ОТЗЫВ НАУЧНОГО КОНСУЛЬТАНТА
о диссертации Убаева Жигера Картбаевича «Экситоноподобная люминесценция кристаллов NaCl, KCl, KI и RbI в поле легкого катиона-гомолога и упругой деформации», представленную на соискание степени доктора философии (PhD) по специальности 6D060400 –Физика

Актуальность и постановка задачи диссертации

Из анализа литературного обзора следует, что современная техника и технологии требуют конструкционных материалов с заданными свойствами, которые достигаются модификацией физических свойств материалов различными методами. Во многом на практике все они сводятся либо к изменению элементного состава материала добавлением различных примесей, либо к образованию различных вакансионных дефектов кристаллической решетки.

Для прогнозирования поведения материала в реальных условиях эксплуатации или создания новых, с заранее заданными свойствами, необходимо глубокое понимание протекающих физических процессов.

В настоящее время общепризнано, что причиной радиационной неустойчивости щелочногалоидных кристаллов (ЩГК) является безызлучательный распад автолокализованных экситонов на структурные дефекты решетки. Очевидно, что изменение симметрии ближайшего окружения автолокализованных экситонов в ЩГК позволит более детально исследовать и понять различные процессы, связанные с релаксацией экситонов и дырок. Использование дорадиационной дефектности кристаллов (например, вакансии, дислокации, точечные примеси и т.д.) позволило выявить ряд эффектов. Однако, такой подход не позволяет выделить роль структурного фактора.

В этом контексте одноосные упругие и пластические деформации, а также локальные нарушения легкими катионами-гомологами (NaCl-Li, KCl-Li) имеют значительные преимущества, так как они позволяют провести сравнительные исследования особенности люминесцентных свойств на одном и том же кристалле.

В этом направлении крайне недостаточны исследования релаксации электронных возбуждений ЩГК в условиях, приближенных к эксплуатационным режимам материалов на практике.

Исследование излучательной релаксации экситонноподобного образования в материалах, в том числе в ЩГК, при непосредственном воздействии низкотемпературной одноосной деформации является перспективным направлением в области экситонного материаловедения при разработке сцинтилляционных детекторов.

Объектом исследования специально выбраны кристаллы KCl (2a), NaCl (80a), RbI (120a) и KI (235a), у которых при 80 К контрастно отличается средняя длина свободного пробега экситонов до автолокализации, являющаяся главным параметром при исследовании люминесцентных свойств ЩГК (a – постоянная решетки).

В кристаллах KCl, NaCl, KI и RbI существенно различается эффективность миграции электронных возбуждений, эффективность радиационного дефектообразования, термоупругость, пластичность, а также чувствительность к воздействию радиации и деформации и т.д.

В таких кристаллах, как KCl (2*a*), где безбарьерно автолокализуются экситоны с рождением радиационных дефектов, трудно ожидать усиления интенсивности собственной люминесценции при 80 К (или 300 К), так как она уже потушена при 40 К. Однако, такая ситуация, исключающая экситонный механизм проявления люминесценций, создает уникальную возможность для исследования альтернативных механизмов формирования электронных возбуждений в ЩГК при понижении симметрии решетки примесными легкими катионами (KCl-Na). Сравнительный анализ длины свободного пробега нерелаксированных электронных возбуждений (экситонов и дырок) показывает, что необходимо учитывать вклад нерелаксированных дырок в формирование экситоноподобных люминесценций.

В ряду NaCl, KI и RbI увеличивается длина свободного пробега экситонов, благодаря которой увеличивается вероятность участия люминесцентных процессов, особенно для выделения собственных люминесценций образцов.

Эффект автолокализации экситонов под действием упругой деформации позволяет не только устанавливать собственную природу люминесценции ЩГК, а также открывается возможность деформационного воздействия на конфигурацию предраспадного состояния автолокализованного экситона.

Таким образом, путем деформационного воздействия, направленного на понижение симметрии решетки, открываются экспериментальные возможности повлиять на миграцию и автолокализацию экситона, которые чувствительны к симметричному расположению кристаллообразующих частиц.

