

## ПИСЬМЕННЫЙ ОТЗЫВ

официального рецензента на диссертационную работу 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»

№п/п	Критерии	Соответствие критериям (необходимо отметить один из вариантов ответа)	Обоснование позиции официального рецензента
1.	Тема диссертации (на дату её утверждения) соответствует направлениям развития науки и/или государственным программам	1.1 Соответствие приоритетным направлениям развития науки или государственным программам: 1) <u>Диссертация выполнена в рамках проекта или целевой программы, финансируемого(ой) из государственного бюджета (указать название и номер проекта или программы)</u> 2) Диссертация выполнена в рамках другой государственной программы (указать название программы) 3) Диссертация соответствует приоритетному направлению развития науки, утвержденному Высшей научно-технической комиссией при Правительстве Республики Казахстан (указать направление)	Диссертация выполнена в рамках проекта грантового финансирования со сроком реализации 27 месяцев: «Направленное воздействие на излучательную релаксацию электронных возбуждений с целью улучшения люминесцентных характеристик функциональных материалов на базе щелочногалоидных кристаллов» (ИРН AP08855672, № ГР 0120PK00226, 2020-2022 гг) по приоритетному направлению развития науки «Научные исследования в области естественных наук», специализированное научное направление «Фундаментальные и прикладные исследования в области физики и астрономии».
2.	Важность для науки	Работа <u>вносит/не вносит</u> существенный вклад в науку, а ее важность хорошо <u>раскрыта/не раскрыта</u>	Диссертационное исследование вносит существенный вклад в науку, в связи с полученными новыми результатами в области радиационной физики твердого тела. Важность представленной работы заключается в демонстрации улучшения сцинтилляционных характеристик детекторов при применении эффекта рекомбинации электронно-дырочных пар в щелочногалоидных кристаллах,



			активированных катион-гомологами малого радиуса.
3.	Принцип самостоятельности	Уровень самостоятельности: 1) <u>Высокий</u> ; 2) <u>Средний</u> ; 3) Низкий; 4) Самостоятельности нет	В работе приведено большое количество экспериментальных результатов, которые могли быть реализованы коллективом лаборатории, при непосредственном участии соискателя. Об уровне самостоятельности можно судить по десяти опубликованным работам, из которых только в трех диссертант является первым автором.
4.	Принцип внутреннего единства	4.1 Обоснование актуальности диссертации: 1) <u>Обоснована</u> ; 2) Частично обоснована; 3) Не обоснована.	Диссертационная работа Убаева Ж.К. посвящена изучению влияния упругой деформации и низких температур на процессы экситоноподобной люминесценции щелочногалоидных кристаллов с целью установить их поведение в условиях приближенных к реальным, имеющим место при эксплуатации этих материалов. Этот аспект выполненных исследований очень важен, поскольку указанные выше кристаллы находят широкое применение, например, в научном и аналитическом приборостроении, при конструировании сенсоров различного функционального назначения, оптической спектрометрии и др. А все более возрастающие требования к надежности и чувствительности детектирующих устройств придали новый импульс исследованиям различным эффектам, возникающим в щелочногалоидных кристаллах при различных внешних воздействиях. В этой связи актуальность выполненных автором диссертационной работы, сомнений не вызывает.
		4.2 Содержание диссертации отражает тему диссертации: 1) <u>Отражает</u> ; 2) Частично отражает; 3) Не отражает	В рецензируемой диссертации содержание отражает ее тему. Диссертация состоит из введения, четырех разделов, заключения и списка литературы. Во введении обосновано излагается актуальность работы; приведены цель, задачи, объект, предмет и методы исследования; сформулированы научная новизна, практическая значимость; основные положения, выносимые на защиту; указана связь с научно-исследовательскими проектами и апробация работы. Первый раздел посвящен обзору известной в литературе информации об экситонных механизмах люминесценции в щелочногалоидных кристаллах, о влиянии низкотемпературной

деформации на излучательную релаксацию автолокализованных экситонов. Приведены основные характеристики люминесценции анионных экситонов именно для кристаллов NaCl, KCl, KI и RbI, которые являются объектами данного исследования.

