

«Утверждаю»

Ректор

Государственного образовательного

учреждения высшего образования

Московской области Московского

государственного областного университета

доктор юридических наук,

доктор педагогических наук, профессор

Е.А. Певцова

2022 г.



## ОТЗЫВ

ведущей организации – государственного образовательного учреждения высшего образования Московской области Московского государственного областного университета на диссертационную работу Яковлева Дмитрия Дмитриевича «Свойства рассеяния света анизотропными слоями, состоящими из квазиподобных доменов со случайной азимутальной ориентацией», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.6. – Оптика

### **Актуальность исследования**

Диссертационная работа Дмитрия Дмитриевича Яковлева посвящена исследованию оптических свойств неоднородных слоев двулучепреломляющих материалов с мозаичной структурой, состоящих из однородных или неоднородных микродоменов с похожим строением, но случайной азимутальной ориентацией локальных характеристических осей их конструкции. Слои с подобной микроструктурой легко реализуются на практике, когда в качестве двулучепреломляющего материала выступает низкомолекулярный жидкий кристалл или жидкокристаллический полимер, при соответствующей обработке подложек, между которыми заключен слой этого материала. В данной работе такие слои названы "квазиэквидоменными слоями". Относительно недавно было показано, что такого рода слои

обладают весьма специфическими оптическими свойствами, интересными как с точки зрения исследования структуры жидких кристаллов, расширения возможностей характеристики неоднородных анизотропных материалов оптическими методами, а также применения наблюдаемых эффектов в практических устройствах для управления характеристиками оптического излучения, особенно в плане разработки поляризационно-независимых модуляторов света на жидких кристаллах. Это обуславливает **актуальность** темы диссертации. В работах, предшествующих работам диссертанта, теоретический анализ оптических свойств подобного рода мозаичных слоев осуществлялся с применением очень простых теоретических моделей слоя, предполагающих полную структурную идентичность доменов слоя (эквидоменные модели), и не рассматривалось влияние структуры слоя на характеристики света, рассеянного слоем.

Основной целью данной диссертационной работы явилась разработка статистической теории рассеяния света на квазиэквидоменных слоях, позволяющей соотносить структурные свойства слоев с их свойствами рассеяния и учитывать отклонения структуры случайно-неоднородных анизотропных слоев от эквидоменной, то есть использовать более реалистичные, хотя и существенно более сложные модели неоднородных анизотропных слоев. С помощью набора теоретических средств, предложенных в данной работе, выявлены или впервые адекватно теоретически описаны ключевые особенности основных типов квазиэквидоменных слоев нематических и холестерических (с большим шагом холестерической спирали) жидких кристаллов со случайной ориентацией доменов, встречающихся в эксперименте и на практике.

Диссертация оформлена в соответствии с требованиями ВАК РФ. Она состоит из введения, четырех глав, заключения и списка цитируемой литературы, состоящего из 158 наименований. Полный объем диссертации составляет 174 страницы. Материал диссертации изложен ясно и последовательно. Диссертация хорошо иллюстрирована. Она содержит 72



рисунка. По теме диссертации опубликовано 9 статей, из них 4 статьи в журналах из списка ВАК, и 3 статьи в изданиях, индексируемых в базах данных Web of Science и Scopus. Результаты работы докладывались и обсуждались на российских и международных конференциях.

Во **введении** обоснована актуальность работы, сформулированы ее цели и задачи, указано, в чем состоит ее научная новизна и научно-практическая значимость, перечислены основные результаты и положения, выносимые на защиту.

**Глава 1** имеет обзорный характер. Представлены известные по литературе оптические явления, которые наблюдались на статистически вращательно-инвариантных слоях низкомолекулярных и полимерных ЖК. Особое внимание уделено кругу явлений, наблюдаемых на так называемых RPA-слоях (RPA – random planar alignment) нематических и холестерических жидких кристаллов, среди которых выделяются электроуправляемая спектральная фильтрация в случае нематических RPA-слоев и гигантское оптическое вращение в случае холестерических RPA-слоев. Рассмотрены методы и приближения, которые были использованы для объяснения этих явлений, а также указаны ограничения этих методов. Рассмотрены эквидоменные и квазиэквидоменные модели нематических и холестерических RPA-слоев. Справедливо отмечено, что ни одна из ранее известных теорий не позволяет адекватно учитывать особенности структуры RPA-слоев и оценивать характеристики света, рассеянного RPA-слоем, что является существенной проблемой. В этой главе также представлен математический аппарат единой теории когерентности и поляризации случайных волновых пучков. Теория основана на применении обобщенных, двухточечных векторов Стокса и матриц Мюллера. Она легла в основу предлагаемого в диссертации общего теоретического подхода к решению задачи о рассеянии света на случайно-неоднородных оптически анизотропных слоях. Этот подход свободен от ограничений предшествующих методов и, в частности, он позволяет рассматривать

реалистичные модели RPA-слоев и оценивать характеристики рассеянной компоненты RPA-слоя. Обратим внимание, что к столь сложным объектам, как RPA-слои, данная теория еще не применялась, и несомненной заслугой диссертанта является то, что он раскрыл ее потенциал в применении к системам со сложным локальным преобразованием поляризации излучения, как в случае RPA-слоев.

