

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

кандидата физико-математических наук Прямикова Андрея Дмитриевича
на диссертационную работу Сорокина Арсения Андреевича
«Формирование сжатых состояний света и характеристика фазы оптических импульсов
с помощью специальных волокон с высокой керровской нелинейностью»,
представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук
по специальности 1.3.19. Лазерная физика

Диссертационная работа Сорокина А.А. посвящена теоретическому исследованию задач квантовой и нелинейной волоконной оптики. Значительная часть исследования находится на стыке этих направлений. В своей работе автор уделяет большое внимание использованию специальных материалов – теллуридных и халькогенидных волокон с высокой керровской нелинейностью. В классических задачах нелинейно-оптического преобразования света такие волокна применяются уже достаточно давно и весьма успешно, в то время как для задач квантовой оптики это является весьма новой и очень перспективной областью. По сути, работа состоит из двух частей, объединенных идеей использования специальных волокон с необычными свойствами, расширяющими границы возможностей более традиционных материалов. В первой части Сорокин А.А. теоретически исследует формирование состояний света со сжатыми квантовыми флуктуациями. Такие состояния характеризуются значением квантовой неопределенности по одной из квадратурных переменных ниже стандартного квантового предела. Эти неклассические состояния света представляют огромный интерес для современных прикладных и фундаментальных исследований, включая сверхточные интерферометрические измерения и сверхточное детектирование. В рамках реалистичной математической модели автор детально изучает влияние различных физических процессов (рамановского рассеяния, потерь и др.) на сжатие квантовых флуктуаций лазерных сигналов в оптических волокнах с целью оптимизации системы и выработки практических рекомендаций для повышения степени сжатия. Вторая часть работы посвящена вопросам классической нелинейной волоконной оптики. А именно, исследуется обратная задача восстановления фазы ультракоротких оптических импульсов по измерениям исходного спектра оптического сигнала и двух спектров, преобразованных в волокнах с керровской нелинейностью. Разрабатываемый метод имеет ряд преимуществ перед стандартными методами характеристики фазы. Таким образом, актуальность диссертационной работы не вызывает сомнений.

Диссертация состоит из введения, трех глав, заключения, списка литературы и списка статей автора по теме диссертационного исследования.

Во *введении* представлена информация об актуальности темы диссертационного исследования, целях и задачах работы, научной новизне, теоретической и практической значимости, методологии и методах исследования, положениях, выносимых на защиту, степени достоверности и апробации результатов, основных публикациях по теме диссертации в рецензируемых изданиях, личном вкладе диссертанта, а также о структуре и объеме диссертации.

В *первой главе* исследуется сжатие шумов солитонных и солитоноподобных ультракоротких импульсов с высокой пиковой мощностью в кварцевых волокнах в телекоммуникационном диапазоне. Показано, что существует оптимальная длительность солитонов (~ 0.4 пс), обеспечивающая наиболее сильное квантовое сжатие (-22 дБ без учета потерь в схеме детектирования). Для длительностей, меньших оптимального значения, ограничивающими факторами являются рамановские эффекты. Для длительностей, больших оптимального значения, сжатие ограничивается оптическими потерями.

Во второй главе изучается сжатие непрерывных сигналов в высоконелинейных теллуридных и халькогенидных волокнах в диапазоне длин волн около 2 мкм. Этот диапазон важен для применений, но на сегодняшний день в нем отсутствуют волоконные источники сжатого света. Применение волокон из специальных стекол обусловлено тем, что кварцевые волокна непригодны для достижения высоких степеней сжатия в этом спектральном диапазоне из-за больших потерь и невысокого керровского коэффициента. Теоретически полученные автором оптимальные значения сжатия квантовых шумов сильнее -15 дБ демонстрируют перспективность развиваемого подхода.

Третья глава посвящена обратной задаче восстановления фазы ультракоротких оптических импульсов по спектральным измерениям с использованием керровских волокон. Соискатель предложил и теоретически исследовал новый эффективный алгоритм обработки спектральных данных, основанный на аппроксимации спектральной фазы полиномиальной функцией и оптимизации ее коэффициентов при глобальной минимизации функции ошибок. Данный алгоритм успешно применен для обработки экспериментально измеренных данных, полученных с использованием кварцевых и халькогенидных оптических волокон. Сорокин А.А. также исследовал возможности метода в среднем ИК диапазоне с применением теллуридных и халькогенидных волокон и показал его перспективность на реалистичных примерах.

В заключении сформулированы выводы и основные результаты, а также обсуждены возможности дальнейшего развития темы.

Следует отметить, что полученные результаты являются достоверными и полностью обоснованными, обладают достаточной научной новизной, а также научной и практической значимостью. В работе применялись надежные и апробированные аналитические и численные методы и подходы. Разработанные алгоритмы и их программные реализации аккуратно тестировались на известных моделях, сравнивались с предельными случаями, для которых существуют точные или приближенные аналитические решения. Полученные численные и аналитические результаты хорошо согласуются между собой. Кроме того, для ряда теоретических результатов автора есть сравнение с экспериментальными результатами соавторов.