Во втором разделе представлены цифровые технологии регистрации спектров люминесценции щелочногалогенидных кристаллов на экспериментальной установке в широком спектральном (2,0-6,0 эВ) и температурном (85-400 К) интервалах. *При описании аппаратуры и экспериментальной техники канал регистрации температуры подробно не описан, в отличие от каналов регистрации спектров. В связи с этим возникает вопросы:*

*- Каким образом была измерена температура образцов и с какой точностью, так как приведены различные значения регистрации в области низкой температуры (83 К, 85 К, 90 К)?*

*- Учитывалась ли термоупругость кристаллов при определении степени деформации?*

В третьем разделе на основе абсорбционной, термоактивационной и люминесцентной спектроскопии с применением локальной и упругой деформации исследованы процессы излучательной релаксации электронных возбуждений радиационного дефектообразования в матрице NaCl.

Из диссертации следует, что в кристаллах NaCl и NaCl-Li установлено, что упругая одноосная деформация усиливает собственную люминесценцию кристаллов, а более детальное исследование показывает эффект преимущественного усиления интенсивности экситоноподобного образования с асимметричной конфигурации ( $\pi$ -люминесценция) по сравнению с симметричной конфигурацией ( $\sigma$ -люминесценция).

*При этом возникает вопрос: к образом устанавливается спектральный диапазон воздействия упругой деформации на различные конфигурации экситонов?*

В четвертом разделе применением низкотемпературной деформации исследовались: природа  $E_x$  -люминесценции



		<p>автолокализованного экситона в RbI; спектры рентгенолюминесценции KI и KI-Na, хранившихся при комнатной температуре; увеличение излучательной аннигиляции экситонов в NaCl, KI, RbI.</p> <p>Автор диссертации подчеркивает, что способ разделения собственной и примесной люминесценции реализован путем одноосной деформации на примере кристалла RbI. В результате воздействия деформации установлена природа <math>E_x</math>-люминесценции, как собственная люминесценция кристалла RbI.</p> <p><i>При этом возникает вопрос: какова надежность распространения этого способа на другие кристаллы где требуется распознавание собственной люминесценции от примесной?</i></p>
	<p>4.3. Цель и задачи соответствуют теме диссертации:  <u>1) соответствуют;</u>  2) частично соответствуют;  3) не соответствуют</p>	<p>Целью диссертационной работы является установление прямого воздействия лёгкого катиона-гомолога и упругой деформации, понижающих симметрию кристаллической решетки, на предраспадные излучательные состояния экситоноподобных электронных возбуждений в кристаллах NaCl, KCl, KI и RbI. В диссертации сформулированы пять задач. Первой задачей является модернизация спектрального комплекса, что было достигнуто и доказано получением авторского свидетельства, и двух патентов РК. Полученные результаты отвечают поставленным задачам исследований и раскрывают название диссертации.</p>
	<p>4.4 Все разделы и положения диссертации логически взаимосвязаны:  <u>1) полностью взаимосвязаны;</u>  2) взаимосвязь частичная;  3) взаимосвязь отсутствует</p>	<p>Диссертация представляет собой полностью завершённый труд. Полученные результаты и изложенные в работе научные результаты взаимосвязаны и удачно дополняют друг друга и направлены на решение проблемы: изучить физические основы экситоноподобной люминесценции кристаллов NaCl, KCl, KI и RbI в поле легкого катиона-гомолога и упругой деформации, а также выработать практические рекомендации, позволяющие увеличивать степень их надежности при разработке различных датчиков на их основе.</p>
	<p>4.5 Предложенные автором новые решения (принципы, методы) аргументированы и оценены по</p>	<p>В первой главе «Излучательная аннигиляция электронных возбуждений в щелочногалоидных кристаллах» критически рассмотрены известные данные по наблюдаемому усилению</p>



