



**МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
ИМЕНИ М.В. ЛОМОНОСОВА**

**Заключение диссертационного совета МГУ.013.6  
по диссертации на соискание учёной степени кандидата наук**

Решение диссертационного совета от 17 декабря 2024 года № 19

О присуждении Захарову Роману Викторовичу, гражданину Российской Федерации 1997 года рождения, учёной степени кандидата физико-математических наук.

Диссертация «Управление свойствами и корреляциями фотонов неклассического сжатого света» по специальности 1.3.6. Оптика принята к защите 30 октября 2024 года, протокол № 16, диссертационным советом МГУ.013.6.

Соискатель Захаров Роман Викторович в 2020 году окончил физический факультет Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова по специальности «Физика». С 2020 года по 2024 год обучался в очной аспирантуре Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова (приказ № 2719-ас от 01.10.2020). В период подготовки диссертации соискатель Захаров Роман Викторович работал и по настоящее время работает инженером лаборатории № 234 Института радиотехники и электроники имени В.А. Котельникова Российской академии наук (ИРЭ РАН).

Диссертация выполнена на кафедре атомной физики, физики плазмы и микроэлектроники физического факультета Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова.

Научный руководитель — Тихонова Ольга Владимировна, доктор физико-математических наук, профессор, профессор кафедры атомной физики, физики плазмы и микроэлектроники физического факультета Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова.

Официальные оппоненты:

Калачев Алексей Алексеевич, доктор физико-математических наук, доцент, член-корреспондент РАН, директор Федерального исследовательского центра «Казанский научный центр Российской академии наук» (ФИЦ КазНЦ РАН),

Кулик Сергей Павлович, доктор физико-математических наук, доцент, научный руководитель центра квантовых технологий физического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова; профессор кафедры квантовой электроники физического факультета Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова,

Чиркин Анатолий Степанович, доктор физико-математических наук, профессор, профессор кафедры общей физики и волновых процессов физического факультета Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова

— дали положительные отзывы на диссертацию.

Соискатель имеет 9 опубликованных работ, все по теме диссертации, из них 9 науч-

ных публикаций в рецензируемых научных изданиях, удовлетворяющих Положению о присуждении ученых степеней в МГУ имени М.В. Ломоносова и рекомендованных для защиты в диссертационном совете МГУ по специальности 1.3.6. «Оптика». Все представленные в работе результаты получены автором лично или при его определяющем участии:

A1. **R.V. Zakharov**, O.V. Tikhonova. *Managing the spatial properties and photon correlations in squeezed non-classical twisted light* // Laser Physics Letters. — 2018. — Vol. 15, no. 5. — P. 055205. **JIF = 1.7 (WoS)**. Общий объём статьи = 0,62 п.л.; личный вклад = 0,3 п.л.

A2. **Р.В. Захаров**, О.В. Тихонова. *Пространственные свойства и корреляции фотонов в неклассических сжатых состояниях света, несущего орбитальный момент* // Известия Российской академии наук. Серия физическая. — 2018. — Т. 82, № 11. — С. 1525–1530. **IF = 0.9 (РИНЦ)**. Общий объём статьи = 0,37 п.л.; личный вклад = 0,2 п.л.

Переводная версия: **R.V. Zakharov**, O.V. Tikhonova. *Photon spatial properties and correlations in nonclassical squeezed states of light carrying the orbital moment* // Bulletin of the Russian Academy of Sciences: Physics — 2018. — Vol. 82, No. 11. — P. 1388–1393. **SJR = 0.21 (Scopus)**. Общий объём статьи = 0,37 п.л.; личный вклад = 0,2 п.л.

A3. **R.V. Zakharov**, O.V. Tikhonova. *Spatial features and photon correlations of squeezed light in strongly non-degenerate parametric down conversion* // Laser Physics. — 2019. — Vol. 29, no. 12. — P. 124010. **JIF = 1.2 (WoS)**. Общий объём статьи = 0,4 п.л.; личный вклад = 0,2 п.л.

A4. G. Frascella, **R.V. Zakharov**, O.V. Tikhonova, M.V. Chekhova. *Experimental reconstruction of spatial Schmidt modes for a wide-field SU(1,1) interferometer* // Laser Physics. — 2019. — Vol. 29, no. 12. — P. 124013. **JIF = 1.2 (WoS)**. Общий объём статьи = 0,5 п.л.; личный вклад = 0,2 п.л.

A5. G. Frascella, E.E. Mikhailov, N. Takanashi, **R.V. Zakharov**, O.V. Tikhonova, M.V. Chekhova. *Wide-field SU(1,1) interferometer* // Optica. — 2019. — Vol. 6, no. 9. — P. 1233–1236. **JIF = 8.4 (WoS)**. Общий объём статьи = 0,25 п.л.; личный вклад = 0,1 п.л.

A6. K.A. Kuznetsov, E.I. Malkova, **R.V. Zakharov**, O.V. Tikhonova, G.Kh. Kitaeva. *Nonlinear interference in the strongly nondegenerate regime and Schmidt mode analysis* // Physical Review A. — 2020. — Vol. 101, no. 5. — P. 053843. **JIF = 2.6 (WoS)**. Общий объём статьи = 0,4 п.л.; личный вклад = 0,1 п.л.

A7. G. Frascella, **R.V. Zakharov**, O.V. Tikhonova, M.V. Chekhova. *Multimode optical parametric amplification in the phase-sensitive regime* // Optics Letters. — 2021. — Vol. 46, no. 10. — P. 2364–2367. **JIF = 3.1 (WoS)**. Общий объём статьи = 0,3 п.л.; личный вклад = 0,1 п.л.

