

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА Д 501.001.31 НА БАЗЕ  
ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО  
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО  
ОБРАЗОВАНИЯ "МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
ИМЕНИ М.В.ЛОМОНОСОВА" ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОСЛАНИЕ УЧЕНОЙ  
СТЕПЕНИ КАНДИДАТА НАУК

аттестационное дело № \_\_\_\_\_

решение диссертационного совета от 19 июня 2014 г. протокол №53

О присуждении **Ланину Александру Александровичу** (гражданство РФ) ученой степени кандидата физико-математических наук.

Диссертация «Когерентные взаимодействия сверхкоротких импульсов ближнего и среднего инфракрасного диапазонов в задачах микроспектроскопии и дистанционного зондирования» по специальности 01.04.21 – лазерная физика принята к защите 20.03.2014 протокол №3пр диссертационным советом Д 501.001.31 на базе федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования "Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова" 119991, Российская Федерация, Москва, Ленинские горы, д. 1, приказ о создании №72/нк от 13 февраля 2013 г.

Соискатель **Ланин Александр Александрович**, 1988 года рождения. В 2011 году соискатель окончил Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова", Физический факультет, Кафедру общей физики и волновых процессов. В 2014 году соискатель окончил очную аспирантуру Федерального государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования "Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова", Физического факультета, Кафедры общей физики и волновых процессов.

Диссертация выполнена на Кафедре Общей физики и волновых процессов Физического факультета Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования "Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова".

Научный руководитель – кандидат физико-математических наук, **Федотов Андрей Борисович**, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова", Физический Факультет, Кафедра общей физики и волновых процессов, доцент.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается их достижениями и общепризнанным вкладом в развитие нелинейно-оптических методик спектроскопии, а также теоретическими и экспериментальными исследованиями особенностей процессов взаимодействия сверхкоротких импульсов, в том числе в инфракрасной области спектра с объектами различной природы. Ведущая организация и официальные оппоненты, безусловно, обладают высоким

научным уровнем в данной области и соответственно способностью определить научную и практическую ценность диссертации.

Официальные оппоненты:

**Рябов Евгений Артурович**, доктор физико-математических наук (специальность – 01.04.17, «Химическая физика, горение и взрыв, физика экстремальных состояний вещества») профессор, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт спектроскопии Российской академии наук (ИСАН), заведующий отделом лазерной спектроскопии, заведующий лабораторией спектроскопии возбужденных состояний молекул.

**Верещагин Константин Александрович**, кандидат физико-математических наук (специальность – 01.04.21, «Лазерная физика»), Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт общей физики имени А.М.Прохорова Российской академии наук (ИОФАН), старший научный сотрудник.

Оба оппонента дали положительные отзывы на диссертацию, в которых говорится о высоком уровне проведенных исследований и оригинальности полученных результатов. К основным замечаниям оппонентов можно отнести пожелание необходимости учета влияния первоначальной формы импульсов, генерирующиеся реальными лазерными системами, на спектральное разрешение методики КАРС-спектроскопии с фазово-модулированными импульсами. Также указывается на необходимость более подробного разъяснения поляризационных особенностей проведения КАРС-спектроскопии таких кристаллических объектов, как пленка синтетического алмаза. В отзывах также содержатся несколько замечаний технического характера.

Ведущая организация **Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Физический институт имени П.Н.Лебедева Российской академии наук (ФИАН)**, г. Москва представила положительное заключение, подписанное кандидатом физико-математических наук, заведующим сектором взаимодействия излучения с веществом Отделения квантовой радиофизики имени Н.Г.Басова ФИАН А.П.Канавиным, а также и.о. руководителя Отделения квантовой радиофизики имени Н.Г.Басова ФИАН, д.ф.-м.н. А.А.Иониным. Заключение утверждено заместителем директора Федерального государственного бюджетного учреждения науки Физический институт имени П.Н.Лебедева РАН профессором В.Н.Неволиным. В заключении подчеркивается высокий уровень и значимость проведенных научных исследований, а также отмечается, что диссертация Ланина Александра Александровича «Когерентные взаимодействия сверхкоротких импульсов ближнего и среднего инфракрасного диапазонов в задачах микроспектроскопии и дистанционного зондирования» является перспективной с практической точки зрения для развития современных методик когерентного нелинейной спектроскопии и микроспектроскопии, в том числе биологических объектов, дистанционного мониторинга атмосферы. Замечание к третьей главе связано с отсутствием объяснения связи между используемыми спектральными ширинами импульсов накачки и характеристиками исследуемых резонансов, а основное замечание к четвертой главе связано с необходимостью проведения не

только задачи характеристики импульсов, но и извлечения реальной спектроскопической информации из измеренных зависимостей.

