

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА 24.1.262.01 НА БАЗЕ
ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ
НАУКИ ФИЗИЧЕСКОГО ИНСТИТУТА ИМ. П. Н. ЛЕБЕДЕВА РОССИЙСКОЙ
АКАДЕМИИ НАУК ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ
СТЕПЕНИ КАНДИДАТА НАУК

аттестационное дело № _____

решение диссертационного совета от 14 октября 2024 г № 74

О присуждении Сагитовой Адиле Маратовне, гражданке Российской Федерации, учёной степени кандидата физико-математических наук.

Диссертация «Генерация излучения в спектральном диапазоне 1.7–19.3 мкм при преобразовании частоты излучения СО- и СО₂-лазеров в нелинейных кристаллах» по специальности 1.3.19 — Лазерная физика принята к защите 18 июня 2024 года, (протокол заседания № 69) диссертационным советом 24.1.262.01, созданным 11 апреля 2012 года приказом № 105/нк на базе Федерального государственного бюджетного учреждения науки Физического института им. П.Н. Лебедева Российской академии наук (ФИАН), 119991 ГСП-1 Москва, Ленинский проспект, д. 53.

Соискатель Сагитова Адиля Маратовна, 29 мая 1993 года рождения, в 2018 году окончила Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ» по направлению подготовки 14.04.02 «Ядерные физика и технологии» по профилю образовательной программы «Мощные лазеры и лазерный термоядерный синтез». С 2018 года обучалась в аспирантуре Федерального государственного бюджетного учреждения науки Физического института им. П. Н. Лебедева Российской академии наук (ФИАН) по направлению «Физика и астрономия» и закончила её в 2022 году. С 2017 года является сотрудником ФИАН. В настоящее время работает в должности высококвалифицированного младшего научного сотрудника Лаборатории газовых лазеров Центра лазерных

и нелинейно-оптических технологий Отделения квантовой радиофизики ФИАН.

Научный руководитель: Климачев Юрий Михайлович, кандидат физико-математических наук, доцент, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Физический институт имени П.Н. Лебедева Российской академии наук, высококвалифицированный старший научный сотрудник Лаборатории газовых лазеров Центра лазерных и нелинейно-оптических технологий Отделения квантовой радиофизики.

Официальные оппоненты:

1. Потёмкин Фёдор Викторович, доктор физико-математических наук, профессор физического факультета ФГБОУ ВО «Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова» (МГУ), руководитель группы нелинейной оптики и сверхсильных световых полей;
2. Бойко Андрей Александрович, кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник Лаборатории квантовых оптических технологий – 2.4 ФГБУН «Институт лазерной физики Сибирского Отделения Российской Академии Наук» (ИЛФ СО РАН)

дали положительные отзывы о диссертации.

Ведущая организация — Акционерное общество «Государственный научный центр Российской Федерации Троицкий институт инновационных и термоядерных исследований» (АО «ГНЦ РФ ТРИНИТИ») (г. Москва), в своем положительном отзыве, подписанном доктором физико-математических наук, профессором Гурашвили Виктором Арчельевичем, главным научным сотрудником АО «ГНЦ РФ ТРИНИТИ», кандидатом физико-математических наук Ежовым Александром Александровичем, ученым секретарем научного совета АО «ГНЦ РФ ТРИНИТИ», и утвержденном кандидатом технических наук Ильиным Кириллом Игоревичем, генеральным директором АО «ГНЦ РФ ТРИНИТИ», указала, что диссертация удовлетворяет всем требованиям,

установленным Положением о присуждении ученых степеней, утвержденным постановлением Правительства Российской Федерации № 842 от 24 сентября 2013 г., а её автор заслуживает присуждения учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.19 — Лазерная физика.

Соискатель имеет 74 опубликованные работы, в том числе по теме диссертации опубликовано 11 работ, из них в рецензируемых научных изданиях, индексируемых в базах данных Web of Science и Scopus, опубликовано 5 работ.

В диссертации отсутствуют недостоверные сведения об опубликованных соискателем А. М. Сагитовой работах.

Наиболее значимые результаты по теме диссертации опубликованы в статьях:

