

УТВЕРЖДАЮ:

Проректор по научной работе НГТУ
кандидат технических наук
Артур Исаакович Отто



2023 г.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения
высшего образования
«Новосибирский государственный технический университет»

Диссертация «Многочастотное излучение диодного лазера с внешним резонатором для возбуждения КПН резонансов в рубидии-87» выполнена на кафедре Лазерных систем.

В период подготовки диссертации соискатель Савинов Константин Николаевич с 2020 года и по настоящее время работает в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Новосибирский государственный технический университет» на кафедре Лазерных систем в должности ассистента.

В период подготовки диссертации соискатель Савинов Константин Николаевич обучается в очной аспирантуре Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Новосибирский государственный технический университет» по направлению 03.06.01 – «Физика и астрономия» (профиль: «Оптика»), на кафедре Лазерных систем, нормативный период обучения с 01.09.2019 г. по 31.08.2023 г.

В 2019 году Савинов К.Н. окончил Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Новосибирский государственный технический университет» по направлению 16.04.01 – «Техническая физика» (профиль: «Лазерные системы в науке и технике»), выдан диплом, присуждена степень «Магистр».

Справка о сдаче кандидатских экзаменов №614 выдана в 2022 году Федеральным государственным бюджетным образовательным учреждением высшего образования «Новосибирский государственный технический университет».

Научный руководитель – Дмитриев Александр Капитонович, доктор физико-математических наук, профессор, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Новосибирский государственный технический университет», кафедра Лазерных систем, должность профессор.

По итогам обсуждения принято следующее заключение (выписка из протокола расширенного заседания кафедры Лазерных систем):

1. Актуальность темы диссертационного исследования

Целью работы является разработка методов управления спектром излучения диодного лазера с внешним резонатором для возбуждения резонансов когерентного пленения населенности в рубидии-87. Работа посвящена разработке методов снижения световых сдвигов стандартов частоты, что является актуальной задачей в навигации, создании высокоточных приборов и прецизионных измерениях физических величин. Часть работы выполнена в рамках реализации программы стратегического академического лидерства «Приоритет-2030» в НГТУ (проект «Силовая электроника и интеллектуальная энергетика»), что подтверждает актуальность работы.

2. Личное участие соискателя в получении результатов, изложенных в диссертации

Все экспериментальные результаты, представленные в работе, получены самим автором, либо при его непосредственном участии. Подготовка результатов к публикации проводилась совместно с другими соавторами, при этом вклад диссертанта был определяющим. Постановка целей и задач, а также анализ полученных экспериментальных результатов осуществлялась совместно с научным руководителем.

3. Степень достоверности результатов проведенных исследований

Достоверность результатов обеспечивается применением современных теоретических представлений и методов обработки при анализе данных. Положения, выносимые на защиту, сформулированные автором, обоснованы теоретически и подтверждены данными экспериментов. Приведенные в диссертации результаты не противоречат данным, опубликованным в отечественной и зарубежной научной литературе.

4. Новизна и практическая значимость результатов проведенных исследований

Характеризуется новизна каждого научного результата и осуществляется его оценка по сравнению с другими известными решениями, показывается конкретное отличие от результатов, полученных другими авторами.

Приводятся сформулированные пункты научной новизны, как в диссертации.

Научная новизна диссертационной работы:

1) Обнаружена осциллирующая зависимость амплитуд боковых компонент спектра диодного лазера с внешним резонатором от частоты СВЧ модуляции, тогда как в литературе описывается резонансная зависимость, т.е. максимум наблюдается при совпадении частоты модуляции с междомодовым интервалом лазера. Различия предположительно могут быть связаны с наличием составного резонатора лазера.

2) Установлено, что при ОВЧ модуляции тока инжекции диодного лазера с внешним резонатором положение тонкой структуры спектра на боковых полосах определяется междомодовым интервалом лазера, хотя считается, что спектр в данном случае описывается функцией Бесселя, для которой положение компонент определяется частотой модуляции. Различия могут быть связаны с наличием «холодных мод» резонатора лазера.

