

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 23 марта 2026 г № 3

О присуждении Зазымкиной Дарье Александровне, гражданке Российской Федерации, учёной степени кандидата физико-математических наук.

Диссертация «Оптические свойства ионов Fe и V в широкозонных материалах кубической сингонии» по специальности 1.3.8 – Физика конденсированного состояния принята к защите 22 декабря 2025 года, (протокол заседания № 93) 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 Зазымкина Дарья Александровна, 21 апреля 1991 года рождения, в 2019 году окончила Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "МИРЭА - Российский технологический университет" с присуждением квалификации магистр по направлению подготовки «Электроника и нанoeлектроника». В период с 2019 по 2023 год обучалась в очной аспирантуре Федерального государственного бюджетного учреждения науки Физического института им. П. Н. Лебедева Российской академии наук по специальности «Физика конденсированного состояния». С 2019 года является сотрудником ФИАН. В настоящее время работает в должности высококвалифицированного научного сотрудника

лаборатории новых материалов для ИК фотоники Отделения физики твердого тела ФИАН.

Научный руководитель: доктор физико-математических наук Кривобок Владимир Святославович, специалист в области физики конденсированного состояния, работает в ФИАН в должности высококвалифицированного ведущего научного сотрудника и является и.о. руководителя Отделения физики твердого тела ФИАН.

Официальные оппоненты:

1. Смирнов Михаил Сергеевич, доктор физико-математических наук, доцент, профессор Кафедры оптики и спектроскопии Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Воронежский государственный университет»;
2. Калинушкин Виктор Петрович, кандидат физико-математических наук, ведущий научный сотрудник Отдела инфракрасной техники Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федеральный исследовательский центр «Институт общей физики им. А.М. Прохорова Российской академии наук»

дали положительные отзывы о диссертации.

Ведущая организация — Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова» в своем положительном отзыве, подписанном кандидатом физико-математических наук Ильиным Александром Сергеевичем, доцентом кафедры общей физики и наноэлектроники физического факультета МГУ, доктором физико-математических наук Кашкаровым Павлом Константиновичем, профессором, заведующим кафедрой общей физики и наноэлектроники физического факультета МГУ, доктором физико-математических наук Владимиром Викторовичем Белокуровым, профессором, и.о. декана физического факультета МГУ, и утвержденном членом-корреспондентом РАН, доктором физико-

математических наук Федяниным Андреем Анатольевичем, проректором МГУ, указала, что диссертация Д. А. Зазымкиной отвечает всем требованиям, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.8–Физика конденсированного состояния согласно Положению о присуждении ученых степеней, утвержденному постановлением Правительства Российской Федерации № 842 от 24 сентября 2013 г., а соискатель заслуживает присуждения учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.8 – Физика конденсированного состояния.

Соискатель имеет 17 опубликованных работ, в том числе по теме диссертации опубликовано 9 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 Д.А. Зазымкиной работах.

Наиболее значимые результаты по теме диссертации опубликованы в статьях:

1. Zazymkina, D. A. Sharp luminescence system in titanium dioxide with zero-phonon transition at 1.573 eV/ D.A. Zazymkina, V. S. Krivobok, S. N. Nikolaev, D. F. Aminev, S. I. Chentsov, I. I. Minaev, E.E. Onishchenko, M.A. Chernopitssky, A. A. Narits // Journal of Luminescence. – 2022. – Т. 252. – С. 119352. Doi:10.1016/j.jlumin.2022.119352
2. Зазымкина, Д. А. Тонкая структура перехода ${}^3T_1({}^3H) \rightarrow {}^5E({}^5D)$ иона Fe^{2+} в селениде цинка/ Д. А. Зазымкина, В. С. Кривобок, Д. Ф. Аминев, Е. Е. Онищенко, В. В. Ушаков, С. И. Ченцов // Письма в ЖЭТФ. – 2023. – Т. 117. – №. 5. – С. 350–355. Doi: 10.1134/S002136402260272X
3. Зазымкина, Д.А. Роль нефелоксетического эффекта для иона Fe^{2+} в матрицах селенида цинка и теллурида кадмия/ Д.А. Зазымкина, В.С.Кривобок, Д.Ф.Аминев, В.В. Ушаков, А.А. Наритц, В.И. Козловский,

Ю.В. Коростелин // Журнал экспериментальной и теоретической физики. - 2024. - Т. 165. - №6. - С. 757–766. Doi: 10.31857/S0044451024060014

