

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА Д 24.2.306.01 НА БАЗЕ
Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения
высшего образования «Иркутский государственный университет»
Министерства науки и высшего образования Российской Федерации
по диссертации на соискание ученой степени
доктора физико-математических наук

аттестационное дело № _____
решение диссертационного совета
от «24» апреля 2026 г. №3

О присуждении Шендрику Роману Юрьевичу, гражданину РФ, ученой степени доктора физико-математических наук.

Диссертация «Люминесценция и механизмы переноса энергии в галогенсодержащих материалах» по специальности 1.3.8 – Физика конденсированного состояния принята к защите 14 января 2026 г. (протокол № 1) диссертационным советом Д 24.2.306.01, созданным на базе Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Иркутский государственный университет» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (664003, г. Иркутск, бульвар Гагарина, д. 20, приказ Рособнадзора о создании диссертационного совета № 1634–894 от 13.07.2007 г.).

Соискатель — Шендрик Роман Юрьевич, 30 августа 1986 года рождения, в 2008 году окончил Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Иркутский государственный университет» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации по специальности «Электроника и наноэлектроника» с присвоением квалификации «Инженер». С 2008 по 2011 г.г. проходил обучение в очной аспирантуре Института геохимии им. А.П. Виноградова Сибирского отделения Российской академии наук по направлению подготовки

01.04.07 – Физика конденсированного состояния. В 2011 году успешно защитил диссертацию «Механизмы переноса возбуждений в кристаллах щелочно-земельных фторидов, активированных примесями церия и празеодима» на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.07 — физика конденсированного состояния.

Работает в должности старшего научного сотрудника в лаборатории физики монокристаллов Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института геохимии им. А.П. Виноградова Сибирского отделения Российской академии наук (ИГХ СО РАН). Диссертация была подготовлена вне докторантуры.

Диссертация выполнена в лаборатории физики монокристаллов ИГХ СО РАН.

Официальные оппоненты:

Махов Владимир Николаевич, доктор физико-математических наук, высококвалифицированный главный научный сотрудник Лаборатории взаимодействия излучения с веществом Отделения ядерной физики и астрофизики Федерального государственного бюджетного учреждения науки Физический институт им. П.Н. Лебедева Российской академии наук, г. Москва;

Полисадова Елена Федоровна, доктор физико-математических наук, профессор Отделения материаловедения Инженерной школы новых производственных технологий Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский Томский политехнический университет», г. Томск;

Пустоваров Владимир Алексеевич, доктор физико-математических наук, профессор, профессор Кафедры экспериментальной физики Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», г. Екатеринбург, **дали положительные отзывы на диссертацию.**

Ведущая организация – Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный исследовательский центр «Красноярский научный центр Сибирского отделения Российской академии наук» (ФИЦ КНЦ СО РАН), г. Красноярск, **в своем положительном отзыве**, утвержденным директором ФИЦ КНЦ СО РАН член-корреспондентом Российской академии наук *Шпедтом Александром Артуровичем*, подписанным академиком РАН, научным руководителем ФИЦ КНЦ СО РАН *Шабановым Василием Филипповичем* и кандидатом физико-математических наук, старшим научным сотрудником лаборатории когерентной оптики *Александровским Александром Сергеевичем*, указала, что диссертация является самостоятельным законченным научным исследованием в рамках которого решена научно-практическая проблема, связанная с исследованием физических процессов, протекающих в новых типах сцинтилляторов. На основании выполненных исследований были разработаны теоретические положения, совокупность которых можно квалифицировать как значимое научное достижение. Результаты диссертации являются новыми, обладают высокой научной и практической значимостью. Научная новизна диссертации заключается в том, что установлены фундаментальные механизмы, связанные с резонансной передачей энергии от экситонов к ионам активатора, а также роль экситонов в процессах радиационного дефектообразования в материалах, содержащих ионы галогенов, впервые обнаружен механизм сверхбыстрой люминесценции в кристаллах BaF_2-LaF_3 , связанной с излучательной рекомбинацией электронов основной зоны бария и дырок основной зоны лантана. Практическая значимость результатов заключается в том, что обнаружены новые перспективные сцинтилляторы, излучающие в красной области спектра, а также быстрые сцинтилляторы для времяпролетной томографии и разработано веб-приложение АрДИ для автоматической обработки спектральных данных. Диссертационная работа соответствует критериям, установленным в пп. 9- 11, 13 и 14 Постановления Правительства Российской

Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842 «Положение о присуждении ученых степеней».