3) Установлено, что при совместном действии ОВЧ и СВЧ модуляции частотный интервал между тонкими структурами боковых полос спектра определяется частотой СВЧ модуляции. Вопрос управления спектром при одновременной модуляции ОВЧ и СВЧ частотами ранее не рассматривался.

4) Зарегистрирована серия КПН резонансов при многочастотной накачке диодным лазером с внешним резонатором, чего ранее не удавалось сделать, поскольку как правило для возбуждения КПН резонансов применяются лазеры с широкой линией, для которых многочастотная накачка невозможна.

Практическая значимость работы:

- использование экспериментально записанной функции пропускания интерферометра Фабри-Перо позволяет повысить точность обработки составных спектров;

- увеличение тока инжекции диодного лазера приводит к снижению осцилляций в зависимости амплитуд боковых компонент спектра от частоты СВЧ модуляции;

- использование многочастотной накачки КПН резонансов приводит к снижению параметров насыщения, а, следовательно, и к уменьшению светового сдвига.

5. Ценность научных работ соискателя

Работа направлена на создание уникального стандарта частоты, работающего одновременно в оптическом и радиодиапазоне, тогда как все современные устройства способны работать только в одном из них. В работе описываются не исследованные ранее методики возбуждения КПН резонансов: использование диодного лазера с внешним резонатором; применение одновременно двух типов модуляции; регистрация не только центрального, но и боковых резонансов. Экспериментально продемонстрирована возможность применения этих методов для возбуждения КПН резонансов, а также теоретически описаны преимущества перед широко распространенными методами.

6. Научная специальность, которой соответствует диссертация

Диссертационная работа *Савинова Константина Николаевича «Многочастотное излучение диодного лазера с внешним резонатором для возбуждения КПН резонансов в рубидии-87»* соответствует паспорту научной специальности 1.3.6. – Оптика:

- направлениям исследования паспорта специальности, в частности: пункту «7. Излучение, поглощение и рассеяние света изолированными и взаимодействующими атомами, молекулами и ионами. Физические основы процессов люминесценции и спектроскопических методов исследования веществ. Поляризационные явления»;
- пункту «8. Разработка базовых принципов построения источников светового излучения и функционирования фотонных и оптоэлектронных устройств. Лазерная спектроскопия, оптические прецизионные измерения, стандарты частоты и времени, квантовые сенсоры».

7. Полнота изложения материалов диссертации в работах опубликованных соискателем

Результаты диссертационного исследования опубликованы в 23 научных работах, из них работ, опубликованных согласно перечню российских рецензируемых научных журналов, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученых степеней доктора и кандидата наук (перечень ВАК РФ) – 7 (из них 6 индексируются в базах Scopus и/или Web of Science), тезисов конференций, индексируемых базами Scopus и/или Web of Science - 5; патентов РФ - 1.

Основные научные результаты диссертации достаточно полно отражены:

В работах, опубликованных в рецензируемых научных изданиях (из перечня ВАК РФ):

1. Исакова А. А. Особенности режимов генерации полупроводникового лазера с внешним резонатором при СВЧ модуляции / А. А. Исакова, К. Н. Савинов, Н. Н. Головин, Н. Ж. Алтынбеков, В. И. Вишняков, А. К. Дмитриев // *Квантовая Электроника*. – 2017. – Т.47, №7. – С. 610-613.
Переводная версия: Isakova A. A. Specific features of oscillation regimes of an external cavity diode laser under microwave modulation / A.A. Isakova, K.N. Savinov, N.N. Golovin, N.Zh. Altynbekov, V.I. Vishnyakov, A.K. Dmitriev // *Quantum Electronics*. – 2017. – Vol. 47, N 7. – P. 610-613.