		<p>сравнению с известными решениями:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1) <u>критический анализ есть</u>;</li> <li>2) анализ частичный;</li> <li>3) анализ представляет собой не собственные мнения, а цитаты других авторов</li> </ol>	<p>собственной люминесценции в щелочногалогидных кристаллах, а именно с одной стороны экспериментально объяснено сокращением длины свободного пробега экситона до автолокализации, с другой стороны – теоретически – уменьшением потенциального барьера между квазисвободными и автолокализованными состояниями экситонов. Отмечу, что на этом этапе соискателем была проанализирована информация из 72 литературных источников. На основании критического анализа, была сделана «Постановка задачи диссертации», в котором обосновано приведен выбор четырех объектов для исследования, а именно кристаллов KCl, NaCl, KI и RbI.</p>
5.	Принцип научной новизны	<p>5.1 Научные результаты и положения являются новыми?</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1) <u>полностью новые</u>;</li> <li>2) частично новые (новыми являются 25-75%);</li> <li>3) не новые (новыми являются менее 25%)</li> </ol>	<p>К основным научным результатам и положениям диссертационной работы следует отнести:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– применение метода одноосной упругой деформации на конфигурацию экситоноподобных образований в кристаллах NaCl. Зарегистрировано усиление интенсивности в области спектра <math>\pi</math>-люминесценции с максимумом при 3,5 эВ при 85 К;</li> <li>– установление природы <math>E_x</math> – люминесценции с максимумом при 3,1 эВ по спектрам рентгенолюминесценции кристаллов RbI до и при деформации в зависимости от степени сжатия при фиксированной температуре 85 К;</li> <li>– выявление механизма разделения <math>\pi</math> (3,3 эВ) и <math>E_x</math> (3,0 эВ) – люминесценции автолокализованных экситонов в длительно хранившихся кристаллах KI по спектрам рентгенолюминесценции в зависимости от степени деформации;</li> <li>– оптическое создание при фотовозбуждении и рекомбинационное формирование экситоноподобной люминесценции с максимумом при 2,8 эВ в кристаллах KCl-Na.</li> </ul>
		<p>5.2 Выводы диссертации являются новыми?</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1) <u>полностью новые</u>;</li> <li>2) частично новые (новыми являются 25-75%);</li> <li>3) не новые (новыми являются</li> </ol>	<p>Выводы и результаты диссертации базируются на большом объеме экспериментального материала. Выводы и полученные научные результаты представляют новый материал сделанные по каждому разделу диссертации, доказательно подтвержденный результатами детального анализа экспериментальных данных, полученных с применением люминесцентной и термоактивационной</p>



