

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА 24.2.340.03, СОЗДАННОГО НА БАЗЕ
ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО АВТОНОМНОГО ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО
УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ "НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
НИЖЕГОРОДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМ. Н.И. ЛОБАЧЕВСКОГО"
МИНИСТЕРСТВА НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ ПО
ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА НАУК

аттестационное дело № _____

решение диссертационного совета от 22.06.2026 г. № 14.

О присуждении Курникову Михаилу Александровичу, гражданину Российской Федерации, ученой степени кандидата физико-математических наук.

Диссертация «Генерация, преобразование и детектирование терагерцевых волн в условиях неколлинеарного фазового синхронизма с ультракороткими лазерными импульсами в кристаллах» по специальности 1.3.19. Лазерная физика принята к защите 15 апреля 2026 г., протокол № 10, диссертационным советом 24.2.340.03, созданным на базе Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, 603022, г. Нижний Новгород, пр. Гагарина, д. 23, приказом Рособнадзора № 105/нк от 11 апреля 2012 г.

Соискатель, Курников Михаил Александрович, 28 июля 1997 года рождения, в 2021 году окончил магистратуру радиофизического факультета Нижегородского государственного университета им. Н.И. Лобачевского по специальности 03.04.03. Радиофизика. С 2021 по 2025 год обучался в аспирантуре радиофизического факультета (специальность 03.06.01. Физика и астрономия).

В период подготовки диссертации и в настоящее время Курников Михаил Александрович работает в федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего образования «Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского» в должности младшего научного сотрудника в лаборатории по взаимодействию интенсивных излучений с веществом кафедры общей физики радиофизического факультета.

Диссертация выполнена на кафедре общей физики радиофизического факультета ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

Научный руководитель доктор физико-математических наук, профессор Бакунов Михаил Иванович, заведующий кафедрой общей физики радиофизического факультета федерального

государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского».

Официальные оппоненты:

1. Раевский Алексей Сергеевич, гражданин Российской Федерации, доктор физико-математических наук (специальность 01.04.03. Радиофизика), профессор, заведующий кафедрой «Физика и техника оптической связи» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева»,
2. Назаров Максим Михайлович, гражданин Российской Федерации, кандидат физико-математических наук (специальность 01.04.21. Лазерная физика), начальник лаборатории сверхсильных световых полей федерального государственного бюджетного учреждения «Национальный исследовательский центр „Курчатовский институт“»

дали **положительные** отзывы на диссертацию.

Ведущая организация Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Объединенный институт высоких температур Российской академии наук (ОИВТ РАН), г. Москва, в своем **положительном** отзыве, утвержденном 14.05.2026 г., доктором физико-математических наук Петровым О.Ф., директором Объединенного института высоких температур РАН, подписанном кандидатом физико-математических наук, старшим научным сотрудником лаборатории лазерного воздействия Овчинниковым А.В., подписанном кандидатом физико-математических наук, заведующим лабораторией лазерного воздействия Ситниковым Д.С., указала, что диссертация Курникова Михаила Александровича удовлетворяет требованиям ВАК РФ, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор Курников Михаил Александрович заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.19. Лазерная физика.

Соискатель имеет 20 опубликованных работ, в том числе по теме диссертации опубликовано 14 работ, из них в рецензируемых научных изданиях, индексируемых WoS, Scopus и RSCI, опубликовано 6 работ. Основные результаты диссертации были представлены на международных и всероссийских конференциях. Получен патент Российской Федерации на изобретение.

Авторский вклад соискателя в опубликованные в соавторстве работы заключается в участии в постановке задач, выполнении аналитических и численных расчетов, проведении экспериментальных исследований, анализе и интерпретации полученных результатов, а также в подготовке их к публикации.

Проверка текста диссертации не выявила неправомерных заимствований. Исследования являются оригинальными и представляются к защите впервые. В диссертации отсутствуют

недостовверные сведения об опубликованных соискателем ученой степени работах.

