

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 18 марта 2024 г. № 63

О присуждении Цыганкову Евгению Александровичу, гражданину Российской Федерации, учёной степени кандидата физико-математических наук.

Диссертация «Магнитооптические резонансы в атомах щелочных металлов и в полихроматических полях» по специальности 1.3.19 — Лазерная физика принята к защите 25 декабря 2023 года, (протокол заседания № 57) 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 Цыганков Евгений Александрович, 17 декабря 1989 года рождения, в 2012 году с отличием окончил Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Морской государственный университет имени адмирала Г. И. Невельского» (МГУ им. адм. Г. И. Невельского) по направлению «Радиофизика и электроника». Затем в 2014 году с отличием окончил магистратуру Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»» (НИЯУ «МИФИ») по направлению подготовки «Ядерная физика и технологии» по профилю образовательной программы «Лазерная физика». С 2014 года обучался в аспирантуре НИЯУ «МИФИ» по направлению «Физика и

астрономия» и закончил её в 2017 году. Справка о сдаче кандидатских экзаменов по специальности 01.04.21 — «Лазерная физика» выдана НИЯУ «МИФИ» в 2022 году. С 2018 года Е. А. Цыганков работает в ФИАН, в настоящее время в должности высококвалифицированного научного сотрудника.

Диссертационная работа Е. А. Цыганкова выполнена в Лаборатории стандартов частоты Троицкого обособленного подразделения ФИАН им. П. Н. Лебедева.

Научный руководитель: доктор физико-математических наук, профессор Института лазерных и плазменных технологий НИЯУ «МИФИ» Яковлев Валерий Петрович.

Официальные оппоненты:

1. Крайнов Владимир Павлович, доктор физико-математических наук, профессор кафедры теоретической физики Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Московский физико-технический институт (национальный исследовательский университет)»;
2. Пазгалёв Анатолий Серафимович, кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Физико-технический институт им. А. Ф. Иоффе» Российской академии наук

дали положительные отзывы о диссертации.

Ведущая организация — Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт спектроскопии Российской академии наук (ИСАН), г. Москва, г. Троицк, в своем положительном отзыве, подписанном кандидатом физико-математических наук Афанасьевым Антоном Евгеньевичем, старшим научным сотрудником Отдела лазерной спектроскопии Лаборатории лазерной спектроскопии ИСАН, доктором физико-математических наук Рябовым

Евгением Артуровичем, главным научным сотрудником, исполняющим обязанности заведующего Отделом лазерной спектроскопии ИСАН, и утвержденном доктором физико-математических наук Задковым Виктором Николаевичем, директором ИСАН, указала, что диссертация Е. А. Цыганкова удовлетворяет требованиям к диссертациям на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук, установленным Положением о присуждении ученых степеней, утвержденным постановлением Правительства Российской Федерации № 842 от 24 сентября 2013 г., а ее автор заслуживает присуждения учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.19 — Лазерная физика.

Соискатель имеет 32 опубликованные работы, в том числе по теме диссертации опубликовано 16 работ, из них в рецензируемых научных изданиях, индексируемых в базах данных Web of Science и Scopus, опубликовано 9 работ.

В диссертации отсутствуют недостоверные сведения об опубликованных соискателем Е. А. Цыганковым работах.

Наиболее значимые результаты по теме диссертации опубликованы в статьях:

1. А. Н. Козлов, С. А. Зибров, А.А. Зибров, В. И. Юдин, А. В. Тайченачев, В. П. Яковлев, Е. А. Цыганков, А. С. Зибров, В. В. Васильев, В. Л. Величанский, Структура магнитного резонанса в атомах  $^{87}\text{Rb}$ . Журнал экспериментальной и теоретической физики. – 2016. – Т. 149, №5. – С. 955-964
2. E. A. Tsygankov, S. A. Zibrov, A. S. Zibrov, M. I. Vaskovskaya, D. S. Chuchelov, V. V. Vassiliev, V. L. Velichansky, S. V. Petropavlovsky, V. P. Yakovlev. Single magneto-optical resonance in a modulated RF field. Physical Review A. – Т. 99. – С. 063835.

