

ОТЗЫВ

научного руководителя о диссертации Гервазиева Михаила Дмитриевича
«Исследование нелинейной пространственно-временной эволюции
излучения в многомодовых волокнах с градиентным профилем
показателя преломления методом модовой декомпозиции»,
представленной на соискание степени кандидата физико-математических
наук по специальности 1.3.6 «Оптика»

Последнее десятилетие интерес к многомодовым (ММ) оптическим волокнам неуклонно растёт, что обусловлено как развитием источников и средств анализа лазерного излучения, так и существенным увеличением уровня мощности передаваемого сигнала. Наличие дополнительной, пространственной степени свободы не только открывает новые возможности для управления групповыми скоростями, получения синхронизма при параметрических преобразованиях и синхронизации мод, генерации суперконтинуума, но и приводит к множеству новых фундаментальных эффектов, например керровской самоочистке пучка, увеличению яркости при ВКР-преобразовании и модовому солитонному самопреобразованию. Такие эффекты открывают возможности создания совершенно нового класса устройств, а сами исследования в этой области являются крайне актуальными и востребованными.

В начале работы М.Д. Гервазиеву была поставлена цель исследовать пространственно-временную эволюцию лазерного излучения при распространении в многомодовых оптических волокнах с градиентным профилем показателя преломления в нелинейном режиме. Для достижения поставленной цели необходимо было решить целый ряд задач:

- *Изучить теоретические основы и математический аппарат метода модовой декомпозиции (МД), а также усовершенствовать данный метод, сделав его применимым для излучения с большим количеством мод.* Соискателем была реализована численная модель метода, призванная верифицировать теоретические выкладки и оценить влияние различных экспериментальных особенностей (разрешение пространственного модулятора по фазе и пространству, шумы на камере) на точность восстановления амплитуд и фаз. Установлено, что на точность восстановления также существенное влияние оказывает так называемый эффект частотола, проявляющейся в случае, когда число пикселей дисплея оказывается не кратно выбранному периоду пространственной модуляции, а наиболее критичным параметром является положение центра первого дифракционного максимума, амплитуда излучения из которого и используется для восстановления распределения энергии по модам и относительных фаз.

- *Разработать экспериментальную установку для проведения процедуры МД*

излучения на выходе из ММ волокна. Результаты решения первой задачи позволили выявить наиболее критичные места экспериментальной установки, и собрать её таким образом, чтобы максимально нивелировать влияние паразитных эффектов. В итоге впервые были проведены успешные эксперименты по МД спекл-пучков на выходе из многомодового волокна, состоящих из порядка 80 мод. При этом разница между исходным и реконструированным пучками всегда оставалась относительно низкой, а полученные распределения энергии мод позволяют заключить, что для пучков малой мощности, распространяющихся в линейном режиме, моды среднего порядка содержат около половины полной энергии пучка.

- *Экспериментально пронаблюдать эффекты керровской и ВКР-чистки излучения, распространяющегося в GRIN ММ волокне.* Задача преимущественно состояла в поиске экспериментальных условий для наиболее яркого проявления эффектов и реализации в непосредственной близости установки по МД для изучения распределений энергии по модам в зависимости от различных условий — уровня мощности, условий заведения и пр., а её решение позволило перейти к следующему этапу — подробному исследованию зависимости распределений по модам от параметров эксперимента.

- *Провести эксперименты по МД излучения, сформированного под действием нелинейных эффектов (керровская самоочистка пучка, ВКР-чистка пучка и пр.).* Это ключевая задача всей работы, состоящая на самом деле из трёх подзадач. Первое, это исследование модового состава излучения при возникновении эффекта керровской самоочистки пучка при различных длительностях импульса (от сотен фемтосекунд до наносекунд). Соискателем было показано, что не смотря на видимое улучшение качества регистрируемого распределения интенсивности доля фундаментальной моды в итоговом распределении составляет величину всего 60-70%, а доля мод высших порядков спадает с увеличением значения главного квантового числа. При этом равновесное распределение хорошо описывается формулой Рэлея-Джинса, а фазы продольных мод оказываются зафиксированными начиная с определённого уровня мощности. Второе, это исследование распространения пучков, обладающих ненулевым орбитальным угловым моментом. Показано, что для таких пучков оказывается справедлива обобщенная формула Рэлея-Джинса и выполняются законы сохранения продольного импульса и полного углового момента. И, наконец, третье, это анализ модового состава стока излучения ВКР-лазера и излучения прошедшей накачки. Наиболее существенным здесь оказалось то, что характер распределения мод по главным квантовым числам оказывается близким к экспоненциальному закону. Это позволило разработать соответствующее теоретическое

описание, где распределение определяется в основном случайной связью между соседними модами.

Таким образом, М.Д. Гервазиев полностью справился с поставленными задачами, выполнив программу исследований на высоком международном уровне. Он обучался в аспирантуре Новосибирского государственного университета с 2018 года. За эти годы он зарекомендовал себя как инициативный, высококвалифицированный сотрудник, способный как к экспериментальным, так и теоретическим изысканиям. Очевидным является огромный объем проделанной работы. Помимо полученных навыков решения сложных научных задач и работы с современными измерительными приборами, стоит отметить и его способности к организации исследований в коллективе, в том числе международном. Всё вышеописанное позволяет сделать вывод о соискателе как о сформированном молодом специалисте, способном самостоятельно решать поставленные исследовательские задачи, а также доступно и понятно представлять результаты полученной работы. Соискатель является автором и соавтором в общей сложности 26-ти индексируемых печатных работ (включая тезисы конференций), 8 из которых опубликованы в рейтинговых рецензируемых российских и зарубежных журналах.

Результаты работы М.Д. Гервазиева демонстрируют глубокие знания в области нелинейной оптики и статистической физики, скрупулёзность при проведении экспериментов и прекрасную теоретическую подготовку. Выполненная диссертация на тему «Исследование нелинейной пространственно-временной эволюции излучения в многомодовых волокнах с градиентным профилем показателя преломления методом модовой декомпозиции» отвечает всем необходимым требованиям, установленным Положением о присуждении ученых степеней, утвержденным постановлением Правительства РФ №842 от 24.09.2013 г. (ред. от 11.09.2021 г.), а ее автор, Михаил Дмитриевич Гервазиев, заслуживает присуждения ему степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.6 «Оптика».

И. о. ведущего научного сотрудника ИАиЭ СО РАН
к.ф.-м.н.

Харенко Д.С.

подпись к.ф.-м.н. Харенко Д.С. заверяю:

и. о. учёного секретаря ИАиЭ СО РАН
к.ф.-м.н.



Абдуллина С.Р.

07.07.23