

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

на диссертационную работу Гервасиева Михаила Дмитриевич

«Исследование нелинейной пространственно-временной эволюции излучения в многомодовых волокнах с градиентным профилем показателя преломления методом модовой декомпозиции», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.6 «Оптика»

Актуальность темы исследования.

За последнее десятилетие было опубликовано множество работ, демонстрирующих неизвестные ранее нелинейные эффекты в многомодовых волокнах. Большой потенциал применения в свете их открытия делает исследования распространения излучения в данных волокнах вновь актуальными. Среди недавно обнаруженных эффектов выделяются керровская самоочистка пучка, которая заключается в том, что при заведении импульсного излучения в волокно с параболическим профилем показателя преломления и его распространении в слабонелинейном режиме на выходе наблюдается пучок с колоколообразным профилем, высоким значением параметра качества, устойчивый к механическим воздействиям на волокно. Другим интересным эффектом является пространственная чистка стока излучения при возникновении в градиентном световоде вынужденного комбинационного преобразования. Данные эффекты противоречат традиционному представлению о том, что излучение на выходе из многомодового волокна обладает низким качеством и спекл-структурой и нуждаются в теоретической трактовке. Данная задача в свою очередь требует развития методов количественного анализа многомодового излучения, поэтому диссертационная работа направлена на решение важной и актуальной проблемы.

Общая характеристика и содержание работы.

Диссертационная работа соответствует паспорту специальности 1.3.6 «Оптика», в частности, п.3 « Оптика световодов».

Диссертация состоит из введения, обзора литературы, описания методологии и экспериментальной части, а также заключения и библиографического перечня. Объем диссертации составляет 101 страницу, включая 41 рисунок. Список литературы включает в себя 123 наименования.

Во Введении обоснована актуальность диссертационной работы, сформулированы цель и задачи, аргументирована научная новизна исследований, показана практическая значимость полученных результатов, представлены защищаемые положения, выносимые на защиту, а также дано описание структуры работы.

Первая глава посвящена введению базовых понятий о многомодовых волокнах и обзору литературы по исследованиям нелинейных эффектов в данных волокнах. Приводятся наиболее важные работы, а также краткий анализ преимуществ и недостатков многомодовых волокон. Представлены такие эффекты как керровская самоочистка пучка и чистка пучка, сформированного под действием вынужденного комбинационного рассеяния. Описано хронологическое развитие подходов к трактовке данных явлений, в том числе статистический. Также приведен обширный обзор методов характеристики многомодового излучения, в конце раздела обосновывается выбор метода модовой декомпозиции на основе пространственной фазовой модуляции в качестве основного

Во второй главе описывается упомянутый выше метод модовой декомпозиции на основе корреляционного фильтра. Приведены математическое обоснование работоспособности метода, описание процесса синтеза фазовых масок для восстановления значений амплитуд и относительных фаз, изложение принципов работы и калибровки пространственного модулятора света, являющегося ключевым устройством в экспериментах по модовой декомпозиции

В третьей главе отражены основные экспериментальные результаты работы. Первым делом диссертантом было проведено численное моделирование процесса декомпозиции с целью выяснить степень влияния различных факторов на точность восстановления амплитуд и фаз мод. Затем были проведены успешные эксперименты по декомпозиции пучков, распространяющихся в волокне в линейном режиме (спекл-пучков). Далее приведены результаты исследования эффектов керровской самоочистки, чистки пучка в волоконном лазере на основе вынужденного комбинационного рассеяния, термализации пучков с ненулевым орбитальным угловым моментом.

В заключении представлены основные результаты работы, и предложены потенциальные направления развития работы.

Среди **основных результатов диссертации** следует отметить следующие:

- Исследован эффект керровской самоочистки, возникновение которого является следствием синхронизации фаз поперечных мод и установления равновесного распределения амплитуд, указывающее на термализацию излучения. Равновесное распределение описывается распределением Рэлея-Джинса, а при распространении излучения сохраняются такие величины как продольная компонента полного импульса и полный орбитальный угловой момент.
- Проанализирован модовый состав стока излучения возникающего в результате генерации в многомодовом волоконном ВКР-лазере. Распределение амплитуд наиболее точно описывается экспоненциальным распределением, указывающем на преобладающее воздействие линейной связи между модами соседних порядков ввиду намотки волокна на катушку.