Основные результаты диссертационной работы Сорокина А.А. достаточно полно опубликованы в 12 рецензируемых статьях, удовлетворяющих требованиям ВАК, в том числе, в высокорейтинговых журналах *Optics Express*, *Nanophotonics*, *Mathematics* и др. Результаты исследований неоднократно представлялись автором лично на всероссийских и международных научных конференциях и семинарах.

Выводы диссертации соответствуют цели, задачам и положениям, выносимым на защиту. Автореферат полностью отражает содержание диссертации.

Личный вклад автора в представленные в диссертации результаты четко сформулирован. Сорокин А.А. внес решающий вклад во все выносимые на защиту положения и результаты.


В целом работа производит впечатление законченного исследования, хотя и разделенного на две разные по физическому содержанию части (сжатие шумов – сигналов и задача восстановления фазы). По уровню полученных результатов, такое разделение несколько не умаляет общую научную ценность представляемой диссертации. В качестве замечания можно указать использование автором терминов, не используемых в лексиконе современной волоконной оптики, таких как ‘большие трассы’ вместо ‘большие длины световодов’. При ответах на вопросы оппонента, автор диссертации продемонстрировал физическую эрудицию и глубокое понимание предмета. В качестве пожелания, можно сказать, что при рассмотрении

явлений, рассматриваемых в первой и второй главе диссертации, в дальнейшей работе автору диссертации можно было бы проводить большие обобщения полученных результатов, применяя их для других типов световодов, например, микроструктурированных.

Заключение

Диссертационная работа Сорокина Арсения Андреевича «Формирование сжатых состояний света и характеристика фазы оптических импульсов с помощью специальных волокон с высокой керровской нелинейностью» представляет собой завершенное научное исследование и удовлетворяет всем требованиям ВАК к кандидатским диссертациям, а ее автор Сорокин Арсений Андреевич несомненно заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.19. Лазерная физика.

Старший научный сотрудник ИОФ РАН
кандидат физико – математических наук,


24.10.2023г. А. Д. Прямикова

ФИО: Прямикова Андрей Дмитриевич

Ученая степень: кандидат физико-математических наук

Ученое звание: нет

Научная специальность: 01.04.07 – физика конденсированного состояния

Должность: старший научный сотрудник

Место работы: Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Федеральный исследовательский центр “Институт общей физики им. А. М. Прохорова Российской Академии Наук” (ИОФ РАН)

Адрес места работы: 119991, г. Москва, ул. Вавилова, д. 38

Телефон: +7(499) 503 81 93

E-mail: pryamikov@fo.gpi.ru



Список основных публикаций Прямикова Андрея Дмитриевича по теме диссертации в рецензируемых научных журналах за последние 5 лет (не более 15)

1. A. G. Okhrimchuk, **A. D. Pryamikov**, A. V. Gladyshev, G. K. Alagashev, M. P. Smayev, V. V. Likhov, V. V. Dorofeev, S. E. Motorin, and Y. P. Yatsenko, "Direct Laser Written Waveguide in Tellurite Glass for Supercontinuum Generation in 2 μm Spectral Range," *J. Lightwave Technol.* 38(6), 1492–1500 (2020). doi: 10.1109/JLT.2019.2954862.
2. A. G. Okhrimchuk, V. V. Likhov, S. A. Vasiliev, and **A. D. Pryamikov**, "Helical Bragg Gratings: Experimental Verification of Light Orbital Angular Momentum Conversion," *J. Lightwave Technol.* 40(8), 2481–2488 (2022). doi: 10.1109/JLT.2021.3137055.
3. **A. D. Pryamikov**, L. Hadzievski, M. Fedoruk, S. Turitsyn, and A. Aceves, "Optical vortices in waveguides with discrete and continuous rotational symmetry," *J. Eur. Opt. Soc.-Rapid Publ.* 17(1), 23 (2021).doi: 10.1186/s41476-021-00168-5
4. G. Alagashev, S. Stafeev, V. Kotlyar, and **A. D. Pryamikov**, "The Effect of the Spin and Orbital Parts of the Poynting Vector on Light Localization in Solid-Core Micro-Structured Optical Fibers," *Photonics* 9(10), 775 (2022). doi: 10.3390/photonics9100775
5. A. G. Okhrimchuk, **A. D. Pryamikov**, V. V. Likhov, D. S. Dobrovolskii, A. V. Shestakov, G. Yu. Orlova, A. S. Lipatiev, A. A. Zhiltsova, and A. N. Romanov, "Inscription of a waveguide in YAG:Nd crystal with a cladding composed by crystalline hollow channels," *Opt. Mater. Express* 12(4), 1609 – 1616 (2022). doi: 10.1364/OME.447622
6. S. S. Stafeev, **A. D. Pryamikov**, G. K. Alagashev, and V. V. Kotlyar, "Reverse energy flow in vector modes of optical fibers," *Computer Optics* 47(1), 36-39 (2023). doi: 10.18287/2412-6179-CO-1229.
7. T. Yu, X. Liu, **A. D. Pryamikov**, A. Kosolapov, and Z. Fan, "Femtosecond Pulse Compression With Pedestal Suppression in a Sagnac Interferometer Constructed of Anti-Resonant Hollow Core Fiber," *IEEE Photonics J.* 13(2), 7100609 (2021). doi: 10.1109/JPHOT.2021.3067891.