

**ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА**  
**на диссертацию Трашкеева Сергея Ивановича**  
**«Структурные и нелинейно-оптические преобразования в жидких кристаллах и**  
**полупроводящих полимерах»**  
представленную на соискание учёной степени доктора физико-математических наук по  
специальности 1.3.6. – Оптика

Диссертация Трашкеева Сергея Ивановича посвящена исследованию физических процессов в жидких кристаллах (ЖК) и полупроводящих полимерах (п/п), как самостоятельных явлений, так и непосредственно связанных с нелинейным преобразованием излучения. На рассмотрение выносятся оригинальные подходы, позволяющие описывать новые явления в структурированных средах на субмикронных размерах. В работе предлагаются математические модели, в рамках которых осуществляются теоретические и экспериментальные исследования внутренних конфигураций с резкими границами кристаллической симметрии в мягких средах и влияние этих сред на нелинейно-оптические преобразования излучения.

**Актуальность работы.**

Исследование механизмов процессов, происходящих в мягких средах, таких как ЖК и п/п полимеры, представляет интерес как с точки зрения фундаментальной науки (физики сплошной среды и нелинейной оптики), так и с точки зрения практики, при создании малогабаритных устройств преобразования энергии и обработки информационных потоков.

**Научная новизна.**

В диссертации представлены новые положения теории, к которым можно отнести: введение в качестве параметра ЖК двухточечного корреляционного тензора и создание на его основе нелокальной континуальной модели жидкокристаллического состояния и фазовых переходов; формализм двух потенциалов для численного решения уравнений Максвелла в произвольной среде; получение и управление дисклинациями в ЖК; термоориентационный эффект и его применение для немеханического создания локализованным излучением многофазных структур; получение сверхэффективных режимов нелинейной генерации на микронных и субмикронных размерах ЖК и п/п полимеров.

**Практическая значимость.**

В работе показано, что в областях особых точек дисклинаций ЖК реализуются экстремальные условия для сверхэффективного пространственного и частотного преобразования излучения на микронных и субмикронных размерах. Эти результаты могут быть использованы для создания устройств в области лазерной физики, нелинейной оптики, телекоммуникационных технологиях и других областях науки и техники, где требуются системы управления и преобразования низкоэнергетическими процессами.

**Структура и общее содержание диссертационной работы.**

Диссертация Трашкеева С.И. имеет структуру научно-квалификационной работы, представленной на соискание ученой степени доктора физико-математических наук. Работа изложена на 325 страницах и состоит из введения, шести глав, заключения, приложения и библиографии из 267 наименований.

**Во введении** обсуждается актуальность работы, кратко освещаются проблемы физики мягких сред, стоящие перед исследователями этого направления. Соответственно формулируются цели и задачи исследования, перечисляются полученные новые результаты, их практическая ценность, апробация и положения, выносимые на защиту.

**Глава 1** посвящена теоретическим вопросам, к наиболее важным из которых относится введение в качестве параметра ЖК двухточечного корреляционного тензора и создание на его основе нелокальной континуальной модели жидкокристаллического состояния и фазовых переходов, позволяющей описывать ЖК структуры на субмикронных пространственных и временных масштабах. На основе предложенной модели построены решения в ЖК для дисклинаций с конечной свободной энергией и впервые получены решения для спиральных структур в сферической капле, которые наблюдаются в эксперименте.

**Глава 2** посвящена разработке метода решения уравнений Максвелла для задач линейной и нелинейной оптики ЖК. Одной из проблем численного решения уравнений Максвелла является необходимость выполнения условия соленидальности напряженности магнитного поля. В работе предлагается новая формулировка уравнений, свободная от этого недостатка. В работе вводятся четыре дополнительных потенциала так, что система уравнений для восьми потенциалов оказывается эквивалентна исходным уравнениям Максвелла для напряженностей электрического и магнитного поля. Полученная система уравнений для потенциалов относится к гиперболическому типу, что позволяет при численном решении использовать современные вычислительные схемы высокого порядка точности типа WENO- схем. Сравнение численного решения поля в волноводе с аналитическим решением подтверждает эффективность и точность предлагаемого метода.

**Глава 3** посвящена изучению структур, возникающих при воздействии ограничивающей поверхности и теплового потока в нематических ЖК. На основе проведенных исследований жидкокристаллических сред, насыщенных дисклинациями, делается вывод о возможности создания материала с новыми управляемыми свойствами, не имеющими аналога в традиционных средах. Экспериментально обнаружен термоориентационный эффект, состоящий в возникновении ориентации молекул ЖК за счет градиента температуры в ЖК. Этот эффект играет существенную роль в возникновении ориентации молекул под действием локализованного излучения и может быть использован в качестве механизма дистанционного управления дисклинационным состоянием ЖК.