Соискатель имеет 34 публикации в рецензируемых научных изданиях из перечня ВАК и баз цитирования WoS и Scopus по теме диссертации. Было получено свидетельство на программу ЭВМ АрДИ (Свидетельство на программу ЭВМ № 2025613555 от 28 мая 2025 года). Совокупность опубликованных научных результатов определяет принципиальные признаки предложенной автором диссертации физической модели процессов дефектообразования и передачи энергии в галогенсодержащих материалах, а также нового механизма сверхбыстрой люминесценции. Недостоверные сведения об опубликованных соискателем ученой степени работах в диссертации отсутствуют; работы соискателя публиковались в таких рецензируемых изданиях, как Journal of Raman Spectroscopy, Scientific Reports, Chemical Physics Letters, Minerals, Optical Materials, Journal of Luminescence, Physics in Medicine & Biology, RSC Advances, Crystal Growth & Design, IEEE Transactions on Nuclear Science, Radiation Measurements, Физика твердого тела, Письма в ЖТФ, Оптика и спектроскопия и др. Соискатель является первым автором в 17 публикациях по теме диссертации в рецензируемых изданиях.

Наиболее значимые работы по теме диссертации:

1. Ultrafast core-to-core luminescence in BaF₂ – LaF₃ single crystals / **Shendrik R.**, Radzhabov E., Myasnikova A., Pankratova V., Sarakovskis A., Nepomnyashchikh A., Bogdanov A., Gavrilenko V., Kaneva E., Sofich D., Garmyheva T., Pankratov V. // Scientific Reports. 2025. Vol. 15, No. 1. P. 2655.

2. Intrinsic luminescence and radiation defects in scapolite / **Shendrik R.**, Kaneva E., Pankratova V., Pankrushina E., Radomskaya T., Gavrilenko V., Loginova P., Pankratov V. // Chemical Physics Letters. 2024. Vol. 838. P. 14108.

3. Nature of Scapolite Color: Ab Initio Calculations, Spectroscopy, and Structural Study / **Shendrik R.**, Chukanov N. V., Bogdanov A., Myasnikova A., Pankrushina E., Zolotarev A. A., Babkina A., Popova E., Vigasina M. F., Aksenov S. M., Ilyin G., Pekov I. V. // Minerals. 2024. Vol. 14, No. 9. P. 93.

4. Kaneva E. Radiation defects and intrinsic luminescence of cancrinite / Kaneva E., **Shendrik R.** // Journal of Luminescence. 2022. Vol. 243. P. 11862.
5. Vacuum ultraviolet silicon photomultipliers applied to BaF₂ cross-luminescence detection for high-rate ultrafast timing applications / Gundacker S., Pots R. H., Nepomnyashchikh A., Radzhabov E., **Shendrik R.**, Omelkov S., Kirm M., Acerbi F., Capasso M., Paternoster G., Mazzi A., Gola A., Chen J., Auffray E. // Physics in Medicine & Biology. 2021. Vol. 66, No. 11. P. 11400.
6. Rupasov A. Growth of BaBrI Crystals by the Czochralski Method / Rupasov A., Shalaev A., **Shendrik R.** // Crystal Growth & Design. 2020. Vol. 20, No. 4. P. 2547–2552.
7. **Shendrik R.** F-Centers in BaBrI Single Crystal / **Shendrik R.**, Popov N., Myasnikova A. // IEEE Transactions on Nuclear Science. 2020. Vol. 67, No. 6. P. 946–951.
8. Luminescence of divalent lanthanide doped BaBrI single crystal under synchrotron radiation excitations / Shalaev A., **Shendrik R.**, Rusakov A., Bogdanov A., Pankratov V., Chernenko K., Myasnikova A. // Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B. 2020. Vol. 467. P. 17–20.
9. Role of electron and hole centers in energy transfer in BaBrI crystals / **Shendrik R.**, Myasnikova A., Rupasov A., Shalaev A. // Radiation Measurements. 2019. Vol. 122. P. 17–21.
10. Люминесценция кристаллов BaBrI, активированных ионами Ce / **Шендрик Р. Ю.**, Ковалев И. И., Русаков А. И., Сокольникова Ю. В., Шалаев А. А. // Физика Твёрдого Тела. 2019. Т. 61, № 5. С. 930–933.
11. Optical and structural properties of Eu²⁺ doped BaBrI and BaClI crystals / **Shendrik R.**, Shalaev A. A., Myasnikova A. S., Bogdanov A., Kaneva E., Rusakov A., Vasilkovskiy A. // Journal of Luminescence. 2017. Vol. 192. P. 653–660.
12. Spectroscopy of divalent rare earth ions in fluoride crystals / **Shendrik R.**, Myasnikova A. S., Radzhabov E. A., Nepomnyashchikh A. I. // Journal of Luminescence. 2016. Vol. 169. P. 635–640.