Соискатель А.А.Ланин имеет 28 опубликованных работ. По теме диссертации - 23 работы, в их числе 10 статей, опубликованных в рецензируемых научных изданиях. Основные результаты диссертации отражены в следующих статьях:

1. A. A. Ivanov, A. A. Voronin, **A. A. Lanin**, D. A. Sidorov-Biryukov, A. B. Fedotov, and A. M. Zheltikov "Pulse-width-tunable 0.7 W mode-locked Cr:forsterite laser", *Optics Letters*, 39, 205 (2014)
2. **A. A. Ланин**, А. Б. Федотов, and А. М. Желтиков. "Генерация сверхкоротких импульсов электромагнитного излучения среднего и дальнего инфракрасного диапазона." *Письма в ЖЭТФ* **98**, 423 (2013).
3. **A.A. Lanin**, I.V. Fedotov, A.B. Fedotov, D.A. Sidorov-Biryukov, and A.M. Zheltikov, "The phase-controlled Raman effect", *Scientific Reports*, **3**, 1842 (2013)
4. **A.A. Lanin**, A.B. Fedotov, and A.M. Zheltikov, "Broadly wavelength- and pulse width-tunable high-repetition rate light pulses from soliton self-frequency shifting photonic crystal fiber integrated with a frequency doubling crystal", *Optics Lett.* **37**, 3618-3620 (2012)
5. **A.A. Lanin**, A.B. Fedotov, and A.M. Zheltikov, "Ultrafast three-dimensional submicrometer-resolution readout of coherent optical-phonon oscillations with shaped unamplified laser pulses at 20MHz", *Optics Lett.* **37**, 1508-1510 (2012)
6. P. N. Malevich, D. Kartashov, Z. Pu, S. Ališauskas, A. Pugžlys, A. Baltuška, L. Giniūnas, R. Danielius, **A. A. Lanin**, A. M. Zheltikov, M. Marangoni, and G. Cerullo "Ultrafast-laser-induced backward stimulated Raman scattering for tracing atmospheric gases", *Optics Express*, 20, 18784 (2012)
7. **A.A. Lanin**, I.V. Fedotov, D.A. Sidorov-Biryukov, L.V. Doronina-Amitonova, O.I. Ivashkina, M.A. Zots, C.-K. Sun, F.O. Ilday, A.B. Fedotov, K.V. Anokhin, and A.M. Zheltikov, "Air-guided photonic-crystal-fiber pulse-compression delivery of multimegawatt femtosecond laser output for nonlinear-optical imaging and neurosurgery", *Applied Phys. Lett.* **100**, 101104 (2012)
8. L.V. Doronina-Amitonova, **A. A. Lanin**, O. I. Ivashkina, M. A. Zots, A.B. Fedotov, K. V. Anokhin, and A.M. Zheltikov, "Nonlinear-optical brain anatomy by harmonic-generation and coherent Raman microscopy on a compact femtosecond laser platform", *Applied Phys. Lett.* **99**, 231109 (2011)
9. L. Yuan, **A.A. Lanin**, P.K. Jha, A.J. Traverso, D.V. Voronine, K.E. Dorfman, A.B. Fedotov, G.R. Welch, A.V. Sokolov, A.M. Zheltikov, and M.O. Scully, "Coherent Raman Umklappscattering", *Laser Phys. Lett.* **1**, 1-6 (2011)
10. A.D. Savvin, **A.A. Lanin**, A. A. Voronin, A. B. Fedotov, A. M. Zheltikov, "Coherent anti-Stokes Raman metrology of phonons powered by photonic-crystal fibers", *Optics Lett.* **35**, 919-921 (2010)

В работах [1, 4, 5, 7, 8, 10] автором представлены полученные лично численные и экспериментальные результаты развития методики спектроскопии на основе когерентного антистоксова рассеяния света (КАРС) с использованием спектрального и временного управления фемтосекундных импульсов с помощью микроструктурированных световодов и нелинейных кристаллов. В работе [3] показано, что использование фазово-модулированных импульсов позволяет реализовать фазовый контроль процесса когерентного антистоксова рассеяния света, который может быть визуализирован через интерференцию когерентного рамановского сигнала с нерезонансным фоном. В работе [9] представлен анализ схем дистанционного зондирования газов на базе когерентного антистоксова

рассеяния света в геометрии встречных пучков. В работе [6] представлены результаты совместных исследований с Венским Технологическим университетом перспективной схемы дистанционного детектирования веществ в атмосфере на базе комбинирования методики ВКР-усиления во встречных пучках и методики удаленного формирования источника когерентного излучения в атмосферном воздухе. В работе [2] продемонстрирована методика характеристики сверхкоротких лазерных импульсов среднего ИК диапазона длительностью несколько периодов поля на базе оптического стробирования с разрешением по частоте на основе четырехволнового взаимодействия в газе.

На диссертацию и автореферат поступили отзывы:

Отзыв на автореферат составил кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник Института физики НАН Украины Н.М.Качалова. Отзыв положительный. Имеется техническое замечание, связанное с неясностью методики получения кривой дисперсии микроструктурированного световода.

