

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертацию Шендрика Романа Юрьевича «Люминесценция и механизмы переноса энергии в галогенсодержащих материалах», представленную по специальности 1.3.8– «Физика конденсированного состояния» на соискание ученой степени доктора физико-математических наук

Диссертационная работа Романа Юрьевича Шендрика посвящена исследованию сцинтилляционных механизмов в широком классе материалов, содержащих галогены. **Актуальность** работы обусловлена необходимостью совершенствования свойств существующих сцинтилляторов и поиска новых материалов для медицины, рентгеновских сканеров и гамма-спектроскопии. Исследование механизмов дефектообразования и переноса энергии в сцинтилляторах, является важной фундаментальной и практической задачей для совершенствования существующих сцинтилляторов и разработке новых материалов, обладающих лучшими функциональными свойствами. Полученные в работе результаты могут быть использованы для создания новых эффективных сцинтилляторов для гамма-каротажа, рентгеновских детекторов и детекторов для времяпролетной томографии.

Новизна полученных в работе результатов состоит в том, что были установлены фундаментальные механизмы, связанные с резонансной передачей энергии от экситонов на ионы активатора, а также роль экситонов в процессах радиационного дефектообразования в материалах, содержащих ионы галогенов. Также впервые обнаружен новый механизм сверхбыстрой люминесценции, связанный с излучательной рекомбинацией электронов остоной зоны бария и дырок остоной зоны лантана. Было установлено положение уровней двух и трехвалентных лантаноидов относительно дна зоны проводимости в кристаллах щелочноземельных галоидов, а также механизм появления радиационной окраски, связанный с распадом экситоноподобных состояний в микропористых материалах. Используемые автором методики обеспечивают **достоверность полученных результатов и обоснованность выводов**, приведенных в

работе. **Личный вклад** Р. Ю. Шендрика в представленные в работе результаты без сомнения является определяющим.

Диссертационная работа Романа Юрьевича Шендрика состоит введения, пяти глав, заключения, перечня иллюстраций и таблиц, а также списка литературы. Диссертация содержит 318 страниц, иллюстрируется 141 рисунком, включает 15 таблиц с нумерацией в пределах соответствующих глав и 509 библиографических ссылок со сквозной нумерацией.

Во введении приводится исторический обзор развития исследований сцинтилляционных материалов и современные модели механизмов переноса энергии в сцинтилляторах, а также указываются проблемы, которые в настоящее время требуют решения. Далее во введении формулируются защищаемые положения, научная новизна и практическая значимость полученных результатов, представлены основные методы исследования, обосновывается достоверность результатов, приводится информация об апробации работы, личном вкладе и соответствии паспорту специальности.

Первая глава диссертации посвящена исследованию механизмов передачи энергии в кристаллах щелочноземельных фторидов, активированных ионами церия и празеодима. В этой главе можно выделить несколько смысловых частей: в первой части приводятся основные сведения о методах выращивания кристаллов и методах их исследования, далее на основании комплексного экспериментального подхода в работе устанавливаются механизмы передачи энергии в кристаллах, активированных ионами церия и празеодима, и процессы, приводящие к образованию радиационных дефектов. На основании экспериментальных результатов, полученных в данной главе, сформулировано первое защищаемое положение. На основании проведенных исследований, установлено, что кристаллы щелочноземельных фторидов, активированные ионами церия и празеодима, могут иметь практическое применение в качестве сцинтилляторов для гамма-каротажа.

Вторая глава диссертации посвящена исследованию механизма так называемой остожно-остовной люминесценции, который впервые был установлен автором. Показано, что в кристаллах BaF_2-LaF_3 , представляющих собой неупорядоченные твердые растворы,

наблюдается люминесценция с постоянной затухания порядка 100-150 пс при возбуждении основной зоны лантана, связанная с рекомбинациями электронов основной зоны бария и дырок основной зоны лантана. Установлено, что твердые растворы BaF_2-LaF_3 являются перспективными кандидатами в качестве сцинтилляторов для времяпролетной томографии. На основании приведенных в работе экспериментальных данных построена модель остожно-остовной люминесценции и сформулировано второе защищаемое положение.

В третьей главе диссертации Р. Ю. Шендрик исследует экситонную люминесценцию и механизмы радиационного дефектообразования в кристаллах щелочноземельных галоидов со структурой типа SrI_2 . Впервые были обнаружены два типа автолокализованных экситонов, представляющих собой F-H пары, установлен механизм дефектообразования и основные типы электронных и дырочных радиационных дефектов.