13. **Shendrik R.** Scintillation properties of pure and Ce³⁺-doped SrF₂ crystals / **Shendrik R.**, Radzhabov E. A., Nepomnyashchikh A. I. // Radiation Measurements. 2013. Vol. 56. P. 58–61.

14. Shendrik R. Energy Transfer Mechanism in Pr-Doped SrF₂ Crystals / Shendrik R., Radzhabov E. // IEEE Transactions on Nuclear Science. 2012. Vol. 59, No. 5. P. 2089–2094.

15. **Shendrik R.** Temperature Dependence of Ce³⁺ and Pr³⁺ Emission in CaF₂, SrF₂, and BaF₂ / **Shendrik R.**, Radzhabov E. // IEEE Transactions on Nuclear Science. 2010. Vol. 57, No. 3. P. 1295–1299.

На диссертацию и автореферат поступили отзывы:

В отзыве официального оппонента **Махова Владимира Николаевича** в качестве замечаний указано:

1. При рассмотрении модели остовно-остовной люминесценции в BaF₂-LaF₃ почему-то нигде не упоминается возможный канал распада дырки на лантане в результате Оже-распада с участием валентного электрона, как в случае чистого LaF₃, какова роль этого механизма?

2. Опечатка в Цели работы: «Цель работы — установить механизмов дефектообразования и переноса энергии в материалах, содержащих галогены.» - отсутствует согласование в словосочетании установить механизмов дефектообразования, правильно установить механизмы.

3. В основных выводах работы (вывод 3) указано, что «...имеют место три конфигурации автолокализованных экситонов, которые относятся к двум типам...» Такая формулировка несколько неудачна, так как вводит читателя в заблуждение, чем разбиение на типы отличается от конфигурации?

4. В Главе 1 и Главе 4 вывод о резонансной передаче энергии от экситонов делается на основе перекрытия спектров поглощения примесного иона и свечения экситонов. Однако такое перекрытие может приводить к реабсорбции, учитывалось ли это явление?

5. Некоторые рисунки следовало бы сделать более крупными, например рис. 5.22, на рис. 1.4. что-то произошло со шрифтом на легенде. На рис. 4.14 следовало бы для удобства восприятия поменять оси ординат местами.

6. В качестве десятичного разделителя в работе используется то точка, то запятая, следовало бы унифицировать это в тексте работы.

В отзыве официального оппонента **Пустоварова Владимира Алексеевича** в качестве вопросов и замечаний указаны следующие:

1. Во второй главе автор исследует кросс-люминесценцию и остовно-остовные переходы в кристаллах BaF_2 , активированных ионами лантана, с применением синхротронного (SR) излучения и техники регистрации временных совпадений. Однако, оценка погрешности в определении временных параметров быстрых процессов как в описании применяемых методик, так и в анализе полученных результатов, в частности, в экспериментах по времени совпадения, полностью отсутствует.

2. Рисунок - 2.17. Низкоэнергетическая часть спектров возбуждения быстрых компонент затухания люминесценции является определяющей в интерпретации результатов и обосновании зонной модели, предложенной автором и показанной на рисунке 2.19. С ростом энергии SR-возбуждения наблюдается непрерывный рост выхода люминесценции, это указывает, что возможен вклад высших порядков SR-возбуждения в формирование приведенных спектров возбуждения люминесценции в низкоэнергетической области. Влияние высших порядков возбуждения на современных синхротронах является известной проблемой и на нее следовало бы обратить внимание. Кроме того, и сами спектры возбуждения люминесценции, представленные в ультрамягкой рентгеновской области в тексте диссертации на рисунке 2.17, не анализируются, тогда не понятно - зачем они показаны, какая информация в них содержится в контексте рассматриваемого вопроса.

3. При исследовании механизмов переноса энергии в кристаллах SrF_2 , активированных ионами Ce^{3+} , автор применяет так называемый метод инженерии запрещенной зоны, используя в качестве соактиватора ионы In^{3+} .

