

ОТЗЫВ

официального оппонента

на диссертационную работу Соколенко Богдана Валентиновича

“Эволюция поляризационных сингулярностей

**в параксиальных пучках, распространяющихся перпендикулярно
оптической оси одноосного кристалла”**,

представленную на соискание учёной степени кандидата физико-
математических наук по специальности

01.04.05 – Оптика.

Актуальность темы исследования. Работа Б.В. Соколенко посвящена исследованию преобразований параксиальных пучков, переносящих скалярные и векторные сингулярности, при распространении в анизотропных средах (в частности, одноосных кристаллах). Теоретически и экспериментально проанализирована динамика сингулярностей, особенности их взаимодействия с анизотропными средами. Особое внимание уделено ранее не исследованным деталям распространения пучков с оптическими вихрями при малом отклонении оси пучка от перпендикуляра к оптической оси кристалла.

Ранее рассмотренные физические механизмы и принципы формирования векторных полей со сложной конфигурацией предусматривали распространение оптических пучков вдоль оптической оси одноосного кристалла или при малом наклоне к ней. В данной работе особые параметры оптической системы, такие как поворот кристалла и его наклон относительно оси пучка, позволяют осуществлять разнообразные наперед заданные распределения поляризации и фазы в поле пучка после кристалла.

Возможность создания сложных векторных структур световых полей, управление состоянием поляризации, амплитудно-фазовым профилем и, как следствие, угловым моментом светового пучка посредством анизотропных сред находит важное применение в устройствах манипуляции микрообъектами, а также в системах кодирования, передачи и обработки информации. В связи с этим формирование и контроль параметров пучка и положения оптических сингулярностей является **актуальной проблемой современной оптики**, а данная работа восполняет пробел в исследовании взаимодействия анизотропных сред с сингулярными пучками.

Научная новизна полученных результатов. В диссертации представлена серия новых данных, которые не имеют аналогов в литературных источниках. Впервые выполнены теоретические расчеты и экспериментальное изучение динамики внеосевого оптического вихря во вращающемся одноосном кристалле; определены траектории как самого вихря, так и осей пучков,

образованных в процессе двулучепреломления. Такие результаты представляют несомненный интерес и являются важными для создания инструментов манипулирования микрочастицами посредством оптического захвата, известных как «оптические пинцеты». На основе этих исследований автором предложена модель устройства, в котором благодаря регулярным вращениям входного пучка и кристалла реализуется заданное движение оптических ловушек в поперечном сечении выходного пучка.

Безусловной новизной отличаются также результаты исследования взаимодействия оптических вихревых пучков с тонкими изотропными пластинками, которые позволили разработать эффективные процедуры оптической диагностики субволновых неоднородностей объектов со сложной геометрией поверхности.

Степень обоснованности и достоверности научных положений. Результаты и выводы диссертации базируются на грамотном и всестороннем применении современных методов научного анализа. Теоретические расчеты используют методы параксиальной оптики, эффективные математические средства теории дифференциальных уравнений в частных производных, интегральных преобразований, теории специальных функций. Конкретные расчеты доведены «до числа», а в случае более сложных систем привлекаются современные численные методы исследования оптических систем, включая подходы, основанные на компьютерном моделировании. Заслугой автора является то, что главные теоретические выводы подтверждены экспериментами, которые проведены с высокой точностью. При этом использованы методы поляризационного и Фурье анализа, а также интерферометрии и Стокса-поляриметрии.

Полученные диссертантом результаты согласуются с результатами других авторов, относящимися к аналогичным системам. Методы, модели и образцы, выбранные для детального исследования, соответствуют задачам диссертации, свидетельствуют об адекватности и осознанности использованных подходов.

