

ОТЗЫВ

официального оппонента

на диссертационную работу Соколенко Богдана Валентиновича

«Эволюция поляризационных сингулярностей в параксиальных пучках, распространяющихся ортогонально оптической оси одноосного кристалла», представленную на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.05 - оптика.

Актуальность темы исследований. Одним из самых перспективных направлений исследований в области физики за последнее десятилетие стало направление сингулярной оптики. Интерес к нему неслучаен и вызван удивительными свойствами света с вихревыми свойствами, которые находят применение в самых разнообразных областях. Прежде всего, нужно упомянуть о возможности кодирования информации на состояниях с собственным орбитальным угловым моментом. На сегодняшний день наличие экспериментальных установок, предназначенных для мультиплексирования сигналов в сетях, где носителем информации является свет с орбитальным угловым моментом (оптический вихрь), позволяет спрогнозировать значительные перспективы роста скорости передачи данных в оптических сетях. Также оптические вихри используются для сканирования поверхностей с разрешением, значительно превышающим дифракционный предел. Интересным представляется применение сингулярных пучков для манипуляции микрочастицами.

Поэтому возникает настоятельная необходимость не только генерировать сингулярные пучки, но и управлять их пространственным расположением. Среди множества методов генерации оптических вихрей можно выделить методы, основанные на использовании анизотропных кристаллов. В частности, при прохождении гауссова пучка через систему одноосный кристалл-четвертьволновая пластинка параллельно оптической оси кристалла происходит генерация оптических вихрей. При этом совершенно неясно, как скажется на генерации вихрей, например, отклонение входящего пучка от направления оси кристалла. Кроме того, сканирование поверхностей с помощью оптических вихрей требует выполнения сложного анализа фазы прошедшего через исследуемую систему поля. В этой связи исследование свойств поляризационных и фазовых сингулярностей полей в кристаллах, а также поиск способов управления пространственной структурой сингулярных пучков в них является актуальной задачей.

Связь с научными программами, приоритетными направлениями развития науки и техники.

Диссертационная работа выполнялась на кафедре общей физики Таврического национального университета в рамках научно-исследовательских работ по проектам Министерства образования Украины, зарегистрированных в Укр. ИНТЭИ: №0100U001363 «Дислокационные реакции в непараксиальных возмущённых лазерных пучках в области фокуса», №0103U001227 «Процессы рождения, уничтожения и эволюции оптических вихрей в неоднородных анизотропных средах», №0106U003189 «Структурные превращения и стабилизация квазимонохроматических сингулярных пучков в оптических волокнах и кристаллах», №0109U002370 «Конверсия оптических вихрей в хиральных фотонно-кристаллических волокнах с управляемыми запрещёнными спектральными зонами».

Содержание диссертации. Диссертационная работа состоит из вступления, пяти разделов, выводов и списка цитируемой литературы из 117 наименований. Материалы работы изложены на 145 страницах, общее число рисунков - 65.

Для достижения основной цели диссертации – исследования процессов, сопровождающих распространение в одноосном кристалле пучков, несущих поляризационные и фазовые сингулярности, в направлении близком к нормали кристаллографической оси, а также влияния тонкой изотропной пластинки с постоянной толщиной на фазу прошедшего через неё сингулярного пучка, диссертантом был решён ряд проблем. **В первой главе** автором был сделан обзор методов описания эволюции электромагнитного поля в одноосных кристаллах, таких как метод спектрального интеграла и функциональный метод Киселёва. **Во второй главе** диссертантом была изучена эволюция пучка с фазовой сингулярностью, смещённой относительно оси пучка на некоторое расстояние, распространяющегося ортогонально оптической оси одноосного кристалла. Было показано, что при повороте кристалла на угол ψ фазовая сингулярность смещается по окружности на угол 2ψ , центр которой не совпадает с осью пучка. **В третьей главе** рассмотрено распространение под малым углом к нормали оптической оси кристалла пучка, несущего внеосевой оптический вихрь. Показано, что поворот кристалла на угол ψ приводит к повороту пучков на угол 2ψ . Далее было показано, что наклонное к оптической оси кристалла падение эллиптически деформированного несингулярного пучка приводит к генерации массива оптических вихрей. Кроме того, автором предложен способ формирования массива сингулярных пучков с заданными пространственными характеристиками. Данный способ основывается на последовательном разделении исходного пучка на обыкновенные и необыкновенные пучки после прохождения нескольких одноосных кристаллов, которые могут независимо поворачиваться вокруг оси системы и тем самым задавать положение образовавшихся пучков. **В четвёртой главе** рассматривается распространение эллиптически

деформированного сингулярного пучка нормально к оптической оси одноосного кристалла. При этом установлено, что изменение размеров кристалла в направлении распространения входящего пучка в пределах его длины волны λ приводит к быстрым осцилляциям орбитального углового момента от -1 до 1 (в безразмерных единицах). В пятой главе проведён теоретический анализ распределения фазы оптического вихря, прошедшего через тонкую изотропную пластинку с переменной толщиной. Предсказано, что смещение фазового транспаранта приводит в общем случае к смещению оптического вихря в направлении, отличном от направления смещения транспаранта. Экспериментально установлено, что этот эффект может быть использован для определения толщины пластинки с точностью до $\lambda / 40$.