Во-первых, не понятно обоснование выбора соактиватора. Во-вторых, согласно работе [119] (RCS Advances, 2020) на основании DFT-расчетов и измерения спектров поглощения делается заключение, что E_g уменьшается почти на 2 эВ при 7 мол.% In^{3+} . Однако, коэффициент поглощения измерен в ограниченном диапазоне лишь до $\sim 35 \text{ см}^{-1}$ и представленный на рис. 1.12 спектр поглощения, как альтернатива, может формироваться электронными переходами с участием дефектов. И наконец, спектры возбуждения люминесценции АЛЭ и Ce^{3+} в соактивированных образцах могли бы прояснить этот вопрос. Странно, почему автор не приводит эти спектры, имея в арсенале синхротронное излучение ВУФ-диапазона.

4. Часть рисунков диссертации и автореферата не соответствуют требованиям, предъявляемым к оформлению диссертаций. Нет единообразия в представлении рисунков. Часть рисунков содержит обозначения осей с использованием кириллицы, часть на английском языке, в некоторых по оси абсцисс указаны просто λ или E . Кроме того часть рисунков является фотографией результатов программной обработки, или расчетов, или схемы измерений, содержит не комментируемую в тексте информацию, например, рисунки – 2.3, 2.13, 2.9, 2.18, 2.20 и др. В тексте диссертации и автореферата содержится ряд неточностей и разногласий, в частности, в разделе по определению абсолютного световыхода сцинтилляторов (стр. 24, 25 и Таблица 2.1), рис. 5 и подрисуночная подпись в автореферате и рис. 3.8 в диссертации и т. п.

5. В Главе 1 автор рассматривает температурную зависимость d-f люминесценции примесных ионов Pr^{3+} различной концентрации во фторидах ЩЗМ. Для объяснения падения выхода примесной люминесценции с понижением температуры привлекаются данные термоактивационной спектроскопии, модель последовательной рекомбинации носителей заряда и так называемая «модель ловушек одного типа». Экспериментальный материал очень насыщен, результаты и их обсуждение подробно представлены на 26 страницах диссертации (стр. 46-72). Однако, понятный для читателя

финальный вывод по объяснению температурной зависимости d-f люминесценции Pr^{3+} во фторидах ШЗМ не сформулирован ни в заключении, ни в выводах главы 1.

В отзыве официального оппонента **Полисадовой Елены Федоровны** в качестве замечаний указано:

1. Автор указывает, что практически значимым результатом исследований является разработка веб-приложения «АрДИ» для автоматической обработки спектральных данных. Однако детальной информации о концепции приложения в работе не приводится.

2. В работе отмечается, что фотоэлектронный выход уменьшается с увеличением объема кристалла. Однако, нет единообразия формы и размеров исследуемых кристаллов, для соблюдения корректности сравнения фотоэлектронного выхода.

3. Световой выход кристаллов в таблице 1.2 приведен в единицах фэ/МэВ (фотоэлектрон на мегаэлектронвольт), что является не корректным. Общепринятая единица измерения – фотон/МэВ.

4. Для кристаллов щелочноземельных галоидов смешанного анионного состава (BaBrI , BaClI , SrBrI) следовало бы привести рентгенофазовый анализ для подтверждения кристаллической структуры, т.к. материалы подобного типа могут образовывать как монокристаллы, так и твердые растворы.

5. Обширный блок исследований посвящен галогенсодержащим микропористым материалам природного происхождения. Сведений о пористости образцов в работе не приводится (характер пор, распределение по размеру). Пористость влияет на оптические свойства материалов (светопропускание, рассеяние), что может определять особенности исследуемых люминесцентных свойств.

В отзыве на диссертацию от **ведущей организации** работа охарактеризована положительно, при этом указан ряд замечаний, в качестве основных указаны следующие замечания:

1. Ряд полученных автором результатов позволяют развивать науку о сцинтилляторах в плане перехода от стратегии «cook and look» к стратегии третьего типа (которую можно назвать «full control»). Однако не все из них нашли отражение в защищаемых положениях, из которых лишь Положение 2 косвенно относится к концепции full control и могло бы быть улучшено путём дополнения формулировки о том, как можно управлять постоянной времени сверхбыстрого распада в рассматриваемой системе Ва-La-F. Заслуживают упоминания в защищаемых положениях и результаты по подавлению медленной люминесценции за счёт зонного инжиниринга.