		менее 25%)	спектроскопии.
		5.3 Технические, технологические, экономические или управленческие решения являются новыми и обоснованными: 1) полностью новые; 2) <u>частично новые (новыми являются 25-75%);</u> 3) не новые (новыми являются менее 25%)	Внедрение в спектральный комплекс пакета прикладных программ SpectraScan и ThermoScan позволило модернизировать люминесцентную установку по регистрации спектров рентгенолюминесценции, туннельной люминесценции и ее временную развертку, а также термостимулированную люминесценцию и ее спектры при определенных температурах. Однако, применение метода одноосной упругой деформации для исследования люминесцентных характеристик щелочногалогенидных кристаллов уже известно. При этом отметим, что в данной работе получены новые, ранее неизвестные результаты.
6.	Обоснованность основных выводов	Все основные выводы <u>основаны/не основаны</u> на весомых с научной точки зрения доказательствах либо достаточно хорошо обоснованы (для qualitative research и направлений подготовки по искусству и гуманитарным наукам)	Выводы, приведенные в заключении, сделаны на основе экспериментальных результатов люминесцентной и термоактивационной спектроскопии кристаллов NaCl, KCl, KI и RbI до и при воздействии деформации (локальной и упругой) понижающей симметрии решетки. Они не противоречат основным положениям радиационной физики твердого тела. Выводы полностью подтверждают положения диссертационной работы.
7.	Основные положения, выносимые на защиту	Необходимо ответить на следующие вопросы по каждому положению в отдельности: 7.1 Доказано ли положение? 1) <u>доказано;</u> 2) скорее доказано; 3) скорее не доказано; 4) не доказано 7.2 Является ли тривиальным? 1) да; 2) <u>нет</u> 7.3 Является ли новым? 1) <u>да;</u> 2) нет	Все четыре основных положения, вынесенных на защиту доказаны экспериментально, с применением люминесцентной и термоактивационной спектроскопии в широком интервале спектра (2,0-6,0 эВ) и температуры (от 4,2 К до 400 К) при понижении симметрии решетки кристаллов NaCl, KCl, KI и RbI путем воздействия упругой деформации и внедрением в матрицу кристаллов примесей (Li, Na). По всем защищаемым положениям имеются опубликованные работы в журналах. Элементы тривиальности в диссертационной работе отсутствуют. Все найденные закономерности и особенности изученных процессов рассматривались не упрощенно, а с позиции современных знаний в области радиационной физики твердого тела. Основные положения, выносимые на защиту, являются новыми и являются результатом детального анализа экспериментальных данных, полученных с применением люминесцентной и



			термоактивационной спектроскопии. Ранее подобные положения и результаты исследований по теме диссертации не были кем-либо описаны в литературе.
		7.4 Уровень для применения: 1) узкий; 2) <u>средний</u> ; 3) широкий	Уровень для применения оценивается как средний, так как областью применения является создание быстродействующих $\gamma$ -сцинтилляторов нового поколения, работа которых основана на собственных свечениях автолокализованных экситонов.
		7.5 Доказано ли в статье? 1) <u>да</u> ; 2) нет	Все положения, выносимые на защиту, доказаны публикациями в периодических изданиях. На основании полученных экспериментальных данных за 2018-2021 года диссертантом опубликовано 10 работ, в том числе: 2 статьи в базе Scopus (с процентилем 52 и 34, соответственно); 3 статьи в журналах рекомендованных КОКСОН МОН РК; 1 патент на изобретение; 1 патент на полезную модель; 1 авторское свидетельство.
8.	Принцип достоверности Достоверность источников и предоставляемой информации	8.1 Выбор методологии - обоснован или методология достаточно подробно описана 1) <u>да</u> ; 2) нет	При проведении исследований было обосновано использовано лабораторное оборудование, позволяющие получать достоверные результаты, описанное во втором разделе диссертации. Эксперименты проводились на люминесцентной установке, позволяющей регистрировать люминесцентные характеристики щелочногалоидных кристаллов при одновременном воздействии радиации, деформации и низкой температуры.
		8.2 Результаты диссертационной работы получены с использованием современных методов научных исследований и методик обработки и интерпретации данных с применением компьютерных технологий: 1) <u>да</u> ; 2) нет	Все экспериментальные результаты, описанные в диссертационном исследовании, получены на люминесцентной установке, оснащенной современными компьютерными (цифровыми) технологиями, а именно пакетом прикладных программ SpectraScan и ThermoScan. Методы научного исследования подробно описаны во втором разделе диссертации. Обработка экспериментальных данных проводилась с помощью пакета прикладных программ Origin.
		8.3 Теоретические выводы, модели, выявленные взаимосвязи и закономерности доказаны и подтверждены экспериментальным исследованием (для направлений	Теоретические выводы, модели, выявленные взаимосвязи и закономерности были выявлены из экспериментальных исследований. Определение энергии активации позволило утверждать, что в кристаллах KCl-Na при регистрации рентгенолюминесценции в области температур ниже 150 К, дырки