Диссертационный Совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований можно выделить несколько **наиболее важных научных результатов**:

- Показано, что управление фазой и временной задержкой оптических импульсов накачки позволяет осуществлять фазовый контроль процесса когерентного антистоксова рассеяния света (КАРС), который визуализируется при интерференции когерентного комбинационного сигнала с нерезонансным фоном и позволяет восстановить комбинационный отклик вещества. Экспериментально продемонстрировано использование методики фазового модулирования импульсов накачки для КАРС-спектроскопии сильно рассеивающих сред со спектральным разрешением не хуже  $20 \text{ см}^{-1}$ .
- Создан компактный КАРС-микроспектрометр на базе фемтосекундного Cr:forsterite источника, микроструктурированных световодов и нелинейно-оптических кристаллов, в котором используется перестраиваемое по длине волны излучение в диапазоне 630 – 1800 нм с длительностью импульсов от 50 до 580 фс и энергией 0.1 – 10 нДж. С целью повышения спектральной селективности КАРС-спектроскопии использованы методы компрессии спектра фемтосекундных импульсов в микроструктурированных световодах и нелинейно-оптических кристаллах. С помощью реализованного КАРС-микроспектрометра исследованы распределения плотности оптических фононов в искусственной алмазной пленке и липидов в тканях головного мозга лабораторной мыши.
- Реализована методика измерения огибающей интенсивности, спектральной и временной фазы сверхкоротких импульсов среднего инфракрасного диапазона (3 – 11 мкм) в схеме широкополосного оптического стробирования с разрешением по частоте, с использованием воздуха в качестве нелинейной среды.

Диссертационный Совет отмечает, что **научная и практическая значимость определяется следующим**:

- Продemonстрировано, что полое фотонно-кристаллическое волокно с диаметром сердцевины 15 мкм позволяет не только эффективно транспортировать в волоконном формате сверхкороткие лазерные импульсы в ближнем ИК диапазоне (1070 нм), но и осуществлять их сжатие от 510 фс до 110 фс по мере их распространения в полой сердцевине в режиме аномальной дисперсии. Временная компрессия фазово-модулированных импульсов с энергией 0.5 мкДж обеспечивает на выходе из волокна пиковую мощность порядка 5 МВт.
- Экспериментально продемонстрировано нелинейное формирование последовательности из двух или трех сверхкоротких импульсов на временном масштабе в несколько сотен фемтосекунд в процессе генерации второй оптической гармоники от импульсов накачки с длиной волны 1.25 мкм и длительностью 70 фс в кристалле ниобата лития с периодической доменной структурой. Подобная последовательность импульсов находит свое применение в схемах фемтосекундной КАРС-спектроскопии долгоживущих резонансов.
- Показано, что модуляция спектра сверхкоротких импульсов среднего ИК диапазона (3-11 мкм), возникающая за счет резонансного взаимодействия света с компонентами атмосферного воздуха, приводит к возникновению субимпульсов, временные профили и задержки которых специфичны к колебательно-вращательному движению молекул, что позволяет предложить новый альтернативный способ молекулярной импульсной (время-разрешенной) спектроскопии.

Результаты диссертации могут найти применение в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего профессионального образования "Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова", федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего образования "Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики", федеральном государственном бюджетном учреждении науки Физический институт им. П.Н.Лебедева Российской академии наук, федеральном государственном бюджетном учреждении науки Институте общей физики им. А.М.Прохорова Российской академии наук, федеральном государственном бюджетном учреждении науки Институте лазерной физики Сибирского отделения Российской академии наук, федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего профессионального образования "Московский физико-технический институт (государственный университет)", федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего профессионального образования "Санкт-Петербургский государственный университет" и в других научных и образовательных организациях.

В целом диссертация представляет собой существенный вклад в лазерную физику, а именно в развитие методов нелинейной спектроскопии и дистанционного зондирования с использованием сверхкоротких лазерных импульсов с управляемыми спектральными, временными и фазовыми характеристиками. Достоверность результатов работы не вызывает сомнений в связи с очевидным высоким уровнем исследований, проведенных с использованием современных экспериментальных установок и измерительного оборудования. Результаты работ

широко опубликованы в отечественных и зарубежных журналах, имеющих высокие рейтинги, неоднократно докладывались на международных конференциях.

Содержание диссертации и основные положения, выносимые на защиту, отражают персональный вклад автора. Экспериментальные исследования были выполнены совместно с сотрудниками лаборатории фотоники и нелинейной спектроскопии кафедры общей физики и волновых процессов физического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова, при этом вклад в экспериментальные исследования автора был определяющим (за исключением экспериментов, выполненных в Венском Технологическом университете, параграф 4.2). Теоретический анализ и численное моделирование, использованное для сравнения с оригинальными экспериментальными результатами, были выполнены лично автором. Подготовка к публикации полученных результатов проводилась совместно с соавторами.

На заседании 19.06.2014г. диссертационный совет принял решение присудить Ланину А.А. ученую степень кандидата физико-математических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 20 человек, из них 7 докторов наук по специальности 01.04.21 – лазерная физика, физико-математические науки, участвовавших в заседании, из 24 человек, входящих в состав совета, дополнительно введены на разовую защиту 0 человек, проголосовали: за 20, против нет, недействительных бюллетеней нет.

Председатель диссертационного совета Д 501.001.31  
доктор физико-математических наук, профессор

А.В. Андреев

Ученый секретарь диссертационного совета Д 501.001.31  
кандидат физико-математических наук

А.А. Коновко

19 июня 2014 г.

