапертурного АО-дефлектора. Для этого прибора рассчитаны допуски на отклонение угла среза кристалла и выданы рекомендации по выбору подходящего материала. Также впервые обнаружено, что в главной плоскости  $XZ$  двуосного кристалла условие АО-синхронизма может выполняться одновременно для медленной и быстрой оптических мод. На основе такого режима предложена новая схема АО-модулятора интенсивности неполяризованного света. Кроме того, в этой главе найдены конфигурации не критичных синхронизмов в кристалле  $Tl_3AsS_4$ , оптимальные для АО-дефлекторов и широкоапертурных АО-монохроматоров ближнего инфракрасного диапазона.

**Четвертая глава** посвящена исследованию различных режимов АО-взаимодействия в двуосном кристалле йодноватой кислоты  $\alpha$ - $HI O_3$  орторомбической сингонии. Выявлены варианты, наиболее подходящие для АО-фильтров разного класса. Доказано негативное влияние дисперсии показателей преломления материала на работу широкоапертурных АО-монохроматоров. Изучена топология двумерной передаточной функции всех не критичных по углу взаимодействий в главных плоскостях с акцентом на новые переходные топологии, отвечающие конфигурациям не критичного синхронизма четвертого порядка. Рассмотрены открывающиеся в этом случае возможности для создания новых схем пространственной АО-фильтрации световых полей. Кроме того, в данной главе обстоятельно изучены конфигурации низкоселективного АО-взаимодействия на продольной акустической волне, распространяющейся вдоль оси  $Y$  кристалла  $\alpha$ - $HI O_3$ . Для них получены эффективные оценки частотной и угловой полосы синхронизма в параллельной и сагиттальной плоскостях, обоснованы перспективы применения в многофункциональных широкоапертурных АО-дефлекторах с расширенным диапазоном углов сканирования.

В **пятой главе** исследуется возможность улучшения характеристик АО-устройств на двуосном кристалле за счет использования в качестве источника ультразвука фазированной решетки пьезопреобразователей. Выведено аналитическое выражение для эффективности АО-взаимодействия в возбуждаемом такой решеткой акустическом поле. Предложена схема и досконально изучены

характеристики широкоапертурного АО-дефлектора на кристалле  $\alpha$ - $\text{NiO}_3$  с четырехэлементным фазированным преобразователем. Для этой схемы дефлектора продемонстрировано увеличение допуска на отклонение угла среза кристалла в 10 раз относительно схемы с однородным преобразователем. Другой важный результат главы – новая светосильная схема АО-дефлектора неполяризованного излучения на двуосном кристалле с фазированным преобразователем. Описаны особенности работы дефлектора, рассчитаны допуски на отклонение угла среза кристалла и выданы рекомендации по выбору материала.

В заключении сформулированы результаты и выводы работы.

Автореферат соответствует содержанию диссертационной работы.

В целом диссертация выполнена на высоком научном уровне, что подтверждается большим числом публикаций в рецензируемых научных журналах и докладов на известных международных конференциях. Проведен значительный объем исследований в перспективном научном направлении – акустооптике двуосных кристаллов. На мой взгляд, наибольшая **ценность работы** заключается в классификации и подробном исследовании режимов АО-взаимодействия в двуосных кристаллах, способных вывести характеристики АО-приборов на качественно иной уровень. Предложенные диссертантом концепции могут быть реализованы в АО-приборах нового типа.

Вместе с тем к работе имеются некоторые замечания:

1. Без конкретизации кристалла и геометрии АО-взаимодействия, используемых в перестраиваемом АО-фильтре, второе из выносимых на защиту положений является излишне лаконичным и малоинформативным.
2. В главе 4 описаны все существующие в главных плоскостях двуосного кристалла переходные топологии двумерной передаточной функции АО-дифракции. Но при этом обходится вниманием вопрос, существуют ли новые топологии вне этих плоскостей.
3. В главе 5 предложен изящный способ снижения требований к точности изготовления АО-ячейки, использующей низкоселективный синхронизм в плоскости  $XZ$ , за счет фазированного пьезопреобразователя. В то же время, насколько можно понять из раздела 4.3.6, для практических применений более перспективны низкоселективные режимы АО-взаимодействия на продольной акустической волне, распространяющейся вдоль оси  $Y$ . Необходимо уточнить, работает ли для них предложенный метод.

Сделанные замечания не снижают общей высокой оценки проделанной работы. Полученные диссертантом новые результаты проясняют многие ранее неизвестные особенности АО-взаимодействия в двуосных кристаллах. В перспективе полученные в работе фундаментальные результаты могут быть использованы для создания новых типов АО-устройств.

Считаю, что диссертация «Акустооптическое взаимодействие в двуосных кристаллах» соответствует специальности 1.3.4. Радиофизика (по физико-

математическим наукам), а также критериям, определенным пп. 2.1–2.5 «Положения о присуждении учёных степеней в Московском государственном университете имени М.В. Ломоносова», предъявляемым к кандидатским диссертациям, и оформлена согласно приложениям № 8 и 9 «Положения о совете по защите диссертаций на соискание учёной степени кандидата наук, на соискание учёной степени доктора наук Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова», а её автор — Купрейчик Максим Игоревич — заслуживает присуждения учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.4. Радиофизика.

Официальный оппонент:

**Кокшаров Юрий Алексеевич,**  
доктор физико-математических наук, доцент

Место работы и должность:

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова», физический факультет, кафедра общей физики, профессор

\_\_\_\_\_ Ю.А. Кокшаров  
«25» марта 2026 года

Адрес места работы:

119991, г. Москва, ГСП-1, Ленинские горы, д. 1, стр. 2  
Телефон: +7 (495) 939-29-73  
E-mail: koksharovya@my.msu.ru

Специальность, по которой официальным оппонентом защищена докторская диссертация:

01.04.11 — «Физика магнитных явлений»

Подпись Кокшарова Юрия Алексеевича ЗАВЕРЯЮ:

Ученый секретарь ученого совета физического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова  
д.ф.-м.н., доцент

\_\_\_\_\_ С.Ю. Стремouxов

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова», физический факультет

Телефон: +7 (495) 939-31-60

E-mail: info.ff@org.msu.ru