4. Zazymkina, D. A. Low-temperature photoluminescence of CdTe: Fe single crystals for tunable lasers operating in mid-infrared spectral range/ D. A. Zazymkina, D. F. Aminev, V. S. Krivobok, Y. V. Korostelin, V. I. Kozlovsky //Journal of Russian Laser Research. – 2024. – Т. 45. – №. 4 – С. 404 – 410. Doi: 10.1007/s10946-024-10227-0
5. Zazymkina, D. A. Visible luminescence of ZnSe:Fe caused by intracenter transitions/ D. A. Zazymkina, V. S. Krivobok, D. F. Aminev, D. A., E. E. Onishchenko //Journal of Russian Laser Research. – 2024. – Т. 45. – №. 5 – С. 565–570. Doi: 10.1007/s10946-025-10245-6

Выбор Смирнова Михаила Сергеевича в качестве официального оппонента обоснован его высокой квалификацией и наличием достижений мирового уровня в области оптической спектроскопии и физики конденсированного состояния, в том числе абсорбционной и люминесцентной спектроскопии полупроводниковых наноструктур, спектроскопии редкоземельных ионов, установления их морфологии и взаимосвязи с функциональными свойствами.

Выбор Калинушкина Виктора Петровича в качестве официального оппонента обоснован его высокой квалификацией и наличием достижений мирового уровня в области создания и исследования лазерных сред на основе легированных материалов группы А2В6.

Выбор ведущей организации обоснован её репутацией признанного научного центра, проводящего исследования в области физики конденсированного состояния, разработки новых функциональных материалов для оптоэлектроники, нанофотоники и изучения их свойств.

Диссертационная работа Зазымкиной Дарьи Александровны посвящена актуальной задаче определения характеристик внутрицентровых электронных

переходов в легированных полупроводниках. Использование гелиевых температур обеспечило высокую точность экспериментальных данных, что послужило базой для теоретического анализа взаимодействия примесных центров с кристаллической решеткой. Уточнены фундаментальные параметры теории кристаллического поля.

Актуальность исследований связана с потребностью в надёжных методах прогнозирования оптических свойств новых материалов для фотоники и оптоэлектроники. Управляемое легирование матриц ZnSe, ZnTe, CdTe и TiO₂ ионами переходных элементов позволяет тонко настраивать их оптические, электронные и магнитные характеристики, что необходимо для совершенствования существующих лазерных систем, сенсоров и биомаркеров. Результаты таких исследований востребованы научными центрами, работающими в области лазерной физики и смежных дисциплин.

На основании выполненных соискателем исследований были получены следующие основные результаты:

1. Экспериментально зафиксирована и идентифицирована бесфононная полоса люминесценции иона ванадия V³⁺ в матрице диоксиде титана (энергия максимума 1,573 эВ при 5К), обусловленная внутрицентровым переходом ${}^3P \rightarrow {}^3F$. Определены условия эффективной оптической накачки данной полосы при квазирезонансном возбуждении (~3,05 эВ).
2. Впервые обнаружена и детально интерпретирована тонкая структура перехода ${}^3T_1 ({}^3H) \rightarrow {}^5E ({}^5D)$ иона Fe²⁺ в кристаллах ZnSe при гелиевых температурах. С применением теоретико-группового анализа проведена полная идентификация всех шести компонент спектра при встраивании иона железа на подрешетку цинка.
3. Впервые выявлен излучательный переход ${}^3T_1 ({}^3H) \rightarrow {}^5E ({}^5D)$ иона Fe²⁺ в матрице CdTe. Установлено, что спектр люминесценции формируется узкой бесфононной линией (1,22 эВ) и широкой полосой с максимумом около 1,1 эВ, возникающим вследствие электрон-фононного взаимодействия.

4. На основе полученных данных из спектров низкотемпературной фотолюминесценции и данных о тонкой структуре линий внутрицентровых излучательных переходов были уточнены/определены значения параметров Рака для ионов V^{3+} и Fe^{2+} в матрицах ZnSe, ZnTe и CdTe. Полученные значения составили: $B=600 \pm 15 \text{ см}^{-1}$, $C=2733 \pm 18 \text{ см}^{-1}$ (для ионов Fe^{2+} в ZnSe), $B=540 \pm 20 \text{ см}^{-1}$, $C=2670 \pm 50 \text{ см}^{-1}$ (для ионов Fe^{2+} в ZnTe), $B=500 \pm 18 \text{ см}^{-1}$, $C=2242 \pm 29 \text{ см}^{-1}$ (для ионов Fe^{2+} в CdTe), $B=736 \pm 10 \text{ см}^{-1}$, $C=2900 \pm 20 \text{ см}^{-1}$ (для ионов V^{3+} в ZnSe), $B=543 \pm 12 \text{ см}^{-1}$, $C=1900 \pm 28 \text{ см}^{-1}$ (для ионов V^{3+} в ZnTe) и $B=371 \pm 15 \text{ см}^{-1}$, $C=1700 \pm 18 \text{ см}^{-1}$ (для ионов V^{3+} в CdTe).
5. Выявлена тенденция к увеличению влияния нефелоксетического эффекта для примесных ионов V^{3+} и Fe^{2+} в кристаллических решетках TiO_2 , ZnSe, ZnTe, CdTe по мере увеличения длины связи примесь-окружение.