3. E. A. Tsygankov, S. A. Zibrov, A. S. Zibrov, V. V. Vassiliev, D. S. Chuchelov, M. I. Vaskovskaya, S. V. Petropavlovsky, V. P. Yakovlev. Two-quantum magnetic resonance driven by a comb-like RF field. *Optics Letters*. – 2020. – Т. 45. – С. 5205-5208.
4. D. S. Chuchelov, V. V. Vassiliev, M. I. Vaskovskaya, V. L. Velichansky, E. A. Tsygankov, S. A. Zibrov, S. V. Petropavlovsky, V. P. Yakovlev. Modulation spectroscopy of coherent population trapping resonance and light shifts. *Physica Scripta*. – 2018. – Т. 93. – С. 114002.
5. M. I. Vaskovskaya, E. A. Tsygankov, D. S. Chuchelov, S. A. Zibrov, V. V. Vassiliev, V. L. Velichansky. Effect of the buffer gases on the light shift suppression possibility. *Optics Express*. – 2019. – Т. 27. – С. 35856-35864.
6. E. A. Tsygankov, S. A. Zibrov, M. I. Vaskovskaya, D. S. Chuchelov, V. V. Vassiliev, V. L. Velichansky, A. E. Drakin, A. P. Bogatov. Specific features of the VCSEL spectra under microwave current modulation. *Optics Express*. – 2022. – Т. 30. – С. 2748-2758.

Выбор Крайнова Владимира Павловича в качестве оппонента обоснован наличием достижений мирового уровня в области теоретического описания взаимодействия лазерного излучения с веществом, в том числе на основе аппарата атомной матрицы плотности.

Выбор Анатолия Серафимовича Пазгалёва в качестве оппонента обоснован его высокой квалификацией в области радиоспектроскопии атомов щелочных металлов, подтверждённой публикациями в высокорейтинговых научных журналах.

Выбор ведущей организации обоснован её репутацией признанного научного центра, проводящего исследования в области нелинейной спектроскопии высокого разрешения, в том числе атомов щелочных металлов.

Диссертация Е. А. Цыганкова посвящена поиску возможностей улучшения метрологических характеристик переносных магнитометров на

основе двойного радиооптического резонанса и малогабаритных атомных часов на эффекте когерентного пленения населённости. Актуальность темы подтверждается массовым применением данных устройств в военных и гражданских приложениях, например для автономной навигации беспилотных аппаратов, спутниковой передачи данных, донной сейсмологии, разведки нефтегазовых месторождений в шельфовой зоне океанов. Для использования указанных часов и магнитометров в более широком классе задач требуется улучшение их метрологических характеристик.

На основании выполненных соискателем теоретических исследований были получены следующие основные результаты:

1. Показано, что модуляция амплитуды радиочастотного поля последовательностью прямоугольных импульсов позволяет существенно уменьшить ориентационный сдвиг частоты магнитного резонанса на оптическом переходе с моментом  $F = 1$  в основном и возбуждённом состоянии, связанный с эллиптичностью поляризации излучения и нелинейным эффектом Зеемана.
2. Получены аналитические выражения для амплитуд синфазного и квадратурного сигналов в случае резонанса когерентного пленения населённости, регистрируемого оптическим полем вида  $E(t) = E_0 \cos[\omega_0 t + a \cdot \sin(\Omega t + b \cdot \sin \omega_m t)]$  в  $\Lambda$ -схеме уровней. Установлено, что световой сдвиг частоты их нулей можно подавить в ограниченном диапазоне однородного уширения оптических переходов.
3. Продемонстрировано, что отношение оптических мощностей вторых боковых полос полихроматического излучения диодного лазера с вертикальным резонатором в режиме СВЧ-модуляции тока инжекции образует резонанс как функция тока инжекции, когда выполняется неравенство  $P_2 < P_1 < P_0$ , где  $P_k$  — мощность компоненты спектра излучения индекса  $k$ .