Наиболее значимые научные работы по теме диссертации:

1. Bakunov, M. I. Broadband highly efficient source of collimated terahertz radiation driven by an ultrafast optical oscillator / M. I. Bakunov, **M. A. Kurnikov**, A. I. Shugurov, S. B. Bodrov // Optics Letters. – 2025. – Vol. 50. – № 2. – P. 586–589.
2. Bakunov, M. I. Femtosecond oscillator driven terahertz emitter with conical totally internally reflective radiation extractor / M. I. Bakunov, **M. A. Kurnikov**, A. I. Shugurov, S. B. Bodrov // IEEE Transactions on Terahertz Science and Technology. – 2024. – Vol. 15. – № 1. – P. 84–90.
3. **Kurnikov, M. A.** Efficient Cherenkov-type optical-to-terahertz conversion of femtosecond oscillator pulses / **M. A. Kurnikov**, N. A. Abramovsky, A. I. Shugurov, S. B. Bodrov, M. I. Bakunov // Photonics. – 2024. – Vol. 11. – № 1. – P. 62.
4. **Kurnikov, M. A.** Noncollinear electro-optic detection of terahertz waves: advantages and limitations / **M. A. Kurnikov**, M. I. Bakunov // Journal of Applied Physics. – 2024. – Vol. 135. – № 16. – P. 163102.
5. Bodrov, S. B. Cherenkov-type terahertz generation by long-wavelength ultra-fast laser excitation of a GaP Crystal / S. B. Bodrov, A. I. Shugurov, E. S. Efimenko, **M. A. Kurnikov**, I. E. Ilyakov, B. V. Shishkin, M. I. Bakunov // Photonics. – 2023. – Vol. 10. – № 12. – P. 1309.
6. **Kurnikov, M. A.** Long propagating velocity-controlled Einstein's mirror for terahertz light conversion / **M. A. Kurnikov**, A. L. Novokovskaya, E. S. Efimenko, M. I. Bakunov // Optics Express. – 2020. – Vol. 28. – № 22. – P. 33084–33093.

На диссертацию и автореферат поступило 2 отзыва от:

1. Оладышкина Ивана Владимировича, кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.03. Радиофизика, старшего научного сотрудника лаборатории нелинейной спектроскопии Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный исследовательский центр Институт прикладной физики им. А.В. Гапонова-Грехова Российской академии наук» (ИПФ РАН), г. Нижний Новгород.
2. Николаева Назара Александровича, кандидата технических наук по специальности 01.04.05. Оптика, ведущего научного сотрудника лаборатории терагерцовой фотоники Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт автоматики и электрометрии Сибирского отделения Российской академии наук, г. Новосибирск.

Все отзывы **положительные**. В отзывах отмечается актуальность темы исследования, новизна полученных результатов и их значимость для науки и практики.

В отзывах на диссертацию и автореферат содержатся следующие замечания.

Замечания из отзыва ведущей организации.

Для полученных экспериментальных зависимостей отсутствует анализ погрешностей измерений.

В диссертационной работе указано, что калибровка ячейки Голя проводилась с использованием ослабленного света накачки, но нет информации о методике калибровки. Каким образом осуществлялась калибровка ячейки Голя?

При экспериментальном исследовании выходных характеристик оптико-терагерцового конвертора с односторонним выводом терагерцового излучения через кремниевый полуконус полного внутреннего отражения была использована схема фокусировки ТГц излучения с цилиндрическим и сферическим параболическими зеркалами, а в схеме электрооптического детектирования использовался кристалл GaP толщиной 50 мкм. Почему такая схема фокусировки и измерений не использовалась при исследовании оптико-терагерцового конвертора с двусторонним выводом терагерцового излучения?

На рис. 2.11 амплитуда «осцилляторного хвоста» составляет около 20% от амплитуды основного сигнала, а на рис. 2.14 амплитуда «осцилляторного хвоста» составляет уже около 40%. Наблюдаемые осцилляции с частотой ~ 1.1 ТГц автор связывает с наличием нежелательных отражений терагерцового излучения от толстого слоя клея на одной из границ слоя LiNbO_3 . Но на спектрах рис. 2.11 и 2.14 провал практически одинаковый на частоте ~ 1.1 ТГц. Чем это можно объяснить?

Присутствуют небольшое количество опечаток в тексте. Так на стр. 52 (4 строка сверху) перед словом «несмотря» должна быть запятая. На стр. 55 в предложении «Экспериментальное исследование влияния указанных факторов на характеристики генерируемого терагерцового излучения и проведено ниже.» союз «и» перед словом «проведено», вероятно, лишний. На стр. 57 фокусное расстояние линз (первый абзац) указано в «мм», а должно быть в «см».

Было бы правильно приводить рисунки после их первого упоминания в тексте. В диссертационной работе некоторые рисунки встречаются раньше упоминания их в тексте. Например, рисунок 2.11 расположен на 56 стр., а ссылка на него идет только на 58 стр.