В главе 2 автор представляет разработанный им на основе единой теории когерентности и поляризации случайных волновых пучков теоретический подход к задаче о рассеянии света на мозаичных двулучепреломляющих слоях. С его помощью исследуется связь формы угловых спектров линейно поляризованных компонент света, рассеянного на статистически-вращательно инвариантных случайно-неоднородных мозаичных двулучепреломляющих слоях с корреляционными структурными характеристиками слоев, выявляются особенности рассеяния света на статистически вращательно-инвариантных эквидоменных слоях и анализируются свойства рассеяния статистически вращательно-инвариантных мозаичных слоев. Результаты, представленные в данной главе, имеют несомненную ценность в плане развития оптических методов характеристики неоднородных анизотропных материалов, в том числе методов малоуглового рассеяния.

В главе 3 представлены результаты экспериментальных исследований нематических RPA-слоев, подтвердивших справедливость теоретических заключений предыдущей главы, касающихся статистически вращательно-инвариантных, статистически нехиральных мозаичных слоев. Статистические структурные данные ЖК слоев были рассчитаны по картам ориентации ЖК директора в слое, полученным методом поляризационного картографирования. Представленные данные подтверждают справедливость и хорошую точность теоретических оценок как в отношении спектров пропускания нерассеянной компоненты прошедшего света, так и в отношении углового распределения и состояния поляризации рассеянной



компоненты. Также в этой главе исследовано, как отклонения структуры реальных нематических RPA-слоев от эквидоменной влияют на форму спектров направленного пропускания слоев и значения коэффициента направленного пропускания слоев в спектральных максимумах.

В главе 4 экспериментально и теоретически исследуются особенности рассеяния света на статистически вращательно-инвариантных, статистически хиральных мозаичных слоях. В качестве образцов в экспериментах использовались ячейки с RPA-слоями холестерических жидких кристаллов с большим шагом спирали. Микроструктура слоев исследовалась методами поляризационного картографирования. Эксперименты показали, что в условиях, когда структура холестерического RPA-слоя близка к эквидоменной, оптические свойства слоя хорошо описываются теоретической моделью для квазиэквидоменных слоев, представленной в главе 2. Также экспериментально показано, что при значительных отклонениях структуры ЖК слоя от эквидоменной в отсутствие поляризационно-зависимых потерь в ЖК-материале вдали от полос селективного отражения холестерика холестерические RPA-слои могут проявлять круговой дихроизм. Теоретически выявлены микроструктурные свойства, которыми должен обладать RPA-слой для того, чтобы в указанных условиях на нем мог наблюдаться круговой дихроизм.

В заключении сформулированы основные результаты проведенных исследований и сделаны выводы.

#### **Научно-практическая значимость работы**

Результаты, полученные диссертантом в ходе выполнения данной работы, существенно расширяют понимание особенностей рассеяния света на сложно неоднородных слоях оптически анизотропных материалов и позволяют эффективно применять их на практике. Разработанные теоретические модели могут быть использованы при анализе экспериментальных данных и выработке условий эксперимента для характеристики случайно-неоднородных анизотропных сред методами

малоуглового рассеяния света. Выявленные закономерности рассеяния света на мозаичных двулучепреломляющих слоях могут быть использованы при разработке эффективных оптических методов исследования и характеристики слоев анизотропных материалов. Установленные особенности взаимодействия света со случайно-неоднородными двулучепреломляющими средами и теоретический подход, разработанный диссертантом для анализа оптических свойств мозаичных слоев, будут полезны при разработке новых типов оптических и электрооптических устройств.

Полученные результаты представляют интерес для специалистов, работающих в области физики и химии жидких кристаллов и полимеров, а также людей, занимающихся разработкой оптических устройств, в частности устройств отображения информации, на жидких кристаллах. Результаты исследования могут быть использованы при подготовке студентов по направлениям "Оптика", "Физика конденсированного состояния", "Материаловедение".

#### **Основные научные результаты, полученные автором, и их новизна**

1. Разработан новый эффективный теоретический подход к задаче о рассеянии света на случайно-неоднородных анизотропных слоях в условиях нормального освещения слоя коллимированным световым пучком, позволяющий учесть кооперативные эффекты при рассеянии света на таких слоях и связать статистические структурные характеристики слоя с его характеристиками рассеяния.
2. Впервые получено явное выражение для обобщенной матрицы Мюллера пропускания квазиэквидоменного слоя, позволяющее разделить вклады флуктуаций ориентации характеристических осей доменов и флуктуаций структуры доменов при рассмотрении спектрально-поляризационных свойств нерассеянной компоненты и угловых и поляризационных свойств рассеянной компоненты прошедшего поля.



