

## О Т З Ы В

официального оппонента на диссертацию на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук Кузнецова Никиты Юрьевича на тему: «Топологические особенности непараксиальных световых полей в задачах линейной и нелинейной дифракции» по специальности 1.3.19. Лазерная физика

В настоящее время большой интерес исследователей привлекают сложно структурированные лазерные поля, подробное описание которых очень трудоёмко. Важным вопросом в этой связи становится выделение ключевых особенностей в структуре таких электромагнитных полей, которые могли бы служить качественными маркерами их принадлежности к тому или иному классу. Создание подобной классификации может послужить основой для разработки методов кодирования информации при помощи структурированного света, а также полезно для разработки методов исследования различных наноразмерных частиц и поверхностных структур, рассеяние света на которых приводит к формированию характеристических структур в световом поле.

Диссертационная работа Кузнецова Н.Ю. посвящена разработке подобной классификации оптических полей на основе топологических особенностей распределения эллипсов поляризации и таким образом является **актуальной** и имеет перспективные **практические применения**. В первой главе работы автором предложен оригинальный метод обнаружения сингулярных линий поляризации в оптических полях, быстрдействие и точность которого значительно превосходят прежде известные в литературе. Для уравнений, лежащих в основе этого метода, используемого в качестве основного инструмента исследования в следующих главах работы, приведён подробный, математически строгий вывод, что позволяет считать результаты **достоверными и обоснованными**. Последующие две главы посвящены описанию геометрии и топологии данных особенностей поляризации в

нескольких ближних непараксиальных световых полях, возникающих в результате рассеяния плоской монохроматической волны на единичных частицах и периодических структурах субволнового размера, а также в результате фокусировки лазерного излучения параболическим зеркалом. Истинные (возникающие без проекции поля на выделенную плоскость) сингулярности поляризации этих электромагнитных полей ранее не исследовались, поэтому результаты соискателя являются **новыми**.

Кузнецовым Н.Ю. показано, что учёт продольной составляющей электромагнитного поля в задачах с широким пространственным спектром значительно увеличивает многообразие нетривиальных топологических структур, которые могут существовать в подобном поле. В частности, даже в низших пространственных модах лазерного излучения при учёте продольной компоненты поля можно наблюдать одновременно линии строго линейной и строго циркулярной поляризации для пучков, поляризация которых до фокусировки была однородной и эллиптической. Эти линии могут образовывать торические узлы и зацепления вблизи фокальной плоскости, характеризуемые набором дискретных топологических индексов. В диссертационной работе исследованы ограничения на возможные изменения этих индексов при непрерывном варьировании параметров задачи, показана топологическая устойчивость ряда характерных особенностей сложных узлов и зацеплений между сингулярными линиями.

В работе установлено, что схожие структуры наблюдаются в ближнем поле рассеяния плоской монохроматической электромагнитной волны на наноразмерных металлической и диэлектрической частицах. При этом существуют по меньшей мере две качественно различных вариации этого поля: электромагнитное поле плоской волны, рассеянной на диэлектрической частице содержит линии строго циркулярной и строго линейной поляризации, которые не сцеплены между собой, в то время как между аналогичными линиями, наблюдаемыми в ближнем поле рассеяния на металлической частице существует нетривиальное зацепление. Кузнецовым

Н.Ю. продемонстрировано, что это зацепление сохраняется при изменении формы и ориентации эллипса поляризации падающей волны, что значительно ограничивает возможные распределения эллипсов поляризации вблизи рассеивающей частицы. Для описания этих распределений также использовано понятие оптических лент, привлекающее интерес исследователей в последнее десятилетие. Произведено обобщение существующей в литературе классификации этих особенностей поляризации.

В четвёртой главе работы рассмотрены две задачи нелинейной оптики, в которых наличие топологических особенностей в структуре поляризации электромагнитного поля оказывает значительное влияние на протекание нелинейно-оптических процессов: установлено, что с использованием сингулярных пучков может осуществляться генерация второй оптической гармоники в объёме изотропной гиротропной среды, а также что характер изменения сингулярного пучка в ходе его нелинейной дифракции может служить эффективным маркером, позволяющим определять параметры нелинейно-оптической среды с высокой точностью.

Автореферат диссертации полностью соответствует ее содержанию.

К диссертационной работе имеется ряд замечаний:

1. Несмотря на то, что автор отмечает среди перспективных практических применений его исследования использование топологических особенностей в качестве характеристических маркеров структур, рассеяние на которых приводит к формированию этих особенностей, мало внимания в работе уделяется решению обратных задач: не было предпринято попыток определения геометрии или материала рассеивающих частиц на основании данных о топологии сингулярных линий электромагнитного поля волны, рассеянной на этих частицах.
2. Было бы желательно сравнить результаты решениями аналогичных или даже более простых задач, используя численные методы применяемые в диссертации с известными результатами решения этих же задач другими способами. Это бы усилило убедительность того, что численные методы,

используемые автором для получения распределений комплексной амплитуды в рассеянных и остро сфокусированных полях действительно дают корректные результаты.

3. При формулировке основных результатов и защищаемых положений иногда непонятна расстановка приоритетов. Так по первой главе диссертации отсутствуют защищаемые положения, хотя её главный результат — разработка алгоритма поиска сингулярностей поляризации — указан среди целей работы и представляется весьма важным, поскольку используется для получения практически всех остальных результатов исследования. В то же время некоторые другие, вынесенные в заключение, содержательно близки и могут быть объединены.
4. Выбранный автором принцип нумерации ссылок в алфавитном порядке создает некоторые неудобства при чтении рукописи.

Вместе с тем, указанные замечания не умаляют значимости диссертационного исследования. Диссертация отвечает требованиям, установленным Московским государственным университетом имени М.В. Ломоносова к работам подобного рода. Содержание диссертации соответствует специальности 1.3.19. Лазерная физика (по физико-математическим наукам), а именно пунктам 3. Нелинейная оптика; технология создания нелинейно-оптических материалов, фотонных кристаллов и устройств на их основе, включая вынужденные рассеяния и 4. Технические и технологические вопросы создания оптических материалов и устройств: голография; интегральная оптика; микроскопия; оптические сенсоры, измерения и метрология; плазмоника и оптика поверхности; физическая оптика. Содержание диссертации также полностью удовлетворяет критериям, определенным пп. 2.1-2.5 Положения о присуждении ученых степеней в Московском государственном университете имени М.В.Ломоносова, а также оформлена согласно требованиям Положения о совете по защите диссертаций на соискание ученой степени

кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова.

Таким образом, соискатель Никита Юрьевич Кузнецов несомненно заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.19. Лазерная физика.

Официальный оппонент:

Доктор физико-математических наук,  
профессор кафедры общей физики  
физического факультета,  
Федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение высшего образования  
«Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова»

Манцызов Борис Иванович

Контактные данные:

тел.: 7(495)9393438, e-mail: [mantsyzov@phys.msu.ru](mailto:mantsyzov@phys.msu.ru)  
Специальность, по которой официальным оппонентом  
защищена диссертация:  
01.04.05 — Оптика

Адрес места работы:

119991, г. Москва, Ленинские горы, д. 1 стр. 2,  
Федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение высшего образования  
«Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова»,  
физический факультет, кафедра общей физики  
Тел.: +7 495 939 16 82; e-mail: [info@physics.msu.ru](mailto:info@physics.msu.ru)

Подпись Манцызова Бориса Ивановича УДОСТОВЕРЯЮ:

Ученый секретарь Ученого совета  
физического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова,  
доктор физико-математических наук,  
профессор

В.А. Карavaев

«\_17\_» ноября 2023 г.