Замечания из отзыва официального оппонента Раевского А.С.

В тексте диссертации недостаточно подробно описаны математические постановки решаемых задач, в частности, не приведены граничные и начальные условия, используемые при решении численными методами дифференциальных уравнений.

Непонятно, как определялись мощности лазера и усилителя, указанные на рис. 1.4.

Стр. 30: непонятно, как в модели учитывалось насыщение эффективности оптико-терагерцовой конверсии?

Стр. 37: говорится про «накачку импульсами оптического усилителя», но не сказано, что является генератором этих импульсов.

Глава 2: как учитывались волноводные свойства слоя кристалла LiNbO_3 , представляющего собой планарный оптический волновод?

Имеет ли практическое применение «раздвоенный» терагерцовый пучок, получаемый при двустороннем выводе излучения?

Некоторые терминологические замечания:

- стр. 72: не понятно, что означает «В-интеграл»;
- стр. 78: термин «скинирующий», очевидно, является жаргонизмом.

Замечания из отзыва официального оппонента Назарова М.М.

При сравнении эффективностей методов генерации в нелинейных кристаллах надо учитывать и органические кристаллы с более высокой нелинейностью и абсолютными рекордами по эффективности, несмотря на их известные недостатки.

Следует уточнить, почему после конического отражателя ТГц пучок на самом деле не является коллимированным, как планировалось, а требует дополнительного зеркала для его реальной коллимации.

Замечание из отзыва на автореферат Оладышкина И.В.

При изложении результатов Главы 3, в которой моделируется отражение ТГц импульса от фронта ионизации, не обсуждается поглощение низкочастотного излучения в плазменном слое. В общем случае плазма с концентрацией носителей $10^{17} - 10^{18} \text{ см}^{-3}$ должна обладать существенным частотно-зависимым поглощением, и поэтому утверждение о том, что отраженный импульс сохраняет амплитуду «практически без изменения», требует дополнительного обоснования.

Замечание из отзыва на автореферат Николаева Н.А.

На стр. 16 утверждается, что схема с двумя полуконусами позволяет избавиться от интерференционного провала в спектре излучения (рис. 4б и 4г). Однако это не очевидно, т.к. провал на рис. 4б расположен в окрестности 4,8 ТГц, в то время как ширина всего спектра на рис. 4г ограничена данной частотой. Из-за низкого уровня сигнала (рис. 4г) нет возможности судить о наличии или отсутствии такового провала.

В продолжение предыдущего вопроса, хотелось бы узнать, с чем связано отличие в спектральной ширине генерируемого излучения для случая одного и двух полуконусов (рис. 4б и 4г).

На стр. 18 в части описания п. 4.2 диссертации делаются заключения общего характера о том, что «указаны оптимальные значения параметров» и «показано влияние дисперсии на спектр выходного сигнала». В данном случае интересны подробности и конкретные значения параметров,

которые не приведены.

В результате №5 на стр. 20 отмечается, что неколлинеарная схема детектирования позволила достичь спектральной полосы 3 ТГц в полупроводниковых кристаллах, однако теоретический расчет на рис. 8 показывает предел в окрестности 7 ТГц. С чем могут быть связаны экспериментальные ограничения и возможно ли на практике достичь теоретических пределов?

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается значительным опытом выполнения ими научно-исследовательских работ по тематике диссертации.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований установлено следующее:

Предложена и экспериментально продемонстрирована простая и эффективная схема генерации терагерцового излучения при оптическом выпрямлении импульсов лазерного усилителя среднего ИК диапазона в кристалле GaP. Особенностью схемы является ввод сфокусированного в линию лазерного пучка в кристалл под углом Брюстера, что обеспечивает генерацию терагерцовых волн в кристалле в виде черенковского клина и вывод половины клина из кристалла по нормали к его выходной грани в виде пучка с плоским волновым фронтом без использования каких-либо согласующих элементов.

Разработаны и экспериментально апробированы оптико-терагерцовые конверторы на основе тонкого слоя кристалла LiNbO_3 , особенностью которых является использование кремниевых полуконусов для вывода терагерцового излучения из кристалла в виде коллимированного пучка. Конверторы обеспечивают рекордную (до 0,06%) эффективность преобразования импульсов фемтосекундных оптических осцилляторов (с энергией импульса в несколько наноджоулей) в терагерцовое излучение. Продemonстрирована совместимость конверторов с лазерами различной длины волны.