2. Исакова А. А. Мультичастотный источник накачки КПН-резонансов на основе диодного лазера с внешним резонатором / А. А. Исакова, Н. Н. Головин, К. Н. Савинов, А. К. Дмитриев // *Квантовая электроника*. – 2019. – Т. 49, №6. – С. 600-603.
Переводная версия: Isakova A. A. Multifrequency source for pumping CPT-resonances based on an external cavity diode laser / A. A. Isakova, N. N. Golovin, K. N. Savinov, A. K. Dmitriev // *Quantum Electronics*. – 2019. – Vol. 49, N 6. – P. 600-603.

3. Исакова А. А. Комбинированная СВЧ- и ВЧ-модуляция тока инжекции диодного лазера для многочастотной накачки КПН-резонансов / А. А. Исакова, К. Н. Савинов, Н. Н. Головин, К. М. Сабакар, А. К. Дмитриев, А. А. Рундау // *Известия высших учебных заведений. Физика*. – 2020. – Т. 63, №1. – С.154-158.
Переводная версия: Isakova A. A. Combined Microwave and High-Frequency Modulation of the Injection Current of a Diode Laser for Multiple-Frequency Excitation of CPT-Resonances / A.A. Isakova, K.N. Savinov, N.N. Golovin, K.M. Sabakar, A.K. Dmitriev, A.A.Rundau // *Russian Physics Journal*. – 2020. Vol. 63, N 1. – p. 171-175.

4. Савинов К. Н. Управление спектром излучения диодного лазера при СВЧ-модуляции тока инжекции / К. Н. Савинов, А. К. Дмитриев, А. А. Рундау // *Оптика и спектроскопия*. – 2021. – т. 129, №6. – С. 760-763.
Переводная версия: Savinov K. N. Control of Emission Spectrum of a Diode Laser under VHF Modulation of Injection Current / K. N. Savinov, A. K. Dmitriev, A. A. Rundau // *Optics and Spectroscopy*. – 2021. – Vol. 129, N 7. – p. 821-824.

5. Савинов К. Н. Спектр излучения диодного лазера с внешним резонатором при совместном действии СВЧ- и ОВЧ-модуляции тока инжекции / К. Н. Савинов, А. К. Дмитриев // Известия высших учебных заведений. Физика. – 2021. – Т. 64, №12. – С. 122-126.

Переводная версия: Savinov K. N. Emission spectrum of an external cavity diode laser under the combined action of microwave and VHF modulation of the injection current / K. N. Savinov, A. K. Dmitriev // Russian Physics Journal. – 2022. – V. 64, N 12. – P. 2310-2314.

6. Савинов К. Н. КПН-резонансы при многочастотной накачке / К. Н. Савинов, А. К. Дмитриев, А. В. Кривецкий // Квантовая электроника. – 2022. – т. 52, №2. – С. 116-118.

Переводная версия: : Savinov K. N. CPT resonances under multifrequency pumping / K. N. Savinov, A. K. Dmitriev, A.V. Krivetsky // Quantum Electronics. – 2022. – Vol. 52, N 2. – P. 116-118.

7. Савинов К. Н. КПН-резонансы при многочастотной оптической накачке / К. Н. Савинов, Н. Н. Головин, А. К. Дмитриев // Квантовая электроника. – 2022. – Т. 52, №10. – С. 939–942.