Перед Ж. Убаевым была поставлена **главная задача** модернизации спектрального комплекса современными высокочувствительными детекторами, основанными на цифровой технологии сканирования 5-ти люминесцентных характеристик кристаллов в широком интервале температур (83 К÷400 К) и спектра (200÷850 нм) и проведении исследования особенностей экситоноподобной люминесценции в ЩГК при воздействии упругой, пластической и локальной деформации.

Главным успехом диссертанта и его вклад в исследование фундаментальных вопросов люминесценции щелочногалоидных кристаллов является то, что им был модернизирован уникальный спектральный комплекс, управляемый компьютерными программами SpectraScan и ThermoScan, позволяющими сканировать спектры рентгенолюминесценции, туннельной люминесценции, термостимулированной люминесценции, временную развертку интегральной туннельной люминесценции и интегральной термостимулированной люминесценции ЩГК при понижении симметрии решетки упругой, пластической и локальной деформации.

Благодаря уникальной аппаратурной возможности для исследования достигнута **цель диссертации** – установление прямого воздействия легкого катиона-гомолога и упругой деформации на предраспадные излучательные состояния экситоноподобных электронных возбуждений в кристаллах NaCl, KCl, KI и RbI.

Научная новизна.

- На основе экспериментального метода люминесцентной и термоактивационной спектроскопии в кристаллах NaCl, KCl, KI и RbI установлено прямое воздействие локальной и одноосной упругой деформации на усиление интенсивности излучения автолокализованных экситонов со структурой асимметричной конфигурации за счет увеличения вероятности автолокализации анионных экситонов.
- Разработана уникальная экспериментальная методика разделения собственной и примесной люминесценции с применением одноосной упругой деформации, основанная на длине свободного пробега экситонов. В упругодеформированных кристаллах RbI на основании линейного роста интенсивности E_x - люминесценции (3,1 эВ) синхронно с собственной σ –люминесценцией (3,89 эВ) впервые предполагается собственная природа E_x – люминесценции.
- В кристалле KCl-Na обнаружен эффект усиления интенсивности излучения электронных возбуждений в поле натрия с максимумами при 2,8 эВ и 3,1 эВ в отличие от чистого кристалла KCl, в котором отсутствует подобное излучение при комнатной температуре. По результатам исследования температурной зависимости спектров рентгенолюминесценции кристаллов KCl-Na предполагается, что излучения с максимумами при 2,8 эВ и 3,1 эВ являются результатом излучательной релаксации экситоноподобных образований, формирующихся путем рекомбинации нерелаксированных дырок с электронами в поле одиночных и парных ионов натрия соответственно.

Полученные оригинальные результаты представляются новыми, и они демонстрируют, что структурный фактор оказывает существенное влияние на различные динамики параметров экситонов.

Практическая значимость. Практическая значимость работы подтверждается наличием авторского свидетельства и патентов. Технические характеристики аппаратуры, аналогов которой нет в Казахстане, подробно описаны в разделе 2 диссертации, получено авторское свидетельство (Ав. свидетельство: «Цифровая технология сканирования интегральной туннельной люминесценции и термостимулированной люминесценции щелочногалоидных кристаллов» №12980. Опубликовано 03. 11. 2020 г.) и 2 патента Республики Казахстан (Патент РК на изобретение: «Способ регистрации спектров термостимулированной люминесценции щелочногалоидных кристаллов» №34978 от 02. 04. 2021. Патент РК на полезную модель: «Способ воздействия на длину свободного пробега экситонов в щелочногалоидных кристаллах» №5978 РК от 09.04.2021).

В ходе проведения серии экспериментальных измерений найдена и апробирована специальная методика разделения упругой и пластической

деформации кристаллов при регистрации спектров рентгенолюминесценции в зависимости от степени относительной одноосной деформации, которая осуществлялась при низких температурах (83 К) в специальном криостате, сконструированном и запатентованным в Республике Казахстан коллективом лаборатории.