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

- Впервые обнаружена и детально описана структурированная полоса люминесценции иона V^{3+} в матрице рутила (TiO_2), обусловленная переходом между термами 3F и 3P в кристаллическом поле. Экспериментально установлено положение бесфононной компоненты (1,573 эВ при 5К).
- Впервые идентифицированы бесфононные компоненты перехода $^3T_1(^3H) \rightarrow ^5E(^5D)$ для иона Fe^{2+} в кристаллах ZnSe и CdTe при низких температурах. Обнаружена и описана тонкая структура данного перехода в ZnSe:Fe, обусловленная эффектами спин-орбитального взаимодействия второго порядка.
- Уточнены параметры Рака для ионов Fe^{2+} в полупроводниковых матрицах ZnSe и CdTe.
- Установлена роль нефелоксетического эффекта в формировании электронных спектров ионов V^{3+} и Fe^{2+} в ряду матриц CdTe, ZnTe, ZnSe и TiO_2 . Впервые на экспериментальном материале выявлена и обоснована

корреляционная зависимость между выраженностью нефелоксетического эффекта и длиной связи ближайшего окружения примесного центра.

Практическая значимость результатов диссертации состоит в том, что проведенные исследования позволили выявить оптический переход, открывающий возможности для создания инновационных оптических маркеров для медицины и биологии. Данные по уточнению электронного спектра ионов железа в исследованных матрицах критически важны для совершенствования высокоэффективных лазеров среднего ИК-диапазона, включая системы с рекордным диапазоном перестройки (5–7 мкм). Установленные закономерности нефелоксетического эффекта дополняют фундаментальные принципы синтеза люминесцентных комплексов с долгоживущими возбужденными состояниями.

Полученные в диссертации результаты могут быть использованы в Институте физики твердого тела имени Ю.А.Осипьяна Российской академии наук», Институте общей физики им. А.М. Прохорова Российской академии наук, Институте спектроскопии РАН, Московском государственном университете имени М.В. Ломоносова, Федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего образования «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)», Федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего образования «Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», Федеральном государственном бюджетном учреждении Национальный исследовательский центр «Курчатовский институт»), Физическом институте имени П.Н. Лебедева РАН и других организациях, ведущих исследования и разработки в области исследований люминесцентных систем и лазеров.

Высокая степень достоверности полученных в работе результатов обеспечивается воспроизводимостью экспериментальных данных и применением комплекса современных спектроскопических методик,

получивших дальнейшее развитие в ходе исследования. Обоснованность выводов подтверждается использованием надежных и апробированных методов математического моделирования. Предложенная автором интерпретация экспериментальных данных находится в полном соответствии с фундаментальными теоретическими представлениями физики твердого тела.

Все основные научные результаты, включенные в диссертацию Зазымкиной Д.А., получены лично автором, либо при ее непосредственном участии. В части экспериментальных исследований ионов V^{3+} и Fe^{2+} в кристаллических матрицах CdTe, ZnTe, ZnSe, TiO_2 личный вклад автора заключается в непосредственном проведении низкотемпературных измерений, первичной обработке и анализе спектроскопической информации. Автором проведены расчеты энергетических уровней и уточнены параметры кристаллического поля. В блоке работ по исследованию систем ZnSe:V, CdTe:V, ZnTe:Fe и $TiO_2:Fe$ автором проведена систематизация литературных данных (спектров фотолюминесценции, поглощения и ЭПР), что позволило провести их актуальную интерпретацию в рамках развиваемого теоретического подхода.

В ходе защиты соискатель Зазымкина Д.А. аргументированно ответила на заданные ей вопросы членов диссертационного совета, а также на замечания ведущей организации и оппонентов.

На заседании 23 марта 2026 года диссертационный совет принял решение присудить Д.А. Зазымкиной учёную степень кандидата физико-математических наук за решение научной задачи о выяснении роли корреляционного взаимодействия в формировании спектров излучения ионов переходных d-элементов в кристаллических матрицах ZnSe, ZnTe, TiO_2 и CdTe, что имеет важное значение для создания новых лазерных сред.

При проведении тайного голосования члены диссертационного совета в количестве 22 человек, из них 8 докторов наук по специальности рассматриваемой диссертации (1.3.8 — Физика конденсированного состояния),

участвовавшие в заседании, из 26 человек, входящих в состав совета, проголосовали:

за присуждение учёной степени - 22,
против присуждения учёной степени - 0,
недействительных бюллетеней - 0.

Председатель диссертационного совета
академик РАН, д.ф.-м.н.

Колачевский Николай Николаевич

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

Золотько Александр Степанович

23 марта 2026 г.