

ОТЗЫВ

на автореферат диссертации Шендрика Романа Юрьевича

«Люминесценция и механизмы переноса энергии в галогенсодержащих материалах»
на соискание учёной степени доктора физико-математических наук по специальности

1.3.8 – Физика конденсированного состояния

Диссертация Р.Ю. Шендрика посвящена комплексному исследованию люминесценции, механизмов переноса энергии и радиационного дефектообразования в щёлочноземельных галогенидах и каркасных алюмосиликатах с внекаркасными галоген-анионами. Актуальность темы обусловлена потребностью в создании новых и совершенствовании существующих сцинтилляторов для медицинской ТОФ (time-of-flight) позитронно-эмиссионной томографии, гамма-спектроскопии, рентгеновских сканеров и других областей детектирования ионизирующего излучения, где требуется одновременно высокий световой выход и малые времена затухания. В работе рассмотрен широкий круг объектов: монокристаллы щёлочноземельных фторидов (CaF_2 , SrF_2 , BaF_2), смешанные галогениды (BaBrI и родственные системы), а также минералы групп канкринита и скаполита с галоген- и карбонат-анионами в структурных полостях. Использован комплекс экспериментальных методов - спектроскопия оптического поглощения, люминесценция с временным разрешением при широком диапазоне энергий возбуждения, в том числе на синхротронах MAX IV и DESY, радиоспектроскопия, квантово-химическое моделирование. Полученные результаты апробированы на многочисленных конференциях и опубликованы в 34 рецензируемых работах, входящих в Web of Science, Scopus и др., а также защищены авторским свидетельством. Тема диссертации является современной, научно и практически значимой; в автореферате обоснован ряд новых научных результатов, обладающих признаком единства тематики и подходов. Отметим следующие: (1) установлены фундаментальные механизмы резонансного экситонного переноса энергии на ионы трёхвалентных лантаноидов в щёлочноземельных фторидах (CaF_2 , SrF_2 , BaF_2), определяющих световой выход и временные характеристики сцинтилляции; (2) показан экситонный механизм образования устойчивых двухвалентных ионов лантаноидов (Ce^{2+} , Pr^{2+}) в этих фторидах и реализована стратегия подавления «задержанного» канала переноса за счёт управляемого изменения ширины запрещённой зоны (соактивация $\text{SrF}_2:\text{Ce}^{3+}$ ионами In^{3+}); (3) открыт механизм сверхбыстрой остожно-остовой люминесценции в кристаллах $\text{BaF}_2\text{-LaF}_3$ с постоянной времени порядка 150 пс, обусловленной рекомбинацией между остовными зонами Ba^{2+} и La^{3+} , установлены временные характеристики для задач ТОФ позитронно-эмиссионной томографии; (4) установлено существование двух типов автолокализованных экситонов в кристаллах BaBrI и выявлена их роль как в радиационном дефектообразовании (F- и H-центры), так и в селективном резонансном переносе энергии на ионы Eu^{2+} , Sm^{2+} , Yb^{2+} ; (5) построены VRBE-диаграммы для SrBrI , BaBrI и BaClI , описывающие расположение уровней 4f- и 5d-ионов двух- и трёхвалентных лантаноидов относительно краев зоны и позволяющие прогнозировать сцинтилляционные свойства но-

вых композиций; (6) установлен экситонный механизм образования F-подобных центров и ион-радикалов CO_3^- в каркасных алюмосиликатах (канкринит, скаполит, фторкарлтонит), а также выявлена взаимосвязь между отношением галоген/карбонат-анионов и цветом минералов.

Основные эксперименты на кристаллах и минералах, интерпретация данных, построение моделей переноса энергии и VRBE-диаграмм выполнены лично соискателем. Совокупность новых результатов соответствует критериям научной новизны и может быть квалифицирована как значимое достижение в области физики сцинтилляционных материалов и радиационной физики твёрдого тела.

Теоретическая значимость: (1) развитие представлений об экситонных механизмах переноса энергии и дефектообразования в галогенсодержащих кристаллах и микропористых алюмосиликатах; (2) построенные модели взаимодействия автолокализованных экситонов с ионами лантаноидов и анионными комплексами $(\text{CO}_3)^{2-}$, $(\text{AlO}_4)^{5-}$, $(\text{Na}_4\text{Cl})^{3+}$ позволяют единым образом описывать люминесцентные и релаксационные процессы в широком классе материалов и служат методологической основой для рационального конструирования сцинтилляторов нового поколения.

Практическая значимость: (1) получение новых перспективных сцинтилляторов (материалов на основе $\text{BaF}_2\text{-LaF}_3$ для TOF-PET/CT; кристаллов BaBrI , активированных Sm^{2+} и Yb^{2+} , совместимых соответственно с лавинными фотодиодами и кремниевыми фотоэлектронными умножителями); (2) демонстрация подхода к подавлению медленных компонентов сцинтилляции посредством инженерии запрещённой зоны (соактивацией $\text{SrF}_2\text{:Ce}^{3+}$ ионами In^{3+}); (3) разработка и внедрение веб-приложения ArDI для автоматизированной обработки спектральных данных; (4) разработка учебного пособия.

Ряд вопросов и замечаний дискуссионного и уточняющего характера.

1. В автореферате достаточно подробно изложены результаты по $\text{BaF}_2\text{-LaF}_3$; можно ли сопоставить достигнутые значения «временного разрешения по совпадениям» (CTR до 24 пс) с пределами, обусловленными фундаментальными статистическими и аппаратурными 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 CO_3^-) 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.

Диссертация характеризуется высоким уровнем научной новизны, значительной теоретической и практической значимостью, логичной структурой. Автореферат адекватно отражает основные положе-

ния и выводы диссертационной работы, раскрывает её актуальность, цели и задачи, научную новизну, теоретическую и практическую значимость. По совокупности представленных в автореферате материалов диссертация Р.Ю. Шендрика «Люминесценция и механизмы переноса энергии в галогенсодержащих материалах» отвечает требованиям, предъявляемым ВАК Российской Федерации к докторским диссертациям по физико-математическим наукам. Считаю, что Шендрик Роман Юрьевич заслуживает присуждения учёной степени доктора физико-математических наук по специальности 1.3.8 – Физика конденсированного состояния.

Я, Вотяков Сергей Леонидович, даю согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета, и их дальнейшую обработку.

Д.г.-м.н., академик РАН, гл. н. с. лаборатории физико-химических методов исследования Института геологии и геохимии им. А.Н. Заварицкого УрО РАН

Вотяков С.Л.

02.02.2026 г.

Контактные данные:

Тел.: 8-343-2879013, e-mail: votyakov@igg.uran.ru

Специальность, по которой защищена диссертация: 25.00.05 – «Минералогия и кристаллография»

Адрес места работы: 620110, Екатеринбург, ул. Академика Вонсовского, 15, Институт геологии и геохимии им. А.Н. Заварицкого УрО РАН, лаборатория физико-химических методов исследования

Тел.: 8-343-287-90-10, e-mail: director@igg.uran.ru

Подпись сотрудника Института геологии и геохимии им. А.Н. Заварицкого УрО РАН

Вотякова С.Л. удостоверяю: *Елена А.В. инженер I категории*

Общего отдела УрО РАН 02.02.2026г.