В полученных патентах на изобретения:

8. Способ измерения спектра излучения [текст]: патент № 2756483 / К. Н. Савинов, Н. Н. Головин, А. К. Дмитриев заявл. 12.02.2021; опубл. 30.09.2021; бюл. №28.;

Научные результаты диссертации отражены также в следующих научных работах: (в изданиях, индексируемых базами Scopus и/или Web of Science):

9. Isakova A. A. Multi-frequency diode laser for pumping CPT resonances / A. A. Isakova, K. N. Savinov, A. K. Dmitriev // 2019 Conference on Lasers and Electro-Optics Europe and European Quantum Electronics Conference, CLEO/Europe-EQEC 2019, Munich; Germany; 23-27 jun. 2019: Conference Proceedings. – Munich, 2019. – N 8872664;

10. Isakova A. A. Multifrequency source pump of CPT resonances based on a diode laser with an external resonator / A.A. Isakova, K.N. Savinov, N.N. Golovin, A.K. Dmitriev // International Conference of Laser Physics, ICLO 2018, St.Petersburg, 4–8 jun. 2018: Proceedings. – St.Petersburg, 2018. – P. 166;

11. Dmitriev A.K. *Emission spectrum of a diode laser with an external cavity with RF modulation* / A. K. Dmitriev, K. N. Savinov // *AIP Conference Proceedings*. – 2019. – Vol. 2098, N 020006. – P. 1-4;
12. Savinov K. N. *Specifics of using multifrequency pumping to register CPT resonances* / K. N. Savinov, A. K. Dmitriev, A. V. Krivetsky // *Journal of Physics: Conference Series*. – V. 2067, N 012001. – P. 1-4;
13. Savinov K. N. *Series of CPT Resonances with Multifrequency Pumping by a Diode Laser* / K. N. Savinov, N. N. Golovin, I. D. Dneprovsky, A. K. Dmitriev, D. M. Kotina // *23th International Conference of Young Specialists on Micro/Nanotechnologies and Electron Devices, EDM 2022, Erlagol, 30 june – 4 july 2022: Conference Proceedings*. – Erlagol, 2022. – P. 338-341.

Результаты диссертационных исследований докладывались на научных конференциях:

1. *International Conference of Laser Physics, ICLO 2018, St.Petersburg, 4–8 jun. 2018;*
2. *15th International Scientific-Technical Conference of Actual Problems of Electronics Instrument Engineering, APEIE 2021, Novosibirsk, 19-21 nov. 2021;*
3. *9th International Symposium Modern Problems of Laser Physics, MPLP 2021, Novosibirsk, 22-28 aug. 2021*
4. *23th International Conference of Young Specialists on Micro/Nanotechnologies and Electron Devices, EDM 2022, Erlagol, 30 june – 4 july 2022;*

Личный вклад соискателя в опубликованных в соавторстве работах составляет не менее 80%.

Личный вклад автора состоит в проведении исследований, обработке и интерпретации их результатов, анализе актуальной литературы по теме исследования и подготовке статей к публикации.

8. Общее заключение

Диссертация соответствует требованиям установленным в пп. 9 - 14 Положения «О присуждении учёных степеней», утвержденного Постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. № 842, предъявляемым к кандидатским диссертациям и является законченной научно-квалификационной работой.

Диссертация «Многочастотное излучение диодного лазера с внешним резонатором для возбуждения КПН резонансов в рубидии-87» Савинова Константина Николаевича рекомендуется к защите на соискание ученой

степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.6 – «Оптика».

Заключение принято на расширенном заседании кафедры Лазерных систем Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Новосибирский государственный технический университет».

Присутствовало на заседании 17 человек, в том числе 6 докторов наук, 10 кандидатов наук.

Результаты голосования: «за» - 17 чел., «против» - 0 чел., «воздержались» - 0 чел., протокол расширенного заседания кафедры Лазерных систем № 6 от 07 июня 2023 г.

Председатель расширенного заседания кафедры Лазерных систем,
кандидат физико-математических наук, доцент,
заведующий кафедрой Лазерных систем


Илья Борисович Мирошниченко

Секретарь расширенного заседания кафедры Лазерных систем,
ученый секретарь кафедры Лазерных систем


Николай Николаевич Головин

Подписи Мирошниченко И.Б. и Головина Н.Н. заверяю.
Начальник отдела кадров ФГБОУ ВО «Новосибирский государственный
технический университет»




О. К. Пустовалова