**Глава 4** посвящена задачам, связанным с возможностью реализации в НЖК высокочастотных ориентационных изменений. Рассматриваются механизмы образования сложных динамических структур под действием на ориентацию молекул ЖК внешних электрических полей. Полученные характеристики фазовых траекторий ориентационного движения директора реализуют формы от стационарных переориентаций до осцилляций и хаотичных вращений директора типа странного аттрактора.

**Глава 5** посвящена вопросам нелинейно-оптических преобразований излучения и деформации структуры ЖК под его воздействием. Одной из основных целей данной главы является реализация возможности создания управляемых, ограниченных в пространстве, структур (дисклинаций) с помощью воздействия на ориентационное состояние ЖК локализованного излучения. Рассмотрены нелинейные процессы, вызывающие спектральные изменения в излучении при его распространении в жидком кристалле.

Экспериментально получена генерация излучения на разностных частотах с высокой эффективностью, сравнимой с квантовым пределом. Полученные результаты подтвердили выдвинутую ранее другими авторами гипотезу о необходимости предварительного нарушения центральной симметрии ЖК для оптической нелинейности четного порядка.

**Глава 6** посвящена оптической нелинейности п/п полимеров. Разработанный подход позволил реализовать в полистироле генерацию гармоник с эффективностью не хуже, чем ранее была получена в ЖК. В результате представленных в диссертации исследований делается вывод о решении ранее поставленного другими авторами вопроса получения органических сред со сверхвысокими нелинейными восприимчивостями, намного превышающими традиционные неорганические полупроводники.

**Заключение.** В заключении сформулированы выводы к работе. Делается вывод о достижении целей, поставленных перед выполнением исследований и сформулированных во введении.

#### **Достоверность и апробация результатов.**

Достоверность диссертации подтверждается использованием апробированных теоретических и экспериментальных методов науки. Подтверждение результатов теории результатами экспериментов. Содержание диссертации было доложено на многочисленных всероссийских и международных конференциях и опубликовано в 54 публикациях соискателя.

**Автореферат** правильно отражает содержание диссертации.

К работе имеются следующие **замечания и вопросы**.

1. В работе утверждается, что в распределенной модели можно ограничиться только квадратичной формой по градиентам тензорного двухточечного параметра порядка. Не понятно, с чем связано это ограничение?
2. В выражении для свободной энергии распределенного случая симметричные члены для совпадающих точек пространства (при  $r = r'$ ) учтены только в кубическом члене потенциала Ландау-Де Жена. Надо ли их учитывать в упругой функции Лагранжа?
3. Как соотносится обнаруженный термоориентационный эффект с другими термомеханическими процессами. Заметны ли эти процессы в экспериментальных наблюдениях и если да, то как они влияют на генерацию излучения и структуру среды?
4. Утверждается, что для генерации излучения четных гармоник требуется предварительная деформация структуры с нарушением центральной симметрии. В работе рассмотрен светоиндуцированный переход Фредерикса. Можно ли другими способами нарушить исходную центральную симметрию или изначально взять не центрально-симметричный ЖК?

Указанные замечания не являются принципиальными и не снижают значимость диссертационного исследования.

#### **Заключение.**

Диссертация представляет собой законченную научно-квалификационную работу, выполненную на высоком научном уровне, на актуальную тематику в области физики мягкой материи и нелинейной оптики. Полученные результаты отличаются высокой научной и практической значимостью и перспективами дальнейшего использования как в фундаментальных, так и в прикладных исследованиях. В качестве несомненного достоинства представленной диссертации следует отметить органичное сочетание теории и эксперимента, что является в современной физике практически уникальным явлением.

Считаю, что работа «Структурные и нелинейно-оптические преобразования в жидких кристаллах и полупроводящих полимерах» соответствует всем требованиям "Положения о присуждении ученых степеней", утвержденного постановлением Правительства РФ № 842 от 24 сентября 2013 г., предъявляемым к докторским диссертациям, а ее автор Трашкеев Сергей Иванович заслуживает присуждения ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 1.3.6. -Оптика.

Официальный оппонент

Киселев Сергей Петрович

доктор физико-математических наук, профессор;

специальность 01.02.05 - Механика жидкости газа и плазмы; 01.02.04 - Механика деформируемого твердого тела; ведущий научный сотрудник.

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт теоретической и прикладной механики им. С.А. Христиановича Сибирского отделения Российской академии наук (ИТПМ СО РАН).

630090, г. Новосибирск, ул. Институтская, д.4/1.

тел. +7 913 932 7479, e-mail: [kiselev@itam.nsc.ru](mailto:kiselev@itam.nsc.ru)

Дата: 12.03.2024

Согласен на включение моих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета, и их дальнейшую обработку.

Киселев Сергей Петрович, д.ф.-м.н., профессор

Подпись Киселева С.П. заверяю

Ученый секретарь ИТПМ СО РАН

к.ф.-м.н. Кратова Ю.В.

Дата: 12.03.2024



*Киселев*

*Кратова*