

**ОТЗЫВ 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»**

Диссертационное исследование Н.Ю. Кузнецова служит продолжением традиционных для признанной школы МГУ исследований в области нелинейной оптики и одновременно развивает новые направления современной оптики и лазерной физики – топологическую оптику и нанооптику. Актуальность темы диссертации обосновывается, с одной стороны, наличием новых, возникших в связи с прогрессом в экспериментальных возможностях, принципиальных вопросов к теории, и с другой стороны, значительным прикладным потенциалом, в том числе, ввиду топологической защищенности информации, записываемой характеристиками топологических сингулярностей.

Диссертационная работа Н.Ю. Кузнецова состоит из Введения, четырех глав, заключения, списка цитируемой литературы и списка используемых обозначений. Общий объем диссертации составляет 132 страницы. Главы начинаются с обзора литературы и заканчиваются сводкой полученных результатов. Обширный список литературы включает 255 библиографических ссылок на публикации от 1833 до 2022 г. Хотя, видимо, это отвечает ГОСТу, но не удобно, что список составлен в алфавитном порядке частью по авторам, а частью по названиям их статей.

Переходя к оценке содержания диссертации отметим, что рассматриваемая область необычна для традиционной оптики и изобилует сложностями и неоднозначностями уже в терминологии; нетривиальны и требуют разработки и сами методы характеристики сингулярностей, особенно применительно к непараксиальной оптике. Во многих случаях диссертанту предстояло предлагать русскую терминологию и разрабатывать

новые алгоритмы поиска сингулярностей и определения их индексов. Эта задача частично облегчалась опытом и заделом, уже накопленным в коллективе руководителя диссертанта.

Введение представляет краткую историю сингулярности различных полей, преимущественно электромагнитных. Диссертант приводит сведения как о первых, так и о современных исследованиях в этой области, демонстрируя хорошее знание предмета и широту кругозора. В то же время хотелось бы обратить внимание на исследования сингулярностей в сфокусированном оптическом пучке В.С. Игнатовского, опубликованные в первом томе Трудов ГОИ.

В первой главе приводится оригинальный численный алгоритм нахождения сингулярных линий с чисто линейной и чисто круговой поляризацией по заданному распределению напряженности монохроматического электромагнитного поля. Эффективность метода доказывается сравнением с «прямыми» подходами. Разработанный метод служит инструментом, используемым в последующих главах диссертации.

Глава 2, помимо методических разработок, содержит решение ряда конкретных задач – топологической структуры сингулярностей излучения, рассеянного кремниевой или золотой наночастицей, а также планарным метаматериалом, элементарная ячейка которого состоит из двух металлических пластин. Продемонстрированы важные отличия топологии (числа замкнутых линий чисто линейной поляризации, зацеплений, оптических лент Мебиуса) в случае диэлектрической и металлической частицы. Для полноты картины здесь хотелось бы увидеть и переход при плавном изменении диэлектрической проницаемости частицы между использованными предельными значениями. По поводу метаматериала имеет смысл сделать следующее замечание. Структура поля находилась здесь численным решением уравнения типа Гельмгольца (2.30) с граничными условиями на границах расчетной области (2.31) и (2.32). Однако, не все решения уравнениями (2.30) служат решениями исходных уравнений

Максвелла, поскольку требуется еще выполнение условия для электрической индукции \mathbf{D} : $\operatorname{div} \mathbf{D} = 0$. Далее, граничные условия являются приближенными (кроме того, (2.31) содержит явную опечатку). Они сформулированы для плоских волн, к которым должны приближаться рассеянные волны на больших расстояниях от рассеивающего объекта. Последнее требование значительно увеличивает необходимый размер расчетной области. Можно было бы предложить диссертанту рассмотреть возможность использования «точных» интегральных граничных условий [Н.Н. Розанов, Г.В. Ходова. Опт. спектр. **61**, 198 (1986)], свободных от этого недостатка. Кроме того, хотелось бы видеть обсуждение проблемы расходимости поля на краях металлических пластин.

Третья глава включает детальное определение топологических (поляризационных) сингулярностей гауссовых (фундаментального и высших порядков) и супергауссова пучков, сфокусированных параболическим зеркалом. Структура поля получена численно, а для проверки алгоритма использовалось известное в литературе аналитическое решение. В диссертации показано, что на оси пучка поляризация чисто линейная, а вблизи этой оси имеются две линии с чисто круговой поляризацией. Найдено, что линии с такой поляризацией могут образовывать узлы. Примечательно обнаруженное несохранение индекса зацеплений линий и динамика процесса изменения индекса. В этой главе, как и в главе 2, предсказано наличие ранее не исследованных типов оптических лент и проведено их изучение.

Заключительная, четвертая глава диссертации посвящена несколько отличающемуся от предыдущих вопросу, так как относится к области параксиальной оптики. Задача также имеет другой характер – в первой части главы требуется определить коэффициенты керровской нелинейности изотропной гиротропной среды по распределениям поля на входе и выходе из среды. Объединяет эти задачи с основными задачами диссертации акцент на поляризационные сингулярности излучения. Здесь диссертант блеснул успешным использованием современных методов нейронных сетей и

глубокого машинного обучения. Показано, что использование входных пучков с поляризационными сингулярностями позволяет повысить точность определения коэффициентов нелинейности практически на порядок по сравнению со случаем пучков без сингулярностей. Заметим, что формулы (4.4) диссертации и (22) автореферата для исходного поля супергауссова пучка содержат опечатки (различающиеся в (4.4) и (22)). Во второй части главы найден механизм генерации второй гармоники в изотропной хиральной среде, на которую падает пучок-импульс излучения с фазовыми и поляризационными сингулярностями. Это связано с пространственной и временной нелокальностью оптического отклика среды.

Оригинальность и достоверность полученных в диссертации результатов подтверждается многочисленными публикациями в высокорейтинговых журналах. Автореферат достаточно полно раскрывает содержание диссертации.

В целом, диссертационное исследование Н.Ю. Кузнецова соответствует специальности 1.3.19 – «Лазерная физика», а именно следующим ее направлениям: 3. Нелинейная оптика; генерация гармоник и суперконтинуума; вынужденные рассеяния; нелинейно-оптические материалы; фотонные кристаллы и устройства, а также 4. Оптические материалы и устройства; голография; интегральная оптика; микроскопия; оптические сенсоры, измерения и метрология; плазмоника и оптика поверхности; физическая оптика.

Указанные выше замечания ни в коей мере не ставят под сомнение значимость этого яркого диссертационного исследования, новизну и достоверность его результатов. Диссертация отвечает требованиям, установленным Московским государственным университетом имени М.В. Ломоносова к таким работам. Содержание диссертации соответствует специальности 1.3.19 – «Лазерная физика» (по физико-математическим наукам), а также 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 Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова.

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

Официальный оппонент:

доктор физико-математических наук,
главный научный сотрудник Отделения физики плазмы,
атомной физики и астрофизики
ФГБУН «Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе
Российской академии наук»

Розанов Николай Николаевич

07.11.2023

Контактные данные:

тел.: _____, e-mail:

Специальность, по которой официальным оппонентом
защищена диссертация:

01.04.06 – Оптика

Адрес места работы:

194021, Санкт-Петербург, Политехническая ул., д. 26,
ФГБУН «Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе Российской
академии наук», Отделение физики плазмы, атомной физики и астрофизики
Тел.: 7(812) 2972245; e-mail: post@mail.ioffe.ru