Научное и практическое значение полученных результатов состоит в том, что они показывают возможности целенаправленной генерации оптических вихрей единичного топологического заряда с заданными свойствами посредством одноосных кристаллов. Кроме того, в работе описаны возможности создания поляризационных сингулярностей в результате суперпозиции обыкновенного и необыкновенного пучков, что является важным при использовании лазеров большой мощности. Результаты работы подсказывают пути прецизионного управления параметрами сингулярностей (как и пучков в целом) с помощью механических поворотов кристалла и изменения его

температуры. Несомненно важным является практическое значение исследований в области микроскопии на основе скалярных сингулярностей. Представленные результаты могут служить основой «вихревого сканирующего микроскопа» – принципиально нового прибора, который посредством анализа распределения фазы вихревого пучка позволяет определять толщину оптически прозрачных объектов в узких диапазонах и с точностью, значительно превосходящей возможности классических конструкций оптических микроскопов.

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 запрещенными спектральными зонами».

Содержание диссертации. Диссертация написана по общепринятой схеме и изложена на 145 страницах, включая 65 рисунков. Работа состоит из Вступления, пяти разделов и Заключения. Перечень цитируемой литературы включает 117 наименований.

Первый раздел традиционно содержит обзор литературы, в котором рассмотрены стандартные методы анализа распространения и преобразования параксиальных пучков в одноосном кристалле, в том числе перпендикулярно оптической оси. Он завершается обоснованием постановки задачи и выбора методов исследования, в частности, аналитических подходов на основе поверхностей Френеля, метода комплексных амплитуд Киселева в сочетании с методом Фэлсена.

Во втором разделе анализируются решения системы параксиальных волновых уравнений для случая как осесимметричных, так и эллиптически деформированных пучков, при условии, что ось пучка ортогональна оптической оси кристалла. Показано, что при падении осесимметричного пучка необыкновенный пучок эллиптически деформируется, в то время как обыкновенный пучок испытывает лишь обычную расходимость, что проявляется в изменении поперечного масштаба по мере распространения в анизотропной среде. Особое внимание уделено рассмотрению двух случаев эволюции пуч-

ков со смещенным (внеосевым) оптическим вихрем: в первом случае оптическая ось кристалла фиксирована в лабораторной системе координат, в то время как исходный смещенный вихрь вращается вокруг оси пучка; во втором случае вращение оптической оси кристалла происходит при неподвижном входном пучке. Теоретически и экспериментально показано, что при фиксированном исходном пучке и вращении кристалла вокруг оси пучка, оптический вихрь в необыкновенном пучке совершает двойной оборот.

В третьем разделе проанализирован случай наклона исходного пучка относительно перпендикуляра к оптической оси вращающегося кристалла, а именно процесс наклонного распространения пучка как с осевым, так и со смещенным вихрем. Исследована модель «оптического редуктора» – устройства, задавая различные параметры которого, можно получать довольно сложные траектории сингулярностей в сечении выходных пучков, что позволяет локализовать и ориентировать захваченные с их помощью микрочастицы в требуемой области наблюдения. Особое внимание уделено генерации цепочек вихрей при распространении эллиптически деформированного гауссова пучка под малыми углами к перпендикуляру к оптической оси кристалла.

В четвертом разделе найдено решение уравнений параксиальной оптики для случая распространения эллиптического вихревого пучка с циркулярной поляризацией ортогонально входной грани кристалла. Показано, что по мере эволюции таких пучков возникают периодические осцилляции спинового и орбитального углового момента, с резкими «всплесками» и переменной знака (инверсия топологического заряда осевого вихря). Этот процесс моделирован экспериментально, причем для прецизионного управления длиной оптического пути пучка в кристалле использовано тепловое расширение кристалла в термостате.

В пятом разделе рассмотрено практическое применение оптических вихрей для создания так называемого «вихревого сканирующего оптического микроскопа», позволяющего исследовать геометрию поверхности образца посредством анализа искажений фазовой сингулярности. Описана процедура анализа фазового профиля вихря, несущего информацию о топологии образца, выявлены и экспериментально подтверждены зависимости этого профиля от характера падающего излучения в системах с различной апертурой. Предложена методика детектирования и измерения субволновых сдвигов и деформаций, которая может быть использована для микроскопии сверхвысокого разрешения.