2. Рис. 2.14 представлен в шкале соотношений интенсивности, что является более впечатляющим. Однако для широкого читателя лучше было бы представить его в виде % быстрого вклада по вертикальной оси.

3. В кратком обзоре автор лишь упоминает и практически не комментирует свойства новых сцинтилляторов со структурой перовскита, хотя его мнение об их исключительно высокой световой эффективности представляет интерес.

4. В работе используется термин «экситон» как применительно к квазичастицам, автолокализованным на неискажённой решётке, так и к F-H парам. Для специалистов в области физики галоидных кристаллов это не вызывает проблем, поскольку энергетический барьер между этими состояниями может быть порядка 100 мэВ, но более широкий круг читателей это может ввести в заблуждение.

5. Автор успешно привлекает к анализу результатов квантово-химические расчёты, в частности, при анализе зонной структуры системы Ва-La-F. Однако не были привлечены первопринципные методы расчёта автолокализованных экситонов, что, возможно, ещё больше усилило бы степень понимания некоторых результатов.

6. На Рис. 1.11 постоянные времени 2.8, 9 и 280 мкс, а в описании к этому рисунку вместо 2.8 мкс фигурирует 130 нс (в 21 раз меньше). Также имеется несогласование между критическим радиусом в таблице 1.3 и текстом.

7. При обсуждении интервала регистрации совпадений CTR иногда в положительном смысле используется эпитет «низкое», а иногда – «высокое», что объясняется разной семантикой русского и английского терминов.

1. Вотяков Сергей Леонидович, доктор геолого-минералогических наук, академик РАН, главный научный сотрудник Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт геологии и геохимии им. А.Н. Заварицкого УрО РАН, г. Екатеринбург. Вопросы и замечания дискуссионного и уточняющего характера:

1. В автореферате достаточно подробно изложены результаты по BaF₂–LaF₃; можно ли сопоставить достигнутые значения «временного разрешения по совпадениям» (CTR до 24 пс) с пределами, обусловленными фундаментальными статистическими и аппаратными ограничениями в TOF-PET/CT системах.

2. В какой мере погрешности определения ширины запрещённой зоны и энергий 4f–5d-переходов влияют на точность прогнозов относительно положения 5d-уровней вблизи зоны проводимости при построении VRBE-диаграмм для SrBrI, BaBrI и BaClI.

3. Представленные модели экситонного дефектообразования в каркасных алюмосиликатах (образование F-подобных центров и CO₃^{·-}) выглядят убедительно; как они могут быть сопоставлены с альтернативными моделями центров окраски в минералах.

4. Возможна ли реализация «масштабирования» результатов по кристаллам BaBrI, выращенным лабораторным способом, к условиям промышленного производства крупных сцинтилляционных элементов, с учётом неоднородности распределения активаторов и дефектов.

2. Еремин Николай Николаевич, доктор химических наук, член-корреспондент РАН, декан геологического факультета МГУ, г. Москва. Замечания: В частности, определенное недоумение вызвало отсутствие системного подхода в использовании русских либо английских подписей на рисунках. В подавляющем числе рисунков и подписей к осям и поясняющие

надписи в теле рисунков приведены на английском языке, что в корне неправильно для диссертации и автореферата (рис. 1-5, 7-15). С другой стороны, рисунок 6 автор оформил на официальном языке диссертационного исследования. С точки зрения рецензента, стандартизация русскоязычного представления (официального языка диссертационного исследования) всех рисунков не потребовала бы от автора значительных усилий.

3. Беккер Татьяна Борисовна, доктор геолого-минералогических наук, профессор РАН, ведущий научный сотрудник Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт геологии и минералогии им. В.С. Соболева СО РАН, г. Новосибирск. Вопросы и замечания: В микропористых алюмосиликатных материалах, что именно определяет, приведет ли данное экситонное возбуждение к излучательной рекомбинации (собственная люминесценция) или к образованию стабильной пары дефектов (окрашивание)? Зависит ли это от температуры или от локального окружения?

4. Шамирзаев Тимур Сезгирович, доктор физико-математических наук, ведущий научный сотрудник Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт физики полупроводников им. А.В. Ржанова СО РАН, г. Новосибирск. Без замечаний.

5. Евтихий Николай Николаевич, доктор физико-математических наук, президент ООО «ВПГ-Лазеруан», г. Фрязино. Без замечаний.

6. Васильев Андрей Николаевич, доктор физико-математических наук, заведующий отделом физических проблем квантовой электроники Научно-исследовательского института ядерной физики им. Д.В. Скобельцына МГУ, Москва. Без замечаний.