В процессе многократных экспериментальных измерений найден уникальный способ регистрации температурной зависимости спектров рентгенолюминесценции в охлаждающем режиме кристалла, т.е. от комнатной температуры до температуры жидкого азота (300 К → 83 К) без помехи со стороны термостимулированных процессов.

Основное содержание диссертации опубликовано в международных научных журналах (Nuclear Instruments and Methods in Physics Research, Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms – 2020, Low Temperature Physics – 2019.) и Вестниках национальных университетов Республики Казахстан (Вестник КазНУ им. Аль-Фараби. Серия физическая – 2019, Вестник ЕНУ им. Л.Н. Гумилева, серия – «Физика. Астрономия» – 2020, Вестник КазНИТУ имени К. Сатпаева – 2021).

Материалы диссертации апробированы в международных научных конференциях, посвященных проблемам люминесценции и радиационного дефектообразования в функциональных материалах (12–Международная конференция «Ядерная и радиационная физика» ИЯФ, Алматы, 2019; The 20th anniversary conference on radiation effects in insulators, Nur-Sultan, 2019; 13th International conference Functional Materials & Nanotechnologies, Vilnius, 2020). Особо хочу отметить, что полученные новые экспериментальные результаты диссертации входят в число важных научных достижений по научному проекту МОН РК AP08855672 «Направленное воздействие на излучательную релаксацию электронных возбуждений с целью улучшения люминесцентных характеристик функциональных материалов на базе щелочногалоидных кристаллов» (2020-2022г.г.).

Степень обоснованности и достоверности выводов диссертации подтверждается большим объемом экспериментальных результатов и их согласованностью с фундаментальными положениями аннигиляции электронных возбуждений в щелочногалоидных кристаллах, а также применением современных высокочувствительных экспериментальных методов люминесцентной и термоактивационной спектроскопии в автоматическом режиме сканирования исследуемых спектров. Сравнительные анализы полученных результатов с чистыми кристаллами или со спектрами в отсутствии внешнего воздействия (локальной, упругой и пластической деформации) способствуют **внутреннему единству** диссертации и обеспечивает **целостность и законченность работы.**

Убаев Ж.К. закончил физико-математический факультет Актюбинского государственного университета имени К. Жубанова по специальности «0104-Физика» в 2000 году. До поступления в докторантуру с 2004 года (14 лет) работал преподавателем, старшим преподавателем на кафедре физики и имел стаж работы с измерительными приборами и оборудованиями в области програмирования и

электроники. В 2018 году поступил в докторантуру Актюбинского государственного университета им. К.Жубанова по образовательной программе «6D060400 –физика». Огромный опыт, целеустремленность, настойчивость и, порой, терпимость пригодились ему, особенно, при проведении экспериментов в Институте физики Тартуского университета (Эстония) по оптическому созданию в вакуумно-ультрафиолетовой области спектра свободных экситонов как в регулярных узлах решетки, так и в поле легкого катиона-гомолога в кристаллах KCl-Na с использованиям ВУФ-спектроскопии при низких температурах (4,2 К).

Соответствие диссертации предъявляемым требованиям «Правил присуждения степеней».

В связи с вышеизложенным диссертационная работа Убаева Жигера Картбаевича «Экситоноподобная люминесценция кристаллов NaCl, KCl, KI и RbI в поле легкого катиона-гомолога и упругой деформации» соответствует требованиям, предъявляемым к диссертациям на соискание степени доктора философии (PhD) по специальности 6D060400 – Физика по таким основным признакам, как актуальность решаемой проблемы, новизна полученных результатов, их обоснованность и достоверность, объем исследований и практическая значимость, является завершенным научным трудом, имеющим вполне определенное значение для развития физики ионных кристаллов. Диссертация по структуре и содержанию соответствует всем предъявляемым требованиям «Правил присуждения степеней», а ее автор заслуживает присуждения ему степени доктора философии (PhD).

