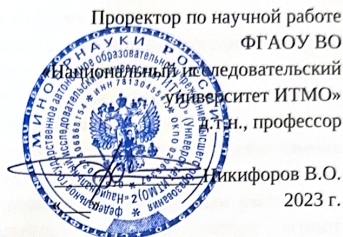


УТВЕРЖДАЮ



ОТЗЫВ

ведущей организации федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский университет ИТМО» 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

Исследования нелинейных и квантовых эффектов в оптических световодах давно привлекают внимание научного сообщества. Использование новых высоко нелинейных стекол для изготовления световодов позволяет значительно расширить возможности волоконных источников на основе кварцевых волокон и является весьма перспективным направлением развития современных лазерных, фотонных и квантовых технологий. В диссертационной работе Сорокин А.А. теоретически исследует важную проблему квантовой оптики по генерации сжатого света высокой интенсивности в ультракоротких лазерных импульсах и связанной задачей восстановления параметров ультракоротких лазерных импульсов по спектральным данным. Обе эти проблемы объединены идеей использования керровской нелинейности оптических световодов, в том числе, на основе халькогенидных и теллуридных стекол с нелинейными показателями преломления значительно выше, чем для обычного кварцевого стекла. Автор численно и аналитически демонстрирует возможность получения сильной степени сжатия квантовых флуктуаций импульсного и непрерывного лазерного излучения, в том числе, в диапазоне длин волн около 1.55 и около 2 мкм, что востребовано для сверхточных систем детектирования, а также для генерации перепутанных состояний, играющих принципиальную роль в квантовых вычислениях с непрерывными переменными, квантовой криптографии и квантовых сетях. В задаче характеристики фазы автор предлагает новый эффективный алгоритм обработки данных и численно демонстрирует его применимость в среднем инфракрасном диапазоне, где существуют определенные сложности для реализации стандартных методов. Поэтому диссертационная работа, безусловно, является актуальной и обладает значительной новизной.

Диссертационная работа состоит из введения, трёх глав, заключения, списка литературы и списка научных статей автора по теме исследования в рецензируемых журналах.

Во *введении* приводятся данные об актуальности выбранной темы, целях и задачах работы, научной новизне, теоретической и практической значимости, методологии и

используемых методах исследования, положениях, выносимых на защиту, степени достоверности и апробации результатов, публикациях в рецензируемых журналах по теме диссертации, личном вкладе автора, а также о структуре и объеме диссертации.

В *первой главе* Сорокин А.А. численно и аналитически исследовал керровское сжатие квантовых шумов оптических солитонных и солитоноподобных импульсов в кварцевых волокнах в телекоммуникационном диапазоне длин волн, уделяя особое внимание анализу различных физических процессов. Благодаря этому, автор выявил оптимальные параметры системы для достижения наиболее сильного сжатия (сильнее -20 дБ без учета дополнительных потерь в схеме детектирования). Сорокин А.А. показал, что при длительностях импульсов, меньших оптимальных, сжатие ограничивается вынужденным комбинационным рассеянием. При длительностях импульсов, больших оптимальных, оптические потери играют доминирующую роль. Для конкретных рассмотренных параметров системы оптимальная длительность солитонов составила 0.4 пс, обеспечивая баланс между ограничивающими факторами. Теоретические результаты Сорокина А.А. находятся в согласии с результатами экспериментальных измерений, выполненных его соавторами.

Во *второй главе* диссертант предложил и теоретически исследовал генерацию сжатых состояний непрерывного лазерного излучения 10 -Вт класса мощности в диапазоне длин волн около 2 мкм с теоретически достижимым пределом сжатия квантовых шумов сильнее -10 дБ в халькогенидных и теллуритных световодах с нелинейными керровскими коэффициентами на 2 - 4 порядка выше, чем у телекоммуникационных волокон. Автор показал, что в рассмотренной системе при относительно высоких мощностях накачки и длинах, больших оптимальных, вынужденное комбинационное рассеяние является ограничивающим фактором. При относительно малых мощностях накачки этот процесс не очень важен, а основным паразитным фактором являются линейные оптические потери волокна.

