

ОТЗЫВ

официального оппонента, доктора физико-математических наук Долганова Павла Владимировича на диссертацию Буханова Евгения Романовича «Влияние упорядоченности структурных элементов листьев растений на их оптические свойства», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности

1.3.6. Оптика

Актуальность темы исследования

Диссертационная работа Е. Р. Буханова посвящена экспериментальному и теоретическому исследованию оптических свойств листьев высших растений. Тематика исследования относится к активно развивающейся в последние годы области биофотоники. Растущий интерес к биологическим объектам со стороны физиков, новые задачи, возникающие в биологии и биомедицине, требуют от современной физики глубокого понимания свойств объектов живой природы. Одной из наиболее важных задач является изучение оптических и фотонных свойств биологических объектов, что представляет интерес как с фундаментальной, так и с практической точки зрения. Исследуемые в данной диссертации структурные элементы листьев (хлоропласты и кутикулярный восковой слой) могут рассматриваться как биологические фотонные кристаллы. Изучение подобных фотонных кристаллов может дать новую информацию о процессах, происходящих в таких системах. Отметим также, что многие биологические объекты, в частности, исследуемые в диссертации элементы листьев растений, обладают упорядочением, характерным для жидкокристаллических структур. В связи с этим для изучения физических свойств биологических объектов перспективно применение экспериментальных и теоретических методов, хорошо зарекомендовавших себя для исследования жидких кристаллов. Данная диссертация является удачным примером такого подхода. Сильная сторона диссертации – комбинация экспериментов и численных расчётов, позволяющая сделать вывод о связи структурного упорядочения изучаемых объектов и их оптических свойств. Результаты, представленные в диссертации, могут служить отправной точкой для более углубленного изучения биологических объектов, в том числе обладающих элементами жидкокристаллического упорядочения.

Структурный анализ диссертации

Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, двух приложений, списка используемых сокращений, глоссария и списка литературы. Во **введении** обоснована актуальность работы, сформулированы ее цель и задачи, раскрываются новизна, научное и практическое значение результатов, приводится информация о структуре и объёме диссертации, а также об апробации работы и публикации результатов.

В **первой главе** приведен обзор литературы по теме диссертации. Кратко описана история исследований оптических свойств листьев растений. Приведены сведения о строении листьев растений и их структурных элементах, обладающих свойствами фотонных кристаллов. Достаточно подробно обсуждаются оптические свойства листьев в ультрафиолетовом, видимом и инфракрасном спектральном диапазоне.

Во **второй главе** излагается методика проведения экспериментов и подготовки образцов, обсуждаются преимущества и недостатки использованных методик. Описан разработанный автором метод изоляции внешнего воскового слоя листьев, сохраняющий их структуру. Приводится информация о созданной автором специализированной программе для моделирования оптических свойств фотонных кристаллов. Программа позволяет проводить расчет в широком диапазоне параметров, в том числе для фотонных кристаллов с нарушением пространственной периодичности, а также с учетом частотной дисперсии.

В **третьей главе** приводятся результаты экспериментальных исследований структурных и оптических свойств поверхностного слоя листьев растений. Использовано несколько взаимодополняющих методик. С помощью оптической микроскопии и сканирующей электронной микроскопии получена информация о структуре воскового покрова листьев. Проведены спектроскопические исследования, включающие в себя измерения спектров флуоресценции образцов в различных условиях. Экспериментальные результаты дополнены расчётом оптических свойств модельных фотонных структур.

В **четвертой главе** приводятся результаты расчёта спектральных характеристик модели фотонных кристаллов, представляющих собой различные элементы листьев растений. Расчеты проведены для фотонных кристаллов, образованных несколькими

подрешетками, кристаллов с дефектами, геликоидальных структур. Для структур, у которых возможно аналитическое описание оптических свойств, сравниваются результаты расчета и аналитической теории. Рассчитаны спектры пропускания образцов и плотности фотонных состояний, рассчитано распределение электрического поля световой волны в фотонных структурах. Прослежена трансформация оптических свойств (спектров пропускания, плотности фотонных состояний) при постепенном разупорядочении структуры. Разупорядочение могло быть реализовано случайным изменением толщины слоёв многослойного фотонного кристалла либо вариацией ориентации локальной оптической оси в геликоидальной структуре.