Научная новизна результатов. Среди результатов, полученных автором, хочется отметить следующие:

1. Теоретически и экспериментально показано, что эволюция сингулярного пучка со смещённым оптическим вихрем различна в двух случаях: а) оптический вихрь в пучке на входе описывает круговую траекторию, в то время как оптическая ось кристалла неподвижна; б) исходный оптический вихрь строго зафиксирован, в то время как оптическая ось кристалла вращается. Представлена модель оптического редуктора.

2. Впервые теоретически и экспериментально показано, что при распространении эллиптически деформированного гауссового пучка под малыми углами к перпендикуляру к оптической оси кристалла в результирующей циркулярно поляризованной компоненте формируется массив оптических вихрей, форма и конфигурация которого зависит от поворота кристаллографических осей.

3. Впервые теоретически и экспериментально показано, что изменение продольных размеров одноосного кристалла в пределах длины волны падающего светового пучка приводит к появлению ярко выраженных периодических всплесков орбитального углового момента выходящего сингулярного пучка.

4. Впервые экспериментально и теоретически показано, что анализ траекторий и фаз скалярных сингулярностей в оптических пучках позволяет с точностью доли волны падающего излучения определить толщину изотропных пластинок со ступенчатым профилем. Предложена модель оптического вихревого сканирующего микроскопа.

Обоснованность и достоверность научных результатов и выводов диссертации обеспечивается адекватностью изучаемых моделей и методов исследований, хорошим совпадением теоретических результатов с рядом экспериментальных результатов, полученных в ходе проведённых исследований.

Научное и практическое значение полученных результатов. Полученные в диссертационной работе результаты существенно расширяют

знания о процессах распространения сингулярных и несингулярных пучков в кристаллах. **Научная ценность** работы состоит в том, что в ней получены аналитические решения волнового уравнения, которые позволяют описать эволюцию электромагнитного поля в одноосном кристалле вдоль направления, близкого к нормали оси кристалла. Важным вкладом соискателя в теорию оптических волн в кристаллах является описание особенностей эволюции фазовых и поляризационных сингулярностей пучка в ходе распространения в кристалле. **Практическая ценность** полученных аналитически и подтверждённых экспериментально результатов состоит в том, что они позволяют определить параметры кристалла и условия его возбуждения для генерации массивов сингулярных пучков, управления их характеристиками и взаимным пространственным расположением, а также создать устройства для сканирования прозрачных поверхностей с разрешением, превышающим дифракционный предел.

Переходя к критике, хочется отметить, что в диссертации встречаются неточности изложения, например:

1. Вопреки утверждению на стр. 41, формула (2.9) не описывает пучок, наклонённый в произвольной плоскости под углом θ к оси z . Чуть ниже формулы находится странное утверждение, что координата y меняется с расстоянием z , что противоречит их независимости.

2. Из текста диссертации неясно, чем при падении пучка вдоль нормали к оптической оси кристалла отличаются случаи вращения кристалла относительно неподвижного входящего пучка со смещённым вихрем и вращения пучка со смещённым вихрем относительно неподвижного кристалла. Казалось бы, ситуация абсолютно симметрична, но тем не менее, наблюдается асимметрия.

Подобные неточности иногда затрудняют понимание материала. По его существу также можно сделать замечания, среди которых наиболее значимыми являются:

3. При подстановке в уравнение (1.49) уравнения (1.56) строго следует не уравнение (1.55), а уравнение, в котором в правой части стоит градиент произвольной скалярной функции χ . При этом автор не поясняет физический смысл выбранной калибровки $\chi = 0$. Возникает вопрос, не теряется ли класс решений?

4. При рассмотрении процессов преобразования проходящего через оптический редуктор пучка не проведена оценка влияния пластинки $\lambda/4$, которая в реальном случае представляет собой кристалл и может влиять на поляризацию и форму проходящего пучка.

5. В разделе, посвященном исследованию оптического редуктора, не содержится решения задачи о связи двух произвольных точек в плоскости

наблюдения вихревыми траекториями из класса, допускаемых преобразованиями, осуществляемыми редуктором над входящим пучком. В результате остается неясным, можно ли захватить произвольно расположенную в плоскости наблюдения частицу и переместить ее в наперед заданную точку. Не получается ли так, что часть рабочего пространства, в котором может располагаться частица, оказывается в «мёртвой зоне» редуктора, где её захват невозможен?

Приведённые замечания имеют частный характер и ни в коей мере не влияют на общую оценку диссертации, которая представляет собой законченное научное исследование, выполненное на достойном международном уровне. Её основные положения широко представлены в научных публикациях мирового класса и хорошо известны в международном научном сообществе. Результаты работы представлены на нескольких международных конференциях. Автореферат полностью отражает содержание диссертационной работы.

Использование результатов диссертационной работы. Полученные в диссертации результаты могут быть использованы в научных разработках институтов и высших учебных заведений, которые специализируются в областях оптики, лазерной физики и обработки информации (например, Институт прикладной физики РАН, Физический институт им. П.Н. Лебедева РАН).

Вывод. Диссертационная работа Соколенко Богдана Валентиновича «Эволюция поляризационных сингулярностей в параксиальных пучках, распространяющихся перпендикулярно оптической оси одноосного кристалла» отвечает всем требованиям ВАК к диссертации, представленной на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.05 – оптика, а сам автор работы заслуживает присуждения искомой учёной степени.

Официальный оппонент:

ст. преподаватель Южного филиала

Национального университета

биоресурсов и природопользования Украины

«Крымского агротехнологического университета»,

кандидат физико-математических наук

Лапин Б.П.

Подпись Лапина Бориса Петровича заверяю

Начальник отдела кадров



Касимова С.В.