Предложен способ спектрально-временного преобразования терагерцового импульса, основанный на его отражении от фронта многофотонной ионизации с регулируемой скоростью движения и длиной распространения в сотни микрон, создаваемого в кристалле лазерным импульсом со скошенным фронтом интенсивности. На примере трёхфотонной ионизации кристалла ZnS импульсами титан-сапфирового лазера с помощью численного моделирования показано, что при отражении терагерцовый импульс испытывает многократную временную компрессию и уширение спектра при практически неизменной амплитуде.

Разработана теория электрооптического стробирования временной формы терагерцовых волн фемтосекундными лазерными импульсами для условий неколлинеарного распространения зондирующего лазерного и терагерцового пучков. Установлено, что неколлинеарная схема обладает свойствами фильтра нижних частот с частотой отсечки, определяемой радиусом лазерного пучка, углом неколлинеарности и длиной области пересечения пучков.

Показано, что детектируемый частотный диапазон ограничен ~ 3 ТГц для кристалла GaAs и ~ 2 ТГц для LiNbO₃ при зондировании импульсами с длинами волн 1,55 мкм и 0,8 мкм соответственно.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что разработано теоретическое описание метода измерения временной формы терагерцовых волн, основанного на их нелинейном взаимодействии с ультракороткими лазерными импульсами в условиях неколлинеарного распространения в электрооптических кристаллах.

Значение полученных соискателем результатов для практики определяется возможностью использования предложенных в диссертации оптико-терагерцовых конверторов для улучшения характеристик терагерцовых спектрометров и систем терагерцовой микроскопии.

Предложенный в диссертации способ создания в кристаллах фронтов фотоионизации с регулируемой скоростью движения и длиной распространения в сотни микрон может быть использован для доплеровского преобразования терагерцовых импульсов с целью оптимизации их спектрально-временных характеристик.

Разработанная теория неколлинеарного метода электрооптического измерения временной формы терагерцовых волн раскрывает преимущества и ограничения данного метода и позволяет оптимизировать выбор кристалла-детектора, размер оптического пучка и угол перекрытия терагерцового и оптического пучков.

Оценка достоверности полученных результатов исследования выявила, что изложенные в диссертационной работе результаты получены с применением апробированных теоретических и экспериментальных методов, их достоверность подтверждается согласованием экспериментальных результатов с результатами численного моделирования, а также с имеющимися для частных случаев данными других авторов, апробацией результатов на российских и международных научных конференциях и публикациями в высокорейтинговых рецензируемых журналах.

Личный вклад соискателя состоит в непосредственном участии в постановке задач, проведении аналитических исследований и численного моделирования, участии в экспериментах, обработке и анализе полученных результатов, подготовке публикаций в научных журналах.

В ходе защиты диссертации было высказано критическое замечание о возможности аналитического решения рассмотренной в главе 1 задачи вместо проведенного численного моделирования. Были заданы вопросы о существенности анизотропии используемых в работе кристаллов, о требованиях к точности установки угла падения пучка накачки в схеме терагерцовой генерации в главе 1, о влиянии легирования полупроводника на эффективность генерации терагерцового излучения, об удобстве практического использования предложенной в главе 1 схемы генерации, о методике численных расчетов в главе 3.

Соискатель Курников М.А. ответил на замечание и заданные в ходе заседания вопросы и привел собственную аргументацию. Соискатель обосновал необходимость численных расчетов в

главе 1, разъяснил существенность анизотропии нелинейных свойств используемых кристаллов, указал допустимый интервал отклонения угла падения пучка накачки от оптимального в главе 1, привел некоторые сведения о влиянии легирования кристалла на эффективность генерации в нем терагерцового излучения, указал удобства практического использования предложенной в главе 1 схемы генерации, разъяснил методику численных расчетов в главе 3.

На заседании 22.06.2026 г. диссертационный совет принял решение: за решение научной задачи, имеющей значение для развития терагерцовой фотоники и лазерной физики, присудить Курникову М.А. ученую степень кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.19. Лазерная физика.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 15 человек из них 6 докторов наук по специальности 1.3.19. Лазерная физика, участвовавших в заседании, из 21 человека, входящих в состав совета, проголосовали: за присуждение ученой степени — 15, против присуждения ученой степени — 0, недействительных бюллетеней — 0.

Председатель
диссертационного совета



Гурбатов Сергей Николаевич

Ученый секретарь
диссертационного совета

Клюев Алексей Викторович

22.06.2026