7. Воронкова Валентина Ивановна, доктор физико-математических наук, ведущий сотрудник кафедры физики полимеров и кристаллов физического факультета МГУ, г. Москва, **Орлова Екатерина Игоревна**, кандидат-физико-математических наук, старший научный сотрудник кафедры физики полимеров и кристаллов физического факультета МГУ, г. Москва.

Замечания: в автореферате следовало бы более подробно описать методику учета вклада реабсорбции при оценке эффективности резонансного переноса энергии.

8. Сорокина Наталия Ивановна, доктор химических наук, ведущий сотрудник Отделения «Институт кристаллографии им. А.В. Шубникова» Курчатовского комплекса кристаллографии и фотоники НИЦ «Курчатовский институт», г. Москва. Замечания:

1. стр. 26, рис. 13 подпись к рисунку построена так, что не вполне понятна ее связь с рисунком, какая кривая или точки к чему относятся. Возможно пропущено несколько слов.

2. На стр. 29 вывод 1.1 в последнем предложении перед прилагательным «световой» отсутствует существительное «выход».

3. В автореферате указано, что достоверность результатов обеспечена, в том числе, анализом погрешностей измерений, но, к сожалению, в тексте автореферата погрешности измерений не приведены.

4. Нельзя не отметить, что в первых четырех главах автор уделяет большое внимание исследованию фторидов, бромидов и иодидов, однако хлор практически исключен из рассмотрения. С чем связан такой выбор объектов? Означает ли это, что хлор-содержащие материалы являются менее эффективными с точки зрения люминесцентных свойств?

9. Вайнштейн Илья Александрович, доктор физико-математических наук, профессор РАН, директор Научно-образовательного центра «Наноматериалы и нанотехнологии» УрФУ, профессор кафедры Физических методов и приборов контроля качества, Физико-технологический институт, УрФУ, г. Екатеринбург. Без замечаний.

10. Корсаков Андрей Викторович, доктор геолого-минералогических наук, профессор РАН, главный научный сотрудник Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт геологии и минералогии им. В.С. Соболева СО РАН, г. Новосибирск. Замечания: в тексте встречаются отдельные стилистические нестрогие выражения (например,

использование устаревших или разговорных терминов), а также незначительные опечатки, что несколько снижает общее впечатление от оформления автореферата.

Несмотря на представленные замечания и вопросы, в отзывах отмечено, что они не затрагивают сути выносимых на защиту положений, имеют уточняющий или рекомендательный характер и не снижают достоинства диссертационной работы.

Во всех отзывах на автореферат работа характеризуется положительно, отрицательных отзывов нет. В них отмечается, что актуальность диссертационной работы не вызывает сомнений и обусловлена необходимостью углубленного исследования перспективного класса сцинтилляторов на основе кристаллов щелочноземельных галоидов. Отмечено, что не вызывает сомнения личный вклад соискателя, который заключался в постановке целей и задач исследований, проведении экспериментов, обработке и интерпретации всех полученных данных, обсуждении всех полученных научных результатов с их последующим обобщением и публикацией материалов проведенных исследований. Результаты данной работы имеют большое значение для изучения и совершенствования свойств сцинтилляционных кристаллов. Результаты проведенных исследований базируются на использовании широкого набора современных экспериментальных и теоретических методов, такой комплексный подход позволил автору получить высококачественные и достоверные результаты, обосновать наличие нескольких типов экситонов в исследуемых матрицах и доказать наличие специфических каналов передачи энергии от экситонов различных типов на различные редкоземельные активаторы. Отмечено, что одним из значительных результатов диссертации является обнаружение нового вида люминесценции, связанной с остожно-остовными переходами в оптическом диапазоне с убедительным объяснением этого явления. В отзывах указаны важные достоинства работы, такие как: установление фундаментальных механизмов передачи энергии на ионы

трехвалентных лантаноидов в кристаллах щелочноземельных фторидов, механизмов образования стабильных двухвалентных ионов церия и празеодима в кристаллах щелочноземельных фторидов, построение диаграмм, описывающих расположение уровней двух и трехвалентных редкоземельных ионов в запрещенной зоне кристалла, установление экситонного механизма образования окраски в каркасных алюмосиликатах. Рецензенты отмечают, что работа выполнена на высоком мировом уровне и представляет собой законченное научное исследование, в котором решена научная проблема, имеющая важное значение для развития теоретических представлений в области физики сцинтилляторов и физики конденсированного состояния.