Отечественный
научный консультант:
Директор научного центра «Радиационная физика материалов» Актюбинского регионального университета им. К. Жубанова, доктор физико-математических наук, профессор, лауреат премии имени К. Сатпаева **К.Ш. Шункеев**

КАДР БӨЛІМІ
ОТДЕЛ
К. Жұбанов атындағы Ақтөбе өңірлік университеті коммерциялық емес акционерлік қоғамы
ҚОЛЫН РАСТАЙМЫН
Кадр бөлімінің бастығы
«____» _____ 20____ ж.

Подпись
д.ф.-м.н., профессора К. Ш. Шункеева
«Заверяю»

Главный ученый секретарь АРУ им. К. Жубанова
к.ф.н., асс. профессор М.Р. Балтымова

ZHUBANOV UNIVERSITY 1935

ОТЗЫВ НАУЧНОГО КОНСУЛЬТАНТА

о диссертации Убаева Жигера Картбаевича «Экситоноподобная люминесценция кристаллов NaCl, KCl, KI и RbI в поле легкого катиона-гомолога и упругой деформации», представленной на соискание степени доктора философии (PhD) по специальности 6D060400 – Физика

Актуальность темы представлена тем, что в настоящее время в щелочногалоидных кристаллах (ЩГК) надежно установлены основные закономерности электронных возбуждений, физическая суть которых заключается в том, что за короткое время (около 10 нс) высокоэнергетические электронные возбуждения, созданные под действием ионизирующей радиации, переходят в низкоэнергетическое экситонное состояние. Возбужденный низкоэнергетический анионный экситон испытывает миграцию по кристаллической решетке и, автолокализуясь, аннигилирует по одному из трех возможных каналов: излучательно, безызлучательно с образованием радиационных дефектов, безызлучательно с образованием пакета фононов в решетке. Отсутствие методов воздействия на основополагающие процессы релаксации анионных экситонов в некоторой степени способствовало угасанию научного интереса к ЩГК. Они исследовались в качестве модельных объектов только для изучения радиационно-стойких и радиационно-чувствительных свойств многих материалов.

Однако, после того, как профессором К.Ш. Шункеевым было обнаружено влияние одноосной упругой деформации при низких температурах (80 К) на излучательную аннигиляцию экситонов, в результате которого подавлялись примесные свечения, и одновременно происходило в 10-15 раз преобладание интенсивности собственного свечения кристалла в виде люминесценции автолокализованного экситона, физики-экспериментаторы начали активно применять этот экспериментальный метод, понижающий симметрию решетки не только для ЩГК, но и для многих других соединений.

При воздействии низкотемпературной упругой деформации на щелочногалоидные кристаллы происходили колоссальные изменения между излучательным и безызлучательным каналами аннигиляции автолокализованных экситонов. Экспериментально обнаружено увеличение интенсивности люминесценции как при рентгеновском, так и экситоном возбуждении. Однако, излучательная релаксации экситонноподобного образования в щелочногалоидных кристаллах при непосредственном воздействии низкотемпературной одноосной деформации пока не была оказана прямыми экспериментальными результатами.

В работе удачно выбрано рентгеновское облучение, создаваемое аппаратом РУП-120, который позволяет облучать кристалл по всей его толщине в противоположность структурным рентгеновским аппаратам, которые могут окрашивать только тонкий слой кристалла.

Практическая значимость выполненных в диссертации исследований сомнений не вызывает, поскольку они направлены на решение одной из актуальных задач – исследованию процессов экситоноподобной люминесценции в ЩГК при воздействии таких внешних факторов, как температура и деформация. Исследование излучательной аннигиляции автолокализованных экситонов при непосредственном воздействии низкотемпературной одноосной деформации является актуальной проблемой в области физики конденсированного состояния и материаловедения для изменения процессов автолокализации экситонов в заданном направлении. Как известно, эти кристаллы находят широкое применение в сцинтилляционной технике. Поэтому прикладная значимость работы достаточна высока. Это также подтверждается наличием у автора патента на изобретение (№ 34978 РК от 02.04.2021) и патента на полезную модель (№ 5978 РК от 09.04.2021).