1. Ionin A.A., Kinyaevskiy I.O., Klimachev Y.M., Kryuchkov D.S., Sagitova A.M., Sunchugasheva E.S. Spectral characteristics of multi-line Q-switched CO laser radiation frequency converted in ZnGeP₂ // Applied Physics B: Lasers and Optics. – 2017. – Vol. 123. – No. 9. – P. 234.
2. Ionin A.A., Badikov D.V., Badikov V.V., Kinyaevskiy I.O., Klimachev Yu.M., Kotkov A.A., Kozlov A.Y., Sagitova A.M., Sinitsyn D.V. Sum frequency generation of multi-line slab radio frequency discharge carbon monoxide laser system with intracavity nonlinear BaGa₂GeSe₆ crystal // Optics Letters. – 2018. – Vol. 43. – No. 18. – P. 4358–4361.
3. Ionin A.A., Kinyaevskiy I.O., Klimachev Yu.M., Kotkov A.A., Kozlov A.Yu., Sagitova A.M., Sinitsyn D.V., Badikov V.V., Badikov D.V. Broadband (1.7-6.0 μm) multiline CO laser system with intra- and extracavity sum frequency generation in BaGa₂GeSe₆ crystals // Optics & Laser Technology. – 2019. – Vol. 115. – P. 205–209.
4. Ionin A.A., Kinyaevskiy I.O., Klimachev Y.M., Sagitova A.M., Andreev Y.M. CO laser sum-frequency comb for atmosphere sensing // Infrared Physics & Technology. – 2019. – Vol. 100. – P. 62–66.

5. Ionin A.A., Kinyaevskiy I.O., Klimachev Y.M., Kotkov A.A., Kozlov A.Y., Sagitova A.M., Sinitsyn D. V., Rulev O.A., Badikov V.V., Badikov D.V. Frequency conversion of mid-IR lasers into the long-wavelength domain of 12–20 μm with AgGaSe_2 , $\text{BaGa}_2\text{GeSe}_6$ and $\text{PbIn}_6\text{Te}_{10}$ nonlinear crystals // Optics Express. – 2019. – Vol. 27. – No. 17. – P. 24353–24361.

Выбор официальных оппонентов обосновывается их высокой квалификацией и наличием достижений мирового уровня в области лазерной физики и нелинейной оптики, а ведущей организации – ее репутацией признанного научного центра, проводящего исследования в области физики лазерных систем и газового разряда.

Диссертационная работа Сагитовой А. М. посвящена исследованию важной на сегодняшний день теме поиска источников лазерного излучения в инфракрасном спектральном диапазоне 2–20 μm , что может открыть новые горизонты для решения различных значимых научных и практических задач, включая спектроскопию и атмосферное зондирование. Это связано с тем, что в среднем ИК-диапазоне существуют полосы поглощения для многих веществ и области прозрачности атмосферы, что облегчает их детектирование. Стоит отметить, что СО-лазер генерирует излучение именно в пределах одного из таких прозрачных окон атмосферы (2.5–4.0 μm). Однако для расширения диапазона практических применений лазера требуется обогащение его спектра, а также расширение диапазона длин волн генерации как в коротковолновую, так и длинноволновую области среднего ИК-диапазона. Кроме того, источников лазерного излучения в более длинноволновой части среднего ИК-диапазона (12–20 μm) значительно меньше, что делает изучение этого диапазона ещё более актуальным.

На основании выполненных соискателем исследований были получены следующие основные результаты:

1. Расчет спектра излучения суммарной частоты с учетом динамики генерации на каждом колебательно-вращательном переходе СО-лазера с

модуляцией добротности резонатора (МДР) показал, что динамика генерации не оказывает существенного влияния на спектр генерации суммарных частот. Пиковая мощность излучения по спектру суммарных частот, рассчитанная с учетом динамики, оказывается ниже на 18% и на 13.5% при частоте модуляции 70 и 120 Гц, соответственно, по сравнению с пиковой мощностью, рассчитанной без учета динамики. А число линий излучения на суммарных частотах также меньше на 13% и на 7.5% при частоте модуляции 70 и 120 Гц соответственно.

2. Спектр суммарных частот многолинейчатого СО-лазера обладает тонкой структурой. Он состоит из групп с расстоянием между ними $\sim 5 \text{ см}^{-1}$, которые, в свою очередь, представляют собой набор линий с интервалом $\sim 10^{-1} \text{ см}^{-1}$. Данный спектр позволяет измерять профиль линии поглощения молекул, например, CO_2 .
3. Реализовано широкополосное преобразование частот СО- и CO_2 -лазеров в новых нелинейных кристаллах $\text{BaGa}_2\text{GeSe}_6$ и $\text{PbIn}_6\text{Te}_{10}$. При внутри- и внерезонаторном преобразовании излучения СО-лазера в кристалле $\text{BaGa}_2\text{GeSe}_6$ были освоены спектральные диапазоны 2.45–2.95 мкм и 1.7–1.9 мкм соответственно. Генерация разностных частот СО- и CO_2 -лазеров в кристалле $\text{PbIn}_6\text{Te}_{10}$ позволила получить излучение на длинах волн от 12 до 19.3 мкм. Таким образом расширен диапазон излучения СО- и CO_2 -лазеров в спектральную область от 1.7 до 19.3 мкм.