Достоверность и обоснованность результатов подтверждается использованием надежных экспериментальных методик, широко применяемых в профессиональном сообществе. Основные результаты апробированы выступлениями с докладами на конференциях всероссийского и международного масштаба, а также опубликованы в реферируемых российских и международных журналах. Научные положения и выводы, сформулированные в работе соискателя, являются обоснованными.

Практическая значимость диссертации.

Результаты данной работы могут лечь в основу создания мощных многомодовых волоконных лазеров с синхронизацией как продольных, так и поперечных мод.

Публикации, отражающие основное содержание диссертации.

Материалы диссертации опубликованы в 6 статьях в рецензируемых российских и зарубежных научных журналах, среди которых имеются публикации в высокорейтинговых журналах Optics Letters, Optics Express и Physical Review Letters.

В качестве характеристики хотелось бы отметить, что текст диссертации написан логично и лаконично, а *автореферат* полностью отражает содержание работы. Число ошибок невелико. Был проделан большой объем разноплановой работы, включающей в себя проведение и постановку экспериментов. Полученные результаты позволяют оценить автора как высококвалифицированного специалиста, обладающего необходимым набором навыков для проведения комплексных научных исследований.

Замечаний принципиального характера по работе нет. Однако, несмотря на высокий уровень работы, существует ряд вопросов:

1. На стр. 30 формула (2.5) сделан вывод о том, что в разложении экспоненты по функциям Бесселя важным является лишь функция Бесселя 1-го порядка. При этом

доказательство этого утверждения не приведено, хотя его сделать несложно, проведя численный эксперимент.

2. Я не нашел обсуждения поляризационных эффектов. В спекл-поле при распространении в многомодовом световоде проявляются поляризационные характеристики мод. При этом существуют оптические аналоги эффекта Магнуса (Б.Я. Зельдович, В.С. Либерман, 1990, А.В. Воляр, С.Н. Лапаева, 1992). На Рис.3.4. не указано, какой источник излучения (поляризованного или неполяризованного) использовался в эксперименте, то же самое по Рис.3.9.

3. В 70-х и 80-х годах очень популярными были работы, в которых распространение многомодовых пучков в средах с квадратичным поперечным распределением показателя преломления, в частности в GRIN волокнах описывалось как распространение астигматического внеосевого гауссова пучка, размеры пятен которого, радиусы кривизны и координаты центров амплитуды и фазы осциллируют (L.Casperson, 1973, Z Gress and S Cruz у Cruz, 2017). Это представление основано на свойствах разложения по модам Гаусса-Лагерра (Д.Маркузе, Оптические резонаторы и волноводы. 1974) и решении параксиального волнового уравнения. Соответственно, учет нелинейности материала волокна приводит к изменению размеров пучка, которое легко рассчитывается (P. A. Belanger and C. Pare, 1983), при этом мощность пучка, необходимая для самоканализации намного меньше, чем мощность самофокусировки, из-за того, что нелинейность должна компенсировать только рассогласование диаметра входного пучка с диаметром пучка моды волокна с квадратичным профилем показателя преломления, что требует значительно меньшего нелинейного вклада. Это в некоторой степени напоминает самоочистку за счет эффекта Керра, что можно было бы обсудить в работе.

Заключение.

Диссертационная работа Гервасиева М.Д. «Исследование нелинейной пространственно-временной эволюции излучения в многомодовых волокнах с градиентным профилем показателя преломления методом модовой декомпозиции» полностью удовлетворяет требованиям ВАК, предъявляемых к кандидатским диссертациям, а ее автор заслуживает присуждения степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.6. «Оптика».

Официальный оппонент:

Мельников Леонид Аркадьевич,
доктор физико-математических наук, профессор
заведующий кафедрой приборостроения
Саратовского государственного технического университета имени Ю.А. Гагарина
410054, г. Саратов, ул. Политехническая, 77.
Тел. +7(8452998847), эл. почта: lam-pels@yandex.ru

Л.А. Мельников

«10» ноября 2023г.

Подпись Мельникова Л.А. удостоверяю:

Начальник Управления кадров ФБГОУ «Саратовский государственный технический университет им. Гагарина Ю.А.»



Н.Д. Кузнецова

«10» ноября 2023г.