

«УТВЕРЖДАЮ»

Директор Федерального государственного
бюджетного научного учреждения

«Федеральный исследовательский центр

Красноярский научный центр

Сибирского отделения Российской

академии наук» (ФИЦ КНЦ СО РАН)

Чл. корр. РАН Шпедт А.А.



“ 04 ” декабря 2023 г.

ОТЗЫВ

ведущей организации на диссертационную работу

**Трашкеева Сергея Ивановича «Структурные и нелинейно-оптические
преобразования в жидких кристаллах и полупроводящих полимерах»,**

представленную на соискание ученой степени доктора физико-
математических наук по специальности 1.3.6 – оптика.

Диссертация Трашкеева С.И. посвящена нелинейной оптике мягких сред. Работа носит комплексный характер, состоит из теоретической и экспериментальной частей, в которых рассмотрены внутрискруктурные свойства жидких кристаллов и полупроводящих полимеров, способных привести к спектрально-генерационным изменениям излучения. Проведены исследования, основанные на обнаруженных автором работы в рассмотренных веществах сверхвысоких восприимчивостях, реализуемых дефектами структуры среды со сменой симметрии на мелкомасштабных размерах.

Актуальность работы определяется тенденцией научно-технического прогресса, изучающего материю на все более мелких масштабах. В оптике, и вообще в физике мягких сред, такая тенденция становится возможной, в частности, благодаря появлению современных волоконно-лазерных систем с высокой концентрацией энергии излучения. Не менее актуальным можно считать и возрождение интереса к области нелинейной оптики органических веществ в ее разделе, относящемся к частотным преобразованиям излучения. Высокая эффективность обнаруженных нелинейных спектральных процессов в мягких средах позволяет в дальнейшем создавать на их основе генераторы и преобразователи когерентного излучения с управляемыми параметрами и габаритами активного элемента в пределах масштаба оптического волокна.

Научная новизна состоит в следующем.

Практически все результаты, представленные в работе, на момент опубликования являлись новыми. К наиболее важным и принципиальным результатам, определяющим научную новизну работы, можно отнести следующее:

– обнаружение в жидких кристаллах (ЖК) и полупроводящих полимерах высокоэффективных частотных преобразований излучения, реализуемых на микронных и субмикронных размерах активной среды;

– установление прямой связи между генерационными характеристиками мягкой среды и наведенными в ней самим излучением дефектов с изменением симметрии структуры;

– теоретическое обоснование и затем экспериментальное доказательство наличия в жидких кристаллах нового термоориентационного эффекта, не требующего пространственного перемещения жидкости;

– разработка механизма создания и управления дисклинационными структурами (необходимыми для спектрального преобразования) в поглощающих ЖК под действием термоориентационного эффекта от локализованного излучения;

– реализация подхода Эрингена о распределенности ЖК-среды в виде конкретной математической модели для описания структур с ориентационными особенностями нанометрового размера, предложение использования этой модели в качестве материальных уравнений, описывающих совместно с уравнениями Максвелла обнаруженные в работе нелинейно-оптические свойства мягких сред;

– разработка расчетных кодов для решения уравнений распределенной модели и уравнений Максвелла в рассмотренной формулировке, показаны возможности описания мелкомасштабных структур ЖК, не имеющих интерпретации в классических моделях.

Достоверность полученных результатов подтверждается:

– воспроизводимостью полученных результатов на различных типах и образцах мягких сред, использованием известных современных и оригинальных теоретических и экспериментальных методик в их различных сочетаниях;

– широкой апробацией полученных результатов на научных семинарах и конференциях, в том числе международных.

Материалы диссертации изложены в 95 печатных изданиях, 54 из которых (приведенных в списке автореферата) рекомендованы ВАК, индексированы Web of Science, Scopus, РИНЦ, в том числе 11 публикаций докладов конференций с индексом DOI, 2 патента и 3 свидетельства о государственной регистрации программы для ЭВМ.

Диссертация состоит из введения, шести глав, заключения, приложений и списка литературы, состоящего из 267 наименований. Полный объем – 325 страниц, включая 146 рисунков и 3 таблицы.

Связь работы с планом соответствующих отраслей науки и народного хозяйства. Выполненная диссертационная работа соответствует направлениям завершившихся программ, а также актуальной Программе фундаментальных научных исследований в Российской Федерации на

долгосрочный период (2021 - 2030 годы), раздел 1.3.5. Оптика и лазерная физика, подразделы 1.3.5.5. Физика лазеров и лазерных материалов; нелинейные оптические явления и 1.3.5.6. Новые оптические материалы, оптические элементы фотоники, интегральная оптика, голография, нанофотоника, метаматериалы и метаповерхности.