Убаевым Ж.К. получены **новые и достоверные научные результаты**, которые в кратком виде можно сформулировать следующим образом:

– Прямое воздействие одноосной упругой деформации на асимметричную конфигурацию экситоноподобных образований в кристаллах NaCl, которое зарегистрировано усилением интенсивности в области спектра π –люминесценции с максимумом при 3,5 эВ с полушириной 0,75 эВ при 85К.

– Применение низкотемпературной упругой деформации для установления природы E_x – люминесценции с максимумом при 3,1 эВ в кристаллах RbI по регистрации спектров рентгенолюминесценции в зависимости от степени сжатия.

– Экспериментальная демонстрация механизма разделения π (3,3 эВ) и E_x (3,0 эВ) – люминесценции автолокализованных экситонов в длительно хранившихся кристаллах KI по спектрам рентгенолюминесценции в зависимости от степени деформации.

– Оптическое создание при фотовозбуждении в ВУФ области спектра и рекомбинационное формирование околонатриевых экситоноподобной люминесценции с максимумом при 2,8 эВ в кристаллах KCl-Na.

Диссертационная работа носит экспериментальный характер. Полученные соискателем результаты характеризуются **внутренним единством,** т.к. они связаны между собой и являются следствием начальной постановки научной задачи.

Достоверность и обоснованность результатов диссертационной работы определена большим объемом и трудоемкостью получения приведенных экспериментальных данных, уровнем и количеством опубликованных работ по теме диссертации свидетельствуют о достаточно большом вкладе автора в науку. Эксперименты проводились на базе научного центра «Радиационная физика материалов» Актюбинского регионального университета им. К. Жубанова и лаборатории ионных кристаллов Института физики Тартуского университета Эстонии. Предложенные автором научные результаты и практические рекомендации

строго аргументированы и критически оценены по сравнению с известными данными.

Диссертационное исследование выполнялось в соответствии с планом научно-исследовательских работ по грантовому проекту прикладных исследований МОН РК: «Направленное воздействие на излучательную релаксацию электронных возбуждений с целью улучшения люминесцентных характеристик функциональных материалов на базе щелочногалоидных кристаллов» (ИРН AP08855672, 2020-2022 гг).

Выбор направления для научного исследования Убаева Ж.К. был не случаен, так как базовое его образование «физика», а магистр он по направлению «информационные системы», то перед ним была поставлена задача провести модернизацию люминесцентной установки с помощью цифровых технологий SpectraScan и ThermoScan.

Хочу отметить, что работа Убаева Ж.К. выполнена на высоком современном уровне, а результаты и выводы достаточно хорошо апробированы. Всего по теме диссертации имеется 10 публикаций, в том числе: 3 – в изданиях, входящих в международную базу Scopus, 2 – в изданиях, рекомендованных Комитетом по обеспечению качества в сфере образования и науки МОН РК, патент на изобретение, патент на полезную модель, авторское свидетельство, 2 – в других научных изданиях РК.

Соответствие диссертации предъявляемым требованиям «Правил присуждения степеней».

Все вышеизложенное позволяет сделать вывод, что диссертационная работа «Экситоноподобная люминесценция кристаллов NaCl, KCl, KI и RbI в поле легкого катиона-гомолога и упругой деформации» соответствует требованиям, предъявляемым к диссертациям на соискание степени доктора философии (PhD) по специальности 6D060400 – Физика, а ее автор Убаев Жигер Картбаевич заслуживает присуждения ему степени доктора философии (PhD) по специальности 6D060400 – Физика.

Отечественный
научный консультант:
Директор департамента науки
Актюбинского регионального
университета им. К. Жубанова,
кандидат физико-математических наук,
ассоциированный профессор **Л.Н. Мясникова**

Подпись
к.ф.-м.н., асс. профессора Л.Н. Мясниковой
«Заверяю»

Главный ученый секретарь АРУ им. К. Жубанова
к.ф.н., асс. профессор М.Р. Балтымова