Выбор официальных оппонентов обосновывается тем, что они являются известными учеными в области исследований, близкой к тематике представленной диссертационной работы. Доктор физико-математических наук *В.Н. Махов* является известным и высококвалифицированным специалистом в области физики сцинтилляторов, кросс-люминесценции, спектроскопии в области вакуумного ультрафиолета, спектроскопии с использованием синхротронного излучения; доктор физико-математических наук, профессор *В.А. Пустоваров* – высококвалифицированный специалист в области спектроскопии в том числе с использованием синхротронного излучения, процессов передачи энергии в кристаллах в том числе галоидных; доктор физико-математических наук *Е.Ф. Полисадова* является высококвалифицированным специалистом в области спектроскопии синтетических кристаллов и минералов, а также в области изучения механизмов радиационного дефектообразования. Высокий профессиональный уровень официальных оппонентов подтверждается их публикациями в ведущих рецензируемых российских и зарубежных изданиях.

Выбор ведущей организации обосновывается тем, что Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный исследовательский центр «Красноярский научный центр Сибирского

отделения Российской академии наук» (ФИЦ КНЦ СО РАН), г. Красноярск является одним из ведущих исследовательских центров России в области актуальных проблем физики конденсированных сред, оптики и спектроскопии. Его специалисты проводят успешную многолетнюю исследовательскую работу в области физики конденсированного состояния, в том числе в области спектроскопии различных природных и синтетических материалов, в том числе и сцинтилляционных, исследования их физических свойств и структуры. Специалисты ФИЦ КНЦ СО РАН имеют широкую публикационную активность в ведущих рецензируемых научных изданиях. *А.С. Александровский*, кандидат физико-математических наук, является известным специалистом в области спектроскопии и физики конденсированного состояния. *В.Ф. Шабанов*, академик РАН, доктор физико-математических наук, является специалистом мирового уровня в области спектроскопии кристаллов, физики конденсированного состояния и фотоники.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований: **показаны** основные механизмы переноса возбуждения и дефектообразования в галогенсодержащих материалах; **установлено**, что наиболее эффективным механизмом передачи энергии на ионы трехвалентных лантаноидов является резонансный перенос энергии от экситонов, а конкурирующий с этим процесс безызлучательного распада экситонов ухудшает сцинтилляционные свойства, вызывая увеличение длительности свечения; **показано**, что распад автолокализованных экситонов вблизи трехвалентных лантаноидов в этих фторидах приводит к образованию стабильных двухвалентных ионов лантаноидов, которые, выступая в роли электронных ловушек, в паре с дырочными центрами приводит к затягиванию сцинтилляций в щелочноземельных фторидах; **обнаружена** сверхбыстрая люминесценция с постоянной затухания 150 пикосекунд в кристаллах $\text{BaF}_2 - \text{LaF}_3$; **предложена** модель сверхбыстрой люминесценции в кристаллах $\text{BaF}_2 - \text{LaF}_3$, связанная с остовно-остовными переходами в оптическом диапазоне; **установлены** механизмы резонансной передачи энергии от

автолокализованных экситонов различной конфигурации на двух- и трехвалентные ионы лантаноидов в кристаллах щелочноземельных галоидов смешанного анионного состава; **показано**, что природа радиационно-наведенной окраски в каркасных алюмосиликатах группы скаполита и канкринита связана с безызлучательным распадом экситоноподобных возбуждений вблизи карбонатного аниона или аниона галогена.

Совокупность перечисленных результатов определяет принципиальные признаки предложенной в диссертации физической модели процессов передачи энергии при межзонном возбуждении, радиационного дефектообразования и нового механизма остожно-остовной люминесценции в галогенсодержащих материалах.

Теоретическая значимость исследования определяется развитием теоретических представлений об экситонных механизмах радиационного дефектообразования в галогенсодержащих материалах, развитием представлений о конфигурации экситонов и их роли в процессах передачи энергии на редкоземельные активаторы. **Обоснован** комплексный подход, сочетающий в себе комплекс методов спектроскопии и теоретическое моделирование, которое позволило убедительно **подтвердить** модель нового вида люминесценции, связанную с остожно-остовными переходами.