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

— Теоретическое исследование магнитного резонанса на оптическом переходе  $F_g = 1 \rightarrow F_e = 1$ , детектируемом лазерным излучением линейной поляризации, с учётом квадратичного эффекта Зеемана, выполнено впервые;

— Решена задача о когерентном пленении населённостей для случая двойной  $\Lambda$ -схемы уровней и полихроматического излучения с отличными мощностями первых боковых полос с учётом модуляции, обеспечивающей наличие синфазного и квадратурного сигналов в поглощении излучения, которая ранее не учитывалась в теоретических исследованиях;

— Впервые представлено сопоставление феноменологического подхода описания спектров диодных лазеров в режиме СВЧ-модуляции тока инжекции и подхода, основанного на уравнениях макроскопической электродинамики.

Значимость полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что предложенные методы спектроскопии магнитного резонанса в атомах щелочных металлов могут быть использованы для разработки переносных магнитометров с оптической накачкой с меньшим ориентационным сдвигом частоты по сравнению с коммерчески доступными устройствами на основе атомов калия. Полученные результаты по теме когерентного пленения населённостей используются в Федеральном государственном унитарном предприятии «Всероссийский научно-исследовательский институт физико-технических и радиотехнических измерений» при разработке малогабаритных атомных часов. Результаты диссертации могут использоваться в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки «Физико-технический институт им. А. Ф. Иоффе» Российской академии наук, в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки «Институт лазерной физики Сибирского отделения Российской академии наук», в Федеральном государственном бюджетном

учреждении науки «Физический институт имени П. Н. Лебедева Российской академии наук», Федеральном государственном бюджетном учреждении науки «Институт спектроскопии Российской академии наук», в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова», в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки «Институт земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн им. Н. В. Пушкова Российской Академии наук».

Достоверность результатов работы подтверждается использованием надежных современных методов описания резонансных явлений в атомной физике и качественным согласием полученных аналитических результатов с экспериментальными данными, в том числе Лаборатории стандартов частоты Троицкого обособленного подразделения ФИАН им. П. Н. Лебедева, а именно корректным описанием структуры двойного радиооптического резонанса и резонанса когерентного пленения населённостей.

Все основные научные результаты, представленные в диссертационной работе Е. А. Цыганкова, получены автором, либо при его непосредственном участии. В частности, автором были предложены методы спектроскопии магнитного резонанса, заключающиеся в модуляции фазы и амплитуды зондирующего переменного магнитного поля. Е. А. Цыганков самостоятельно выполнил представленные в работе расчеты и провёл их сравнение с экспериментальными данными. Подготовка результатов к публикации проводилась совместно с соавторами.

В ходе защиты соискатель Е. А. Цыганков аргументированно ответил на заданные ему вопросы членов диссертационного совета, а также на замечания ведущей организации и оппонентов.

На заседании 18 марта 2024 года диссертационный совет принял решение присудить Е. А. Цыганкову учёную степень кандидата физико-математических наук за решение научной задачи о теоретическом описании двойного

радиооптического резонанса на оптическом переходе с моментом  $F = 1$  в основном и возбуждённом состоянии и о теоретическом описании эффекта когерентного пленения населённостей в двойной  $\Lambda$ -схеме уровней с учётом модуляции, обеспечивающей наличие синфазного и квадратурного сигналов в поглощении излучения.

При проведении тайного голосования члены диссертационного совета в количестве 19 человек, из них 7 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 — 19,  
против присуждения учёной степени — 0,  
недействительных бюллетеней — 0.

Заместитель председателя диссертационного совета  
член-корреспондент РАН, д. ф.-м. н.

Пудалов Владимир Моисеевич

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

Золотько Александр Степанович

18 марта 2024 г.