В *третьей главе* Сорокин А.А. предложил и детально исследовал новый эффективный алгоритм обработки спектральных данных в неинтерферометрическом методе характеристики фазы ультракоротких импульсов, основанном на преобразовании спектров за счет фазовой самомодуляции в волокнах с керровской нелинейностью. Предложенный диссертантом алгоритм основан на аппроксимации спектральной фазы импульса полиномиальной функцией и оптимизации ее коэффициентов при глобальной минимизации функции ошибок. Работоспособность метода продемонстрирована на многочисленных численных примерах, а также на экспериментальных данных (предоставленных соавторами). Также Сорокин А.А. предложил и численно исследовал нахождение фазы импульсов в диапазоне длин волн около 3 мкм с использованием теллуритных и халькогенидных волокон с помощью предложенного алгоритма, а также итерационного алгоритма типа Гершберга-Сакстона.

В *заключении* автор приводит основные результаты диссертационного исследования, а также формулирует рекомендации для дальнейшей разработки темы.

Следует отметить, что представленные в диссертации результаты и положения являются достоверными и обоснованными, имеют научную и практическую значимость. Применяемые в работе методы исследования являются надежными и хорошо апробированными. Реализованные диссертантом численные алгоритмы тестировались на известных физических моделях и задачах. Численные и аналитические результаты хорошо согласуются между собой в соответствующих предельных случаях. Более того, ряд теоретических результатов Сорокина А.А. имеет экспериментальную верификацию (экспериментальные данные предоставлены соавторами). В целом, необходимо охарактеризовать диссертационную работу Сорокина А.А. как весьма полноценное и обстоятельное исследование распространения ультракоротких импульсов в оптических волокнах.

Основные результаты диссертации Сорокина А.А. достаточно полно опубликованы в 12 статьях в рецензируемых журналах, среди которых следует особенно отметить такие авторитетные издания как Nanophotonics, Optics Express, Results in Physics, Mathematics. По результатам работы автором сделано большое количество докладов на всероссийских и международных конференциях.

Автореферат диссертации правильно и полно отражает ее содержание.

Диссертационная работа подготовлена на высоком уровне, но тем не менее есть несколько комментариев и вопросов:

- в Положении 2 сказано, что в теллуридных и халькогенидных волноводах квантовое сжатие флуктуаций может быть на несколько порядков больше, чем в «стандартных» волокнах. И хотя в тексте диссертации указано, что имеются в виду волокна с маркировкой SMF28e, стоило бы классифицировать стандартные волокна по их материальному составу.

- на рис. 1.10 приведены результаты сравнения теоретической модели с экспериментальными данными и указаны параметры величины максимального (оптимального) сжатия, полученные из эксперимента. Для наглядности стоило бы представить также и данные сравнения теоретических и экспериментальных кривых величины сжатия шумов в зависимости от мощности накачки, из которых и были получены данные для карт на рис. 1.10

- в диссертационной работе и автореферате приводится скалярный вариант нелинейного уравнения Шредингера без учета эффекта вращения поляризации излучения в процессе его распространения вдоль оптического световода. Необходимо обосновать возможность применимости уравнения, либо раскрыть более детально учет эффекта вращения поляризации.

- для обобщения полученных результатов рекомендуется строить зависимости предоставленные на Рис.1.8, Рис.1.10 относительно характерных масштабов явлений: характерной длины нелинейности, характерной длины дисперсии и проч.

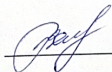
- необходимо детальное обоснование, почему квантовый шум в уравнении (1.5) необходимо учитывать при моделировании распространения оптических импульсов с энергиями достаточными для проявления нелинейных эффектов.

Заключение

Диссертационная работа «Формирование сжатых состояний света и характеристика фазы оптических импульсов с помощью специальных волокон с высокой керровской нелинейностью» является завершённым научным исследованием и удовлетворяет всем требованиям ВАК РФ к кандидатским диссертациям, а ее автор Сорокин Арсений Андреевич заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.19. Лазерная физика.


Доклад по мотивам диссертационной работы был заслушан на научном семинаре физического факультета Университета ИТМО « 25 » октября 2023 г. протокол № 2023-10/2.

Декан физического факультета
Университета ИТМО, к.ф.-м.н.

 / Мельчакова И.В.

Отзыв составил:

с.н.с., доцент физического факультета
Университета ИТМО, к.ф.-м.н.

 / Петров М.И.