Все результаты, представленные автором, являются новыми. Новизна обусловлена тем, что:

1. В рамках эксперимента впервые была исследована динамика генерации излучения СО-лазера с модификацией добротности резонатора, охватывающая большое количество (~ 100) колебательно-вращательных переходов в диапазоне длин волн 4.9–6.5 мкм.
2. Впервые учитывалась динамика генерации для каждого колебательно-вращательного перехода СО-лазера при численном расчёте спектра

излучения суммарных частот СО-лазера, сформированного в кристалле ZnGeP_2 .

3. Впервые показано наличие тонкой структуры спектра генерации суммарных частот многолинейчатого СО-лазера и продемонстрирована возможность его использования для измерения профиля линии поглощения молекул CO_2 .
4. Впервые реализовано широкополосное преобразование излучения СО-лазера (включая внутррезонаторное) и излучения СО- и CO_2 -лазеров в диапазоне длин волн 1.7–14.0 мкм с использованием нового нелинейного кристалла $\text{BaGa}_2\text{GeSe}_6$.
5. Впервые была получена широкополосная генерация излучения на разностных частотах СО- и CO_2 -лазеров в новом нелинейном кристалле $\text{PbIn}_6\text{Te}_{10}$ в диапазоне длин волн от 12 до 19.3 мкм.

Практическая значимость полученных соискателем результатов заключается в потенциале их применения при разработке лазерных систем, которые способствуют решению таких практических задач, как спектроскопия и многокомпонентный газовый анализ атмосферы и её загрязняющих веществ. Использование нелинейных кристаллов для генерации суммарных частот СО-лазера позволяет расширить как диапазон его излучения, так и область возможных применений. Тонкая структура спектра генерации суммарных частот СО-лазера позволяет проводить измерения профиля линии поглощения атмосферных газов. Кроме того, генерация разностных частот СО- и CO_2 -лазеров в нелинейных кристаллах открывает возможность получения излучения в длинноволновой части среднего ИК-диапазона, где существует ограниченное количество источников лазерного излучения. Наконец, экспериментальные результаты, касающиеся условий, при которых происходит преобразование частот в новых нелинейных кристаллах $\text{BaGa}_2\text{GeSe}_6$ и $\text{PbIn}_6\text{Te}_{10}$ в диапазоне длин волн генерации СО-лазера около 5–6 мкм, могут быть применены к другим типам лазеров этого спектрального диапазона.

Результаты, полученные в диссертации, могут быть использованы в исследованиях в области лазерной физики высоких энергий, которые проводятся в таких организациях, как Физический институт имени П. Н. Лебедева РАН, Институт общей физики им. А. М. Прохорова РАН, Институт оптики атмосферы им. В. Е. Зуева СО РАН, Институт лазерной физики СО РАН, АО «ГНЦ РФ ТРИНИТИ», Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ».

Достоверность и обоснованность результатов, представленных в диссертации, обеспечена проведением экспериментальных измерений на современном научном оборудовании с высокой точностью и воспроизводимостью результатов; соответствием экспериментальных результатов имеющимся литературным данным и результатам расчётов по теоретическим моделям, развитым диссертантом.

Все основные научные результаты, включенные в диссертацию Сагитовой А. М., получены лично автором, либо при её непосредственном участии. Автор принимала участие в описанных в работе экспериментах, обрабатывала экспериментальные данные, проводила теоретические расчеты. Автором было осуществлено моделирование влияния динамики генерации СО-лазера на мощность излучения суммарных частот, предложено и реализовано внутризональное преобразование излучения СО-лазера с МДР. Подготовка результатов к публикации проводилась совместно с соавторами.

В ходе защиты соискатель Сагитова А. М. ответила на заданные ей вопросы членов диссертационного совета, а также дала аргументированные ответы на замечания ведущей организации и оппонентов.

На заседании 14 октября 2024 года диссертационный совет принял решение присудить Сагитовой А. М. учёную степень кандидата физико-математических наук за решение научной задачи по формированию лазерного излучения с большим числом линий в широком диапазоне длин волн ИК-диапазона (~2–20 мкм) за счёт преобразования излучения многочастотных СО-

и CO₂-лазеров в нелинейных кристаллах, в том числе новых нелинейных кристаллах BaGa₂GeSe₆ и PbIn₆Te₁₀, и выяснению влияния свойств как самого излучения накачки, так и преобразователя частот на характеристики выходного излучения.

При проведении тайного голосования члены диссертационного совета в количестве 21 человека, из них 8 докторов наук по специальности рассматриваемой диссертации (1.3.19 — Лазерная физика), участвовавшие в заседании, из 26 человек, входящих в состав совета, проголосовали:

за присуждение учёной степени — 21,

против присуждения учёной степени — 0,

недействительных бюллетеней — 0.

Председатель диссертационного совета
член-корр. РАН, д.ф.-м.н.

Колачевский Николай Николаевич

Учёный секретарь диссертационного совета
д.ф.-м.н.

Золотько Александр Степанович

14 октября 2024 г.