		подготовки по педагогическим наукам результаты доказаны на основе педагогического эксперимента): 1) <u>да</u> ; 2) нет	эффективно автолокализируются и только их незначительная доля доходит до натрия, а с ростом температуры доля автолокализованных дырок стремительно уменьшается параллельно с увеличением концентрации нерелаксированных дырок в решетке.
		8.4 Важные утверждения <u>подтверждены/частично</u> подтверждены/не подтверждены ссылками на актуальную и достоверную научную литературу	Основные важные утверждения диссертационной работы подтверждены соответствующими ссылками на научную литературу. В списке использованных источников есть классические труды ведущих ученых занимающихся проблемами люминесценции в щелочногалоидных кристаллах.
		8.5 Использованные источники литературы <u>достаточны/не</u> достаточны для литературного обзора	Список литературных источников диссертации насчитывает 139 научных работ, в том числе для литературного обзора 72, которых достаточно для проведения аналитического литературного обзора по теме диссертации.
9.	Принцип практической ценности	9.1 Диссертация имеет теоретическое значение: 1) <u>да</u> ; 2) <u>нет</u>	Представленное диссертационное исследование преимущественно выполнено экспериментально, следовательно, носит больше прикладной характер, чем теоретический. Однако, данное исследование вносит значительный вклад в фундаментальные основы релаксации электронных возбуждений в щелочногалоидных кристаллах.
9.2 Диссертация имеет практическое значение и существует высокая вероятность применения полученных результатов на практике: 1) <u>да</u> ; 2) <u>нет</u>		Практическое значение диссертации обосновано получением патента на изобретение (№34978 РК от 02.04.2021), патентом на полезную модель (№ 5978 РК от 09.04.2021 г), а также авторского свидетельства (№ 12980 от 03.11.2020). Вероятность распространения опыта модернизации аппаратуры по цифровой технологии сканирования интегральной туннельной люминесценции и термостимулированной люминесценции на другие аппаратурные комплексы достаточно высока.	
9.3 Предложения для практики являются новыми? 1) полностью новые; 2) <u>частично новые (новыми являются 25-75%);</u> 3) не новые (новыми являются		Степень новизны практических рекомендаций и предложений достаточно высокая. Полученные экспериментальные результаты по усилению интенсивности люминесценции кристаллов NaCl, KCl, KI и RbI под действием низкотемпературной упругой деформации, а также внедрением в матрицу кристаллов примесей (Li, Na) для создания локальной деформации, могут быть использованы при	



		менее 25%)	разработке сцинтилляционных детекторов на основе щелочногалоидных кристаллов.
10.	Качество написания и оформления	Качество академического письма: 1) <u>высокое</u> ; 2) среднее; 3) ниже среднего; 4) низкое.	Диссертация написана грамотным научно-техническим языком, доступным, профессиональным техническим стилем. Формулировки основных положений и выводов носят законченный характер и являются достоверными. <i>Незначительное количество опечаток не снижает качество диссертационной работы.</i>

### Заключение о возможности присуждения степени доктора философии (PhD)

Диссертационная работа, выполненная на тему: «Экситоноподобная люминесценция кристаллов NaCl, KCl, KI и RbI в поле легкого катионагомолога и упругой деформации» представляет собой законченную исследовательскую работу, имеющую экспериментальный характер. Считаю, что по содержанию и оформлению она соответствует всем требованиям, предъявляемым Комитетом по обеспечению качества в сфере образования и науки МОН РК к диссертациям, а ее автор Убаев Жигер Картбаевич заслуживает присуждения степени доктора философии (PhD) по направлению подготовки кадров специальности «6D060400 – Физика».

### Официальный рецензент:

Доктор физико-математических наук, профессор  
Казахского Национального университета имени аль-Фараби



Г.Ш. Яр-Мухамедова

17 августа 2021 года