В четвертой главе приводятся результаты исследования кристаллов щелочноземельных галоидов, активированных трехвалентными и двухвалентными ионами лантаноидов (Ce^{3+} , Eu^{2+} , Sm^{2+} , Yb^{2+}). Впервые установлены механизмы переноса энергии на эти примесные ионы, показана структура их возбужденных состояний. Установлено, что экситоны типа А участвуют в передаче энергии на ионы Ce^{3+} , Eu^{2+} и Yb^{2+} , тогда как экситоны типа Б передают энергию на ионы Sm^{2+} . Также показана негативная роль безызлучательного распада экситонов, которая приводит к увеличению длительности сцинтилляций. На основании проведенных исследований показано, что кристаллы $BaBrI$, активированные ионами Sm^{2+} , могут являться перспективными сцинтилляторами, излучающими в красной области спектра. На основании совокупности экспериментальных и теоретических результатов построена теоретическая модель механизмов передачи энергии на ионы лантаноидов и сформулировано третье защищаемое положение.

В пятой главе приводятся результаты исследования механизмов радиационного дефектообразования в микропористых алюмосиликатах, которые содержат галогены и карбонатные анионы в структурных полостях. Впервые показано, что радиационно-наведенная окраска вызвана безызлучательным распадом экситона вблизи галогена или карбонатного аниона. При этом в качестве электронной ловушки выступает вакансия

галогена, захватившая электрон, а дырочным центром является карбонатный анион радикал. Также в работе впервые исследована собственная люминесценция в материалах со структурой канкринита и скаполита.

В Заключении перечислены основные результаты, полученные в диссертации.

Как по объему, так и по качеству полученных результатов диссертационная работа соответствует требованиям, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени доктора физико-математических наук.

Полученные в работе результаты, сделанные на их основе выводы и защищаемые положения прошли апробацию на крупных всероссийских и международных конференциях и были опубликованы в ведущих российских и зарубежных журналах, поэтому их обоснованность не вызывает сомнений.

Вместе с тем к диссертации можно сделать некоторые **замечания**:

1) При рассмотрении модели остоно-остовой люминесценции в BaF_2-LaF_3 почему-то нигде даже не упоминается возможный канал распада дырки на лантане в результате Оже-распада с участием валентного электрона, как в случае чистого LaF_3 , 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.

Несмотря на сделанные замечания, работа представляет собой целостное законченное исследование, которое вносит существенный вклад в физику сцинтилляторов, понимание механизмов передачи энергии и радиационного дефектообразования, а также содержит описание нового механизма люминесценции, имеющий потенциально важное практическое значение. На основании выполненных автором экспериментальных и теоретических исследований разработаны теоретические положения, совокупность которых можно квалифицировать как научное достижение.

Основные результаты, представленные в работе, широко опубликованы в 34 рецензируемых публикациях, входящих в наукометрические базы данных Web of Science, Scopus, Белый список и перечень ВАК. Было получено одно авторское свидетельство на программу ЭВМ № 2025613555 от 28 мая 2025 года. Апробация результатов проводилась на крупных всероссийских и международных конференциях.

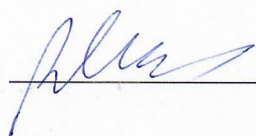
Автореферат полностью соответствует содержанию диссертации.

Диссертационная работа Р. Ю. Шендрика «Люминесценция и механизмы переноса энергии в галогенсодержащих материалах» является самостоятельным законченным научным исследованием, в рамках которого решены крупные научно-практические задачи, связанные с исследованием процессов, протекающих в сцинтилляторах, и имеющие существенное значение для специальности 1.3.8 – Физика конденсированного состояния.

Диссертационная работа полностью соответствует требованиям Положения о порядке присуждения ученых степеней, утвержденного постановлением Правительства РФ № 842 от 24.09.2013 пункты 9 – 14, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени доктора наук, а ее автор – Роман Юрьевич Шендрик – **заслуживает** присуждения ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 1.3.8 – Физика конденсированного состояния.

Официальный оппонент,
доктор физико-математических наук
по специальности 01.04.05 – «Оптика»,
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

25.02.2026 г



Махов Владимир Николаевич


Адрес места работы: 119991, г. Москва, Ленинский проспект, д. 53

Раб. тел.: +7 (499) 132-65-75

E-mail: makhovvn@lebedev.ru

Я, нижеподписавшийся, даю согласие на обработку моих персональных данных в документы, связанные с защитой диссертационной работы Шендрика Романа Юрьевича, и их дальнейшую обработку.

Подпись В. Н. Махова заверяю


_____, Ученый секретарь Федерального государственного бюджетного учреждения науки Физический институт им. П.Н. Лебедева Российской академии наук, кандидат физ.-мат. наук А. В. Колобов