В **Заключении** диссертации перечислены основные результаты и выводы. Наиболее значимыми из них являются следующие. Разработана методика изоляции внешнего воскового слоя листьев, сохраняющая его морфологию и внутреннюю структуру. Наблюдалась оптическая анизотропия частиц изолированного воска, изучена флуоресценция воска при возбуждении светом ультрафиолетового диапазона. Проведен численный расчет оптических свойств модельных фотонных кристаллов. Продемонстрирована устойчивость основных фотонных характеристик исследуемых структур к разупорядочению, типичному для биологических объектов.

Научная новизна и достоверность результатов

Диссертация обладает несомненной научной новизной. Автором разработана новая методика подготовки образцов воскового слоя листьев. У образцов структурированного воска наблюдалась значительная оптическая анизотропия. Принципиально новые данные получены в выполненных автором расчётах. Детально исследовано влияние разупорядочения на оптические свойства модельных биологических структур. Достоверность результатов обеспечена использованием эффективных теоретических подходов, дополняющих друг друга экспериментальных методик, подтверждается повторяемостью экспериментальных результатов, согласованностью экспериментальных и расчётных данных. Результаты проведенных исследований изложены в ряде статей в международных и российских журналах, докладывались на нескольких научных конференциях.

К работе имеются несколько замечаний.

- 1) На рисунке 3.13 приведены спектры флуоресценции образцов воска голубой ели и сизой пшеницы. Желательно было бы привести также спектры этих материалов при

отсутствии фотонной структуры. Это позволило бы сделать вывод о вероятной связи формы спектров, представленных на рисунке 3.13, и спектров плотности фотонных состояний упорядоченной структуры.

- 2) Рисунок 4.12 диссертации повторяет рисунок 2.1. Предшествующий рисунку 4.12 параграф текста также практически дословно воспроизводит параграф текста на стр. 45. Следовало бы привести данный текст и рисунок только в одном месте, например, в главе 2.
- 3) В тексте присутствуют не совсем удачные выражения, например: «Увеличив центральный слой этого ФК в два раза (рисунок 4.2 (2)), произошло расщепление стоп-зоны» (стр. 77); «На ряду с фотоннокристаллической структурой идёт анизотропия» (стр. 98).
- 4) Ряд величин в приведенных формулах не определен в тексте, например, параметр $\tilde{\lambda}$ в уравнении (4.5).

Указанные замечания носят частный характер и не снижают общую высокую оценку работы. Поставленные автором задачи успешно решены. Обоснованность выводов диссертации не вызывает сомнений.

Общая оценка работы

Диссертационная работа Е.Р. Буханова «Влияние упорядоченности структурных элементов листьев растений на их оптические свойства» представляет собой завершенное научное исследование, выполненное на высоком профессиональном уровне. Автор продемонстрировал глубокие теоретические знания и практические навыки в области оптики, фотоники и вычислительной физики.

Основные научные результаты работы характеризуются новизной и достоверностью. Разработанные методики имеют самостоятельную ценность. Теоретические положения и выводы хорошо обоснованы и подтверждены экспериментальными данными и численным моделированием. Диссертационная работа Е. Р. Буханова «Влияние упорядоченности структурных элементов листьев растений на их оптические свойства» соответствует всем требованиям Положения ВАК РФ в соответствии с постановлением Правительства РФ от 24.09.2013 № 842 «О порядке присуждения ученых степеней», предъявляемым к кандидатским диссертациям, соответствует паспорту специальности, а ее автор, Буханов Евгений Романович,

заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.6. Оптика.

Официальный оппонент:

Доктор физико-математических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории квантовых кристаллов Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт физики твердого тела имени Ю.А. Осипьяна Российской академии наук

«27» ноября 2025 г.