Переходя к **критике** диссертационной работы, прежде всего отмечу, что в тексте нередко встречаются неудачные обороты и стилистические неточно-

сти. Например, на с. 13, 67 и других выражения «траектории сингулярных пучков», «траектории необыкновенного пучка» стоят там, где речь идет о траекториях сингулярных точек в поперечном сечении пучка.

В целом работа отличается высоким качеством графического оформления, которое включает цветные иллюстрации, умело составленные схемы экспериментальных установок, информативные и удобно читаемые коллажи. Тем более обидно, когда в рисунках встречаются ошибки комментирования или недостаточно продуманная система презентации. Например, почему значения u отложены по горизонтали, а x по вертикали? На с. 84, рис. 3.16 видна одна C -точка, но в комментариях речь идет о двух сингулярностях; аналогично, на с. 105 говорится, что «рождается 2 топологических диполя», а на рис. 4.9 виден только один диполь.

Подобные неточности досадны, но не слишком затрудняют понимание работы. Более серьезны шероховатости в формулировке обязательных рубрик, например, на с. 8. Конечно, «провести аналитический обзор» и «выявить недоработки» – дело полезное, но это не может быть «задачей исследования»; такая работа делается до постановки всяких задач. Далее, на с. 9 задача 6 «исследовать фазу волны, прошедшей ... пластинку с определенной геометрией поверхности» выглядит слишком обобщенно; по-видимому, все же имеются в виду какие-то конкретные особенности поверхности, которые должны быть названы.

До сих пор замечания касались в основном формы подачи материала, но и к его существу тоже можно предъявить претензии. Прежде всего, не кажется удачным название диссертации: все же в ней речь идет не столько о поляризационных сингулярностях, как о вихрях в той или иной поляризационной компоненте, т.е. скалярных сингулярностях. Возможно, такое впечатление возникает из-за последнего раздела, который целиком посвящен именно скалярным сингулярностям и который, в принципе, можно было бы и опустить: материалов первых 4-х разделов вполне достаточно. С другой стороны, порой кажется, что автор вообще не склонен четко различать упомянутые типы сингулярностей; например, изложение материалов разд. 4.2 и 4.3 ведется то на языке «поляризационных сингулярностей» (C -точек), то на языке «скалярных сингулярностей» (вихрей), и переход от одного способа к другому происходит «без предупреждения», что иногда ставит читателя в тупик.

И, наконец, вернемся к пресловутым «всплескам», которые составляют, пожалуй, самый интересный физический результат диссертации (разд. 4.2, 4.3). На мой взгляд, работа бы много выиграла, если бы автор обратил больше внимания на физическое истолкование этого удивительного явления.

Здесь главным образом хотелось бы уяснить, как согласуется субволновая «длина конверсии заряда вихря» с параксиальным характером пучка? Ведь все характерные масштабы параксиального пучка должны, «по определению», намного превосходить длину волны.

Указанные недостатки не снижают ценности работы в целом, которая представляет собой законченное исследование, открывающее новые интересные перспективы как фундаментального, так и прикладного характера. Работа Б.В. Соколенко нашла признание мирового научного сообщества, что подтверждается публикацией ее материалов в престижных международных изданиях. Автореферат полностью соответствует содержанию диссертации.

Использование результатов диссертационной работы. Полученные в диссертации новые научные результаты могут быть использованы в научных и научно-прикладных разработках институтов и высших учебных заведений Министерства образования и науки и Национальной академии наук, которые специализируются в отраслях оптики, лазерной физики и проблем передачи информации (например, Институт физики НАН Украины, Институт электроники НАН Украины, Одесский национальный университет им. И.И. Мечникова, Таврический национальный университет им. В.И. Вернадского), а также при производстве нового оптического оборудования (например, Феодосийский оптический завод, НПО «Оптика»).

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 автор работы заслуживает присуждения искомой учёной степени.


Официальный оппонент:

Зав. лаборатории оптики и лазерной физики

НИИ физики

Одесского национального университета

имени И.И. Мечникова,

доктор физико-математических наук  Бекшаев А.Я.

Підпис Бекшаєва Олександра Яновича засвідчую:

Вчений секретар ОНУ імені І. Мечникова 

Курандо С.В.



29.08.2014р