Значимость для науки и практики полученных результатов.

Научная значимость результатов определяется тем, что успешно рассмотрены новые аспекты процессов и явлений, происходящих в таких средах, как жидкие кристаллы и полупроводящие полимеры, что находится в русле современных тенденций, сформировавших недавно целое научное направление – "физика мягких сред". Полученные в диссертации данные перспективны для применения в различных областях нанотехнологий, в оптике, спектроскопии, системах отображения информации, телекоммуникационных технологиях и других отраслях науки и техники, поскольку дают возможность улучшения имеющихся оптоэлектронных систем и разработки технических устройств нового поколения.

Результаты и выводы диссертационной работы могут быть рекомендованы к использованию в Красноярском научном центре СО РАН, Институте теоретической и прикладной механики СО РАН, Физическом институте РАН, Институте физики твердого тела РАН, Институте кристаллографии РАН. Следует также отметить перспективность использования материалов диссертации в учебных целях для обучения студентов и повышения квалификации преподавателей вузов (например, Московского государственного университета, Новосибирского государственного университета, Сибирского федерального университета, Московского государственного областного педагогического университета, Санкт-Петербургского государственного университета информационных технологий, механики и оптики и др.), специализирующихся в оптике, лазерной физике, оптическом материаловедении, физике мягких сред.

Личный вклад автора. Все теоретические части работы выполнены автором диссертации. Экспериментальные результаты получены при личном участии автора в постановке задач, разработке методов их решения, проведении измерений, обработке, анализе и представлении результатов.

Во **Введении** обосновывается актуальность темы диссертации, освещаются проблемы физики мягких сред и ее современное состояние, формулируются цели работы и основные полученные в ней результаты, рассказывается о новизне, теоретической и практической ценности, достоверности и обоснованности результатов, об апробации работы.

В **Главе 1** описаны классическая теория Озеена-Франка для ориентационной динамики ЖК и развиваемая автором более общая модель, основанная на распределенном представлении среды для описания мелкомасштабных структур, в том числе таких, как дисклинации. Предлагается методика, позволяющая упростить исходные уравнения на основе перехода во вращательную систему координат, связанную с директором. Приводятся примеры аналитических и численных решений новой модели для сложных структур ЖК, не имеющих объяснения в локальной теории.

Глава 2 посвящена вопросам использования уравнений Максвелла для задач линейной и нелинейной оптики ЖК и других мягких сред. В частности, рассмотрена проблема нахождения решений численными методами. Показано, что предложенная форма записи уравнений Максвелла в виде уравнений первого порядка на потенциалы более удобна для моделирования процессов взаимодействия излучения с ЖК и другими мягкими средами. Приводятся примеры, где явно видно преимущество предложенной формулировки.

Глава 3 относится к изучению структур, возникающих при воздействии формы ограничивающей поверхности и теплового потока в НЖК. Описаны разработанные принципы управляемого движения и регулярного

расположения дефектов. Теоретически и экспериментально исследуется новый тип ориентационного взаимодействия ЖК с тепловым потоком. В заключении к главе делается вывод о возможности использования предложенного принципа перемещения и упаковки дефектов в различных устройствах. Утверждается, что найденное термоориентационное взаимодействие может являться механизмом образования и управления дисклинациями.

В **Главе 4** решаются задачи, связанные с возможностью реализации в ЖК высокочастотных ориентационных изменений при воздействии на него многокомпонентных переменных электрических полей. Найденные режимы ориентационной динамики, включая стохастический, имеют значение для разработки теоретической модели оптической нелинейности, так как использованная электрическая составляющая радиочастотного диапазона одинаково с когерентными полями входят в материальные уравнения. В прикладном плане делается вывод о возможности использования полученных результатов для создания быстрых (более 1 МГц) оптических переключателей излучения.

Глава 5 посвящена вопросам нелинейно-оптических преобразований излучения и деформации под его воздействием в жидких кристаллах. Одной из основных целей данной главы является реализация возможности создания управляемых, ограниченных в пространстве, структур (дисклинаций) с помощью воздействия на ориентационное состояние поглощающего ЖК локализованного излучения. Рассматриваются особенности процессов, являющихся следствием одновременной реализации ориентационного и электронного механизмов оптической нелинейности. Приводятся данные экспериментов, основанных на представлениях нового подхода, по получению в ЖК высокоэффективных процессов частотного преобразования излучения.