Значимость полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается авторским свидетельством на программу для ЭВМ и тем, что: **разработано и внедрено** веб-приложение для обработки спектров АрДИ, которое широко используется учеными в России и мире; **показано**, что кристаллы $BaF_2 - LaF_3$ являются перспективными для применения в качестве детекторов во времяпролетной томографии; **установлено**, что кристаллы $BaBrI$, активированные ионами Sm^{2+} , излучающие в красной области спектра, являются перспективными рентгеновскими люминофорами, совместимыми с лавинными фотодиодами, тогда как кристаллы, активированные ионами Yb^{2+} являются перспективными рентгеновскими люминофорами, совместимыми с кремниевыми фотоэлектронными умножителями; **созданы** научно-

обоснованные методологические подходы, базирующиеся на комплексном применении современных экспериментальных и теоретических методов, сочетание результатов которых, позволяет установить механизмы передачи энергии от кристаллической решетки на примесные ионы, с целью ориентированного создания новых сцинтилляторов с улучшенными свойствами.

Оценка достоверности результатов исследования выявила, что в диссертационном исследовании результаты являются достоверными. **Экспериментальные результаты** получены с использованием апробированных методов анализа на современном сертифицированном оборудовании и научной инфраструктуре мирового уровня; выводы базируются на обобщении результатов современных теоретических и экспериментальных исследований в области радиационной физики твердого тела, физики взаимодействия ионизирующего и оптического излучения с конденсированными средами и спектроскопии; использованы современные методики сбора и обработки экспериментальных результатов.

Личный вклад соискателя состоит анализе и обобщении литературных данных, в обобщении материалов многолетнего всестороннего исследования автора, обосновании актуальности проблемы, что явилось основой для формирования целей и задач работы. Автор самостоятельно проводил эксперименты по спектроскопии, в том числе самостоятельно проводил измерения спектров поглощения, возбуждения, в том числе в области вакуумного ультрафиолета, люминесценции, электрон-парамагнитного резонанса, комбинационного рассеяния света. Автором самостоятельно разрабатывалось программное обеспечение для обработки спектров, самостоятельно проводился анализ полученных данных, построение теоретических моделей. Все выносимые на защиту результаты принадлежат соискателю лично. Автор самостоятельно выполнял все этапы исследовательского процесса, начиная с предварительного отбора кристаллов и заканчивая обработкой экспериментальных данных. В рамках проводимой

научно-исследовательской работы автор осуществлял анализ полученных результатов, подготовку научных публикаций, выступал с научными докладами, основанными на материалах диссертации. У автора нет конфликта интересов с другими коллегами, принимавшими участие в исследованиях, отраженных в диссертации.

Диссертационный совет пришел к выводу, что диссертация является законченным научным исследованием по актуальной тематике, результаты которого имеют важное значение для понимания фундаментальных процессов, протекающих в галогенсодержащих материалах. Полученные в работе результаты имеют важное практическое значение для создания эффективных сцинтилляторов для различных сфер деятельности. В диссертационной работе на основании выполненных автором исследований разработаны теоретические положения, совокупность которых следует квалифицировать как крупное научное достижение, вносящее существенный вклад в радиационную физику сцинтилляционных материалов.

Диссертационное исследование соответствует специальности 1.3.8 — физика конденсированного состояния по направлениям пунктов 1, 3, 4, 6, 7 паспорта специальности и п. 9 «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства РФ № 842 от 24 сентября 2013 г., редакция от 18.03.2023, а также отвечает требованиям ВАК РФ, предъявляемым к докторским диссертациям.

В ходе защиты диссертации не было высказано существенных критических замечаний со стороны членов диссертационного совета, замечания носили в основном технический или рекомендательный характер, с которыми соискатель согласился. Соискатель Шендрик Роман Юрьевич ответил на задаваемые ему в ходе заседания вопросы и привел собственную аргументацию.

На заседании 24 апреля 2026 г. диссертационный совет принял решение присудить Шендрику Роману Юрьевичу ученую степень доктора физико-

математических наук по специальности 1.3.8 – Физика конденсированного состояния.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 15 человек, из них 5 докторов наук по специальности 1.3.8 – Физика конденсированного состояния, участвовавших в заседании, из 20 человек, входящих в состав совета, проголосовали за – 15, против – 0, недействительных бюллетеней – 0.

Председатель диссертационного
совета Д 24.2.306.01, доктор физико-
математических наук,
старший научный сотрудник



Буднев Николай Михайлович

Ученый секретарь диссертационного
совета Д 24.2.306.01, доктор физико-
математических наук, доцент

Растегин Алексей Эдуардович

24 апреля 2026 г.