Сведения о составителе отзыва:

Петров Михаил Игоревич, старший научный сотрудник, доцент физического факультета
Университета ИТМО, кандидат физико-математических наук
Контактные данные: trisha.petrov@gmail.com, +7(921) 978-11-31

Сведения о ведущей организации:

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования
«Национальный исследовательский университет ИТМО»
Почтовый адрес: 197101, Санкт-Петербург, Кронверский пр., д. 49, лит. А.
Телефон: +7(812) 607-02-83
Адрес электронной почты: od@itmo.ru
Web-сайт организации: <https://itmo.ru/>

Список основных публикаций сотрудников ведущей организации по теме диссертации в рецензируемых научных журналах за последние 5 лет (не более 10)

1. Aleksei Verbitskii, D. A. Dvoretzkiy, S. G. Sazonkin, I. O. Orekhov, Y. G. Ososkov, A. B. Pnev, L. K. Denisov, V. E. Karasik, "Simulation of ultrashort pulse generation in an all-fiber erbium-doped ring laser with a highly nonlinear cavity", *Journal of Optical Technology*, vol. 87, pp. 175, 2020, [DOI: 10.1364/jot.87.000175] [IF: 0.42, SJR: 0.27]
2. C. E. Whittaker, T. Dowling, Anton Nalitov, Alexey Yulin, B. Royall, E. Clarke, M. S. Skolnick, Ivan Shelykh, Dmitry Krizhanovskii, "Optical analogue of Dresselhaus spin-orbit interaction in photonic graphene", *Nature Photonics*, 2020, [DOI: 10.1038/s41566-020-00729-z] [IF: 38.77, SJR: 13.67]
3. Fedor Benimetskiy, Alexey Yulin, Alexey Mikhin, Vasily Kravtsov, Ivan Iorsh, M S Skolnick, Ivan Shelykh, Dmitry Krizhanovskii, Anton Samusev, "Nonlinear self-action of ultrashort guided exciton-polariton pulses in dielectric slab coupled to 2D semiconductor", *2D Materials*, vol. 10, pp. 045016, 2023, [DOI: 10.1088/2053-1583/acf050] [IF: 6.86, SJR: 2.01]
4. Aleksei Verbitskii, Alexey Yulin, A. G. Balanov, "Chaotic Bloch oscillations in dissipative optical systems driven by a periodic train of coherent pulses", *Physical Review A*, vol. 107, 2023, [DOI: 10.1103/physreva.107.053519] [IF: 2.97, SJR: 1.18]
5. D. M. Di Paola, P. M. Walker, R. P. A. Emmanuele, Alexey Yulin, J. Ciers, Z. Zaidi, J.-F. Carlin, N. Grandjean, Ivan Shelykh, M. S. Skolnick, R. Butté, Dmitry Krizhanovskii, "Ultrafast-nonlinear ultraviolet pulse modulation in an AlInGaN polariton waveguide operating up to room temperature", *Nature Communications*, vol. 12, 2021, [DOI: 10.1038/s41467-021-23635-6] [IF: 17.69, SJR: 4.85]
6. Gleb Fedorovich, Danil Kornovan, Alexander Poddubny, Mihail Petrov, "Chirality-driven delocalization in disordered waveguide-coupled quantum arrays", *Physical Review A*, vol. 106, 2022, [DOI: 10.1103/physreva.106.043723] [IF: 2.97, SJR: 1.18]
7. Y. Marques, Ivan Shelykh, Ivan Iorsh, "Two-dimensional chiral-waveguide quantum electrodynamics: Long-range qubit correlations and flat-band dark polaritons", *Physical Review A*, vol. 103, 2021, [DOI: 10.1103/physreva.103.033702] [IF: 2.97, SJR: 1.18]
8. Anna Nikolaeva, Kristina Frizyuk, Nikita Olekhno, Alexander Solntsev, Mihail Petrov, "Directional emission of down-converted photons from a dielectric nanoresonator", *Physical Review A*, vol. 103, 2021, [DOI: 10.1103/physreva.103.043703] [IF: 2.97, SJR: 1.18]
9. Daniil Ryabov, Olesya Pashina, Georgiy Zograf, Sergey Makarov, Mihail Petrov, "Nonlinear optical heating of all-dielectric super-cavity: efficient light-to-heat conversion through giant thermorefractive bistability", *Nanophotonics*, vol. 0, 2022, [DOI: 10.1515/nanoph-2022-0074] [IF: 7.92, SJR: 2.12]
10. Daria Dolinina, Alexander Shalin, Alexey Yulin, "Dynamics of particles trapped by dissipative solitons", *JETP Letters*, vol. 110, pp. 755-756, 2020, [DOI: 10.1134/s0370274x19230085] [IF: 1.53, SJR: 0.57]