A8. **Р.В. Захаров**, О.В. Тихонова. *Корреляции фотонов и свойства неклассических оптических полей в состоянии сжатого вакуума* // Успехи физических наук. — 2023. — Т. 193, № 4. — С. 406–436. **IF = 3.1 (РИНЦ)**. Общий объём статьи = 2,50 п.л.; личный вклад = 0,50 п.л.

Переводная версия: **R.V. Zakharov**, O.V. Tikhonova. *Photon correlations and features of nonclassical optical fields in a squeezed vacuum state* // Physics-Uspexhi. — 2023. — Vol. 66, No. 4. — P. 381–409. **JIF = 3.3 (WoS)**. Общий объём статьи = 2,50 п.л.; личный вклад = 0,50 п.л.

A9. **R.V. Zakharov**, O.V. Tikhonova, N.V. Klenov, I.I. Soloviev, V.N. Antonov, D.S. Yakovlev. Solid-state qubit as an on-chip controller for non-classical field states // Advanced Quantum Technologies. — 2024. — Vol. 7, no. 10. — P. 2400141. **JIF = 4.4 (WoS)**. Общий объём статьи = 0,75 п.л.; личный вклад = 0,4 п.л.

На автореферат диссертации поступил 1 положительный отзыв.

Выбор официальных оппонентов обосновывается тем, что они являются специалистами в области оптики, квантовой оптики, физики сжатых состояний света и физики наноструктур и имеют публикации по тематике диссертации. Указанные оппоненты не имеют совместных проектов и публикаций с соискателем.

Диссертационный совет отмечает, что представленная диссертация на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук является научно-квалификационной работой, в которой на основании выполненных автором исследований продемонстрирована возможность управления пространственными и спектральными свойствами сжатых электромагнитных полей, а также корреляциями фотонов в них, что имеет принципиальное значение для развития квантовых информационных технологий, высокоточной квантовой метрологии, получения квантовых изображений и квантовой оптомеханики.

Результаты диссертации могут быть использованы в МГУ имени М.В. Ломоносова и других высших учебных заведениях в основных образовательных программах при создании новых и обновлении имеющихся материалов учебных курсов. Полученные в работе результаты не только представляют высокую фундаментальную значимость для физики неклассических электромагнитных полей, но и важны для решения приоритетных практических задач. Исследованные в работе корреляции оптических и терагерцовых фотонов в сильно невырожденном по частоте режиме параметрического рассеяния открывают новые возможности для анализа свойств объектов в терагерцовом диапазоне частот. Предложенные в работе методы по управлению корреляциями фотонов и высокоточным фазочувствительным измерениям одновременно для большого числа мод с использованием сжатых полевых состояний могут быть использованы для широкополосного усиления квантовых изображений с критически низким уровнем шумов.

Диссертация представляет собой самостоятельное законченное исследование, обладающее внутренним единством. Положения, выносимые на защиту, содержат новые научные результаты и свидетельствуют о личном вкладе автора в науку:

1. Варьирование интенсивности накачки и относительной фазы полей в интерферометре позволяет управлять пространственными корреляциями фотонов и модовым составом сжатого света, при этом в режиме большого усиления число пространственных мод квазипериодически зависит от расстояния между кристаллами.
2. Измерение ковариаций сигнального и холостого пучков позволяет восстановить профили и эффективные веса радиальных и азимутальных мод Шмидта.
3. Нулевой азимутальный канал в генерируемом сжатом свете можно подавить с помощью использования диафрагмы в ближней зоне до уровня ниже 50% от интенсивности первого азимутального канала, что позволяет получить предельно малые относительные значения дисперсии разности чисел фотонов в скоррелированных каналах порядка

- 1% и менее.
4. Разработанная схема по измерению показателя преломления исследуемых сред в терагерцовом диапазоне частот основана на использовании частотно-угловых корреляций оптических и терагерцовых фотонов и обеспечивает точность не хуже 0.02.
  5. Разработанная схема широкоугольного нелинейного SU(1,1) интерферометра на основе сжатого света позволяет достичь многомодового сжатия в  $-4.3$  Дб, что обеспечивает высокоточные фазово-чувствительные измерения одновременно по всему широкому угловому полю.
  6. Разработанная схема параметрического усилителя позволяет получать высокую фазовую чувствительность одновременно для большого числа мод и регулировать ее за счет изменения пространственно-угловой ширины сигнала подсветки на входе.
  7. Система, состоящая из кубита, взаимодействующего с двумя близкими по частоте модами квантового поля, при большой отстройке от резонанса позволяет передавать квантовое состояние поля от одной моды в другую с точностью до фазовых множителей, при этом момент времени наилучшей передачи слабо зависит от входного состояния и может регулироваться параметрами системы.

На заседании 17 декабря 2024 года диссертационный совет принял решение присудить Захарову Роману Викторовичу учёную степень кандидата физико-математических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве **15** человек, из них **6** докторов наук по специальности рассматриваемой диссертации, участвовавших в заседании, из **22** человек, входящих в состав совета, проголосовали: «за» — **15**, «против» — **нет**, недействительных бюллетеней — **нет**.

Председатель  
диссертационного совета МГУ.013.6  
доктор физико-математических наук,  
профессор

Салецкий Александр Михайлович

Учёный секретарь  
диссертационного совета МГУ.013.6  
доктор физико-математических наук,  
доцент

Косарева Ольга Григорьевна

Дата оформления заключения: 17 декабря 2024 года.