В **Главе 6** продолжено рассмотрение вопросов нелинейной оптики для спектрального преобразования излучения в жидких кристаллах и

полупроводниковых полимерах. Во второй части главы делается обоснованный вывод о реализации объемного квадрупольного механизма нерезонансной генерации гармоник в рассмотренных мягких средах с ориентационно-электронным механизмом оптической нелинейности.

В **Заключении** делается вывод, что рассмотренные экспериментально и теоретически системы жидких кристаллов и полупроводниковых полимеров, в сочетании с лазерными технологиями, представляют собой варианты искусственных структурированных сред с возможностью самоорганизации. В конце изложены результаты работы.

Замечания и вопросы по содержанию и оформлению диссертации следующие:

1. Материал диссертации сочетает в себе как теоретическую, так и экспериментальную части, причем обе обширны и глубоко проработаны, что, в свою очередь, является оригинальным и несомненным преимуществом работы. Тем не менее часть экспериментальных данных объясняется на основе качественных представлений из предложенной самим же автором модели. Было бы более убедительно, если бы интерпретация полученных результатов содержала количественные сравнения с расчетами на основе нового подхода. Это, конечно, увеличило бы объем диссертации и, скорее всего, такое замечание следует отнести к пожеланию на будущие исследования и улучшение апробации. Так, окончательный вид распределенной модели опубликован в одном рецензируемом и одном нерецензируемом журналах, а также на двух конференциях.

2. Новая форма записи уравнений Максвелла, предложенная автором, имеет собственную ценность и актуальна с точки зрения практического использования. Однако роль формулировки, возможно, автором несколько завышена, из некоторых положений диссертации возникает впечатление, что без нее не обойтись.

3. Из экспериментальных данных о генерации вихревых пучков не совсем понятно: полученная закрутка реализуется только в одном направлении или возможны вихри и противоположного знака.

4. При описании самоколлимации излучения в ЖК недостаточно четко описано влияние поляризации на формирование канала распространения волны.

5. Делались ли попытки использовать оригинальные авторские подходы для исследования других веществ мягкой материи, кроме приведенных в диссертации?

6. Имеются опечатки и стилистические неточности, а также некоторая небрежность в оформлении, к примеру, желательно было бы привести рисунки к единому образцу.

7. Было бы более уместным сформулировать не пять целей, а единую цель диссертационной работы с последующим представлением соответствующего перечня решаемых задач для достижения этой цели.

Заключение.

Таким образом, диссертация С.И. Трашкеева выполнена на высоком научном уровне и является законченным исследованием, решающим важную проблему комплексного изучения структурных и нелинейно-оптических свойств жидких кристаллов и полупроводящих полимеров. Совокупность полученных автором результатов может быть квалифицирована как научное достижение высокого уровня для развития перспективного направления в оптике.

Выполненная работа удовлетворяет всем квалификационным требованиям, предъявляемым ВАК России к диссертациям на соискание ученой степени доктора физико-математических наук, в том числе соответствует требованиям п.9 «Положения о присуждении ученых степеней». Трашкеев Сергей Иванович заслуживает присвоения ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 1.3.6 – оптика.

Сведения о ведущей организации:

Федеральное государственное бюджетное научное учреждение
«Федеральный исследовательский центр «Красноярский научный центр
Сибирского отделения Российской академии наук» (ФИЦ КНЦ СО РАН)

Россия, 660036, г. Красноярск, ул. Академгородок, 50

Адрес официального сайта в сети интернет: <https://ksc.krasn.ru/>


Телефон: +7 (391) 243-45-12

Адрес электронной почты: fic@ksc.krasn.ru

Директор Института физики им. Л.В. Киренского Сибирского отделения
Российской академии наук – обособленного подразделения ФИЦ КНЦ СО
РАН, доктор физ.-мат. наук Балаев Дмитрий Александрович


/Балаев Д.А./

Руководитель научного направления Института физики
им. Л.В. Киренского Сибирского отделения Российской академии наук –
обособленного подразделения ФИЦ КНЦ СО РАН, доктор физ.-мат. наук,
профессор Зырянов Виктор Яковлевич


/Зырянов В.Я./

“ 04 ” декабря 2023 г.

Подписи Балаева Д.А. и Зырянова В.Я. заверяю
ученый секретарь, к.ф.-м.н.


/Злотников А.О./