Долганов Павел Владимирович

Подпись Долганова Павла Владимировича заверяю,

кандидат физико-математических наук, учёный секретарь Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт физики твёрдого тела им. Ю.А. Осипьяна Российской академии наук

**УЧЁНЫЙ СЕКРЕТАРЬ
ИФТТ РАН
ТЕРЕЩЕНКО А.Н.**



Сведения об официальном оппоненте:

ФИО	Долганов Павел Владимирович
Ученая степень	доктор физико-математических наук
Ученое звание	нет
Специальность	01.04.07 – физика конденсированного состояния
Полное название организации	Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт физики твёрдого тела им. Ю.А. Осипьяна Российской академии наук
Структурной подразделение и должность	Лаборатория квантовых кристаллов, ведущий научный сотрудник
Почтовый адрес организации	142432 Московская область, г. Черноголовка, ул. Академика Осипьяна, д. 2
Телефон	8(496)5228383
Адрес электронной почты	pauldol@issp.ac.ru

Список опубликованных научных работ Долганова Павла Владимировича за последние пять лет (2021-2025 гг.) по теме диссертации Буханова Е. Р.:

1. Dolganov, P.V. Photonic properties of polymer-stabilized photosensitive cholesteric liquid crystal studied by combination of optical activity, transmission and fluorescence / P. V. Dolganov, K. D. Baklanova, and A.Y. Bobrovsky // Liquid Crystals. – 2021. – Vol. 48. – P. 1339-1348. – DOI 10.1080/02678292.2020.1866219.
2. Долганов, П.В. Влияние поверхностной ориентации на спектральные характеристики жидкокристаллических фотонных кристаллов / П.В. Долганов, К.Д. Бакланова, В.К. Долганов // Поверхность. Рентгеновские, Синхротронные и Нейтронные Исследования. – 2021. – № 8. – С. 57–61. – DOI 10.31857/S1028096021080033.
3. Dolganov, P.V. Peculiarities of focal conic structure formed near the cholesteric-isotropic phase transition / P.V. Dolganov, K.D. Baklanova, V.K. Dolganov // Phys. Rev. E. – 2022. – Vol. 106. – P. 014703. – DOI 10.1103/PhysRevE.106.014703.
4. Бакланова, К.Д. Последовательность трехмерных (3D), двумерных (2D) и одномерных (1D) структур, образующихся из холестерического жидкого кристалла при изменении

- хиральности / К.Д. Бакланова, В.К. Долганов, Е.И. Кац, П.В. Долганов // Письма в ЖЭТФ. – 2023. – Т. 117. – С. 537-542. – DOI 10.31857/S1234567823070091.
5. Balenko, N.V. The influence of cholesteric helical ordering on the dynamics of liquid crystal microdroplet coalescence / N.V. Balenko, A.Yu. Bobrovsky, P.V. Dolganov // Liquid Crystals. – 2024. – Vol. 51. – P. 471-477. – DOI 10.1080/02678292.2024.2302456.
 6. Dolganov, P.V. Photonics of Two-Dimensional Structures Formed by Cholesteric Liquid Crystals / P.V. Dolganov, K.D. Baklanova, V.K. Dolganov, E.I. Kats // JETP Letters. – 2024. – Vol. 120. – P. 772–778. – DOI 10.1134/S0021364024603919.
 7. Долганов, П.В. Светоиндуцированное упорядочение скирмионов с образованием кубической фазы в хиральном нематике / П.В. Долганов, Е.А. Максимов, Н.В. Баленко // Письма в ЖЭТФ. – 2025. – Т. 122. – С. 299-305. – DOI 10.31857/S0370274X25090085.

Доктор физико-математических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории квантовых кристаллов Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт физики твердого тела имени Ю.А. Осипьяна Российской академии наук

«27» ноября 2025 г.



Долганов Павел Владимирович

Подпись Долганова Павла Владимировича заверяю,
кандидат физико-математических наук, учёный секретарь Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт физики твёрдого тела им. Ю.А. Осипьяна Российской академии наук

**УЧЁНЫЙ СЕКРЕТАРЬ
ИФТТ РАН
ТЕРЕШЕНКО А.Н.**