3. Впервые в терминах статистической оптики интерпретированы селективное рассеяние света на нематических слоях со случайной планарной граничной ориентацией молекул ЖК и эффект гигантского оптического вращения, наблюдаемый на холестерических слоях с естественным шагом спирали, существенно превосходящим длину волны падающего света, при случайной планарной граничной ориентации.
4. Теоретически предсказан и экспериментально подтвержден эффект инверсии поляризации при рассеянии на статистически вращательно-инвариантном мозаичном слое света с круговой поляризацией.
5. Экспериментально обнаружен и теоретически объяснен эффект электроиндуцированного циркулярного дихроизма на слоях непоглощающих холестерических ЖК с естественным шагом спирали, существенно превосходящим длину волны падающего света, при случайной планарной граничной ориентации.
6. Разработана оригинальная методика, позволяющая на основе данных микроскопического поляризационного картирования оценивать степень подобия доменов в сложно-неоднородных анизотропных слоях и степень их ориентационной упорядоченности.
7. Впервые показано, что в случае статистически вращательно-инвариантных эквидоменных слоев без локальных поляризационно-зависимых потерь форма углового распределения ортогонально поляризованных составляющих рассеянной компоненты не зависит от структуры домена-прототипа.

**Степень достоверности и обоснованности научных положений, результатов и выводов**

Достоверность полученных научных результатов и сделанных в работе выводов не вызывает сомнений. Она обусловлена применением хорошо апробированных методик измерения, современного и надежного исследовательского оборудования, тщательной метрологической проработкой эксперимента, адекватностью используемых теоретических

моделей, хорошим соответствием теоретических оценок экспериментальным данным, а также воспроизводимостью результатов экспериментов.

### **Замечания по диссертационной работе**

1. На панелях рисунка 1.9(б), на которых условно изображена структура эквидоменного и квазиэквидоменного слоев с хиральным доменом-прототипом, почти не видно различия между изображением, соответствующим эквидоменному слою, и изображением, соответствующим квазиэквидоменному слою, и из рисунка не видно качественного различия в структуре этих типов слоев.
2. В работе рассматривается много различных классов неоднородных слоев, и при чтении диссертации не сразу понятны соотношение между этими классами и их иерархия, тем более что места, где эти классы вводятся, разбросаны по тексту диссертации и их не так просто найти. Наличие сводной таблицы классов слоев, аналогичной таблице 1, приведенной в автореферате, значительно облегчило бы чтение диссертации.
3. В работе используется очень много параметров и их символьных обозначений, а также много аббревиатур. Чтение диссертации существенно облегчило бы присутствие сводного списка обозначений и сводного списка аббревиатур с расшифровкой.
4. Известно использование сферы Пуанкаре для представления распространения света в двулучепреломляющей среде, например, в цитируемой соискателем книге «Эллипсометрия и поляризованный свет» / Р. Аззам, Н. Башара; М.: Мир, 1981. Возможно, использование такого описания сделало бы представление автором описываемых объектов более наглядным и позволило бы сравнивать полученные результаты с приведенными в литературе.
5. Полезным применением результатов диссертации могло бы быть их использование для методик измерения азимутальной поверхностной энергии. Но в диссертации этот вид взаимодействия, влияющий на вид текстуры ЖК в ячейках, не обсуждается.



6. В списке литературы под номером 12 приведена не корректно оформленная ссылка на конференцию.

Указанные замечания не снижают общей высокой оценки диссертации.

### **Заключение**

Диссертационная работа **Дмитрия Дмитриевича Яковлева** «Свойства рассеяния света анизотропными слоями, состоящими из квазиподобных доменов со случайной азимутальной ориентацией» выполнена на высоком профессиональном уровне и является законченным научным исследованием, имеющим высокую научную и практическую ценность. Диссертация полностью соответствует требованиям ВАК РФ, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук (п. 9-11, 13, 14 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного Правительством Российской Федерации № 842 от 24 сентября 2013 г.), а её автор заслуживает присуждения степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.6. – Оптика.

Отзыв обсуждён и одобрен на заседании кафедры теоретической физики Государственного образовательного учреждения высшего образования Московской области Московского государственного областного университета, протокол заседания № 9 от 18.03.2022 года.

Отзыв составили:


Заведующий кафедрой теоретической физики,

Доктор технических наук, профессор

 / В.В. Беляев /

Профессор кафедры теоретической физики,

Доктор физико-математических наук, доцент

 / Д.Н. Чаусов /