

## ПИСЬМЕННЫЙ ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО РЕЦЕНЗЕНТА

на диссертационную работу Самарханова Куаныша Қанатұлы на тему «Экспериментальное исследование процессов преобразования энергии продуктов ядерной реакции  ${}^6\text{Li}(\text{n},\alpha){}^3\text{H}$  в энергию оптического излучения», представленную на соискание степени доктора философии (PhD) по образовательной программе 8D05301 – «Физика»

№п/п	Критерий	Соответствие критериям (необходимо отметить один из вариантов ответа)	Обоснование позиции официального рецензента
1.	Тема диссертации (на дату ее утверждения) соответствует направлениям развития науки и/или государственным программам	<p>1.1 Соответствие приоритетным направлениям развития науки или государственным программам:</p> <p>1) <u>Диссертация выполнена в рамках проекта или целевой программы, финансируемого(ой) из государственного бюджета (указать название и номер проекта или программы)</u></p> <p>2) Диссертация выполнена в рамках другой государственной программы (указать название программы)</p> <p>3) Диссертация соответствует приоритетному направлению развития науки, утвержденному Высшей научно-технической комиссией при Правительстве Республики Казахстан (указать направление)</p>	<p>Диссертационная работа соответствует приоритетному направлению развития науки <b>«Энергия, передовые материалы и транспорт»</b> по специализированному научному направлению <b>«Атомная энергетика, ядерные технологии и использование атомной энергии»</b>.</p> <p>Диссертационная работа выполнена в рамках грантового проекта, финансируемого из государственного бюджета Министерством науки и высшего образования Республики Казахстан на тему «Исследование по созданию квазинепрерывного лазера на p-s-переходе атома инертного газа с возбуждением продуктами ядерной реакции <math>{}^6\text{Li}(\text{n},\alpha){}^3\text{H}</math> за 2020-2022 годы (AP08856017).</p>
2.	Важность для науки	Работа <u>вносит</u> /не вносит существенный вклад в науку, а ее важность хорошо <u>раскрыта</u> /не раскрыта	Важность диссертационной работы <b>подробно раскрыта</b> , и она <b>вносит существенный вклад</b> в развитие фундаментальной и прикладной науки в области физики низкотемпературной плазмы. Вклад диссертационной работы в развитие науки заключается в обосновании возможности использования ядерной реакции ${}^6\text{Li}(\text{n},\alpha){}^3\text{H}$ в качестве поверхностного источника

			возбуждения газовых сред в активной зоне ядерного реактора. Разработанные в диссертационной работе экспериментальные подходы могут найти практическое применение в системах контроля функционирования ядерных реакторов, в том числе находящихся в Национальном ядерном центре и в Институте ядерной физики, а также при разработке ядерно-оптических преобразователей и нейтронных детекторов.
3.	Принцип самостоятельности	Уровень самостоятельности: 1) <b>Высокий</b> ; 2) Средний; 3) Низкий; 4) Самостоятельности нет	Соискатель проявил <b>высокую степень самостоятельности</b> при выполнении исследований в рамках диссертационной работы. Автором самостоятельно выполнен весь цикл исследования: проведен литературный обзор, сформулированы цель и задачи исследования, рассчитаны длины свободного пробега продуктов ядерной реакции ${}^6\text{Li}(\text{n},\alpha){}^3\text{H}$ с использованием программного комплекса LISE++. Самарханов К.К. принимал непосредственное участие в подготовке и проведении как внеакторных, так и реакторных экспериментальных исследований, самостоятельно разрабатывал отчётную документацию и формулировал основные выводы диссертационной работы.
4.	Принцип внутреннего единства	4.1 Обоснование актуальности диссертации: 1) <b>Обоснована</b> ; 2) Частично обоснована; 3) Не обоснована.	Актуальность диссертационной работы полностью обоснована. Исследования посвящены междисциплинарным задачам на стыке ядерной физики, оптики и физики низкотемпературной плазмы. В рамках литературного обзора соискателем проанализированы современные подходы к возбуждению газовых сред высокогенеретическими частицами, выявлены ограничения существующих методов в условиях нейтронного излучения. Научные и технические предпосылки к исследованию связаны с необходимостью расширения экспериментальной базы

		для изучения спектрально-временных характеристик оптического излучения в активной зоне ядерного реактора. Впервые на исследовательском реакторе ИВГ.1М успешно проведены эксперименты по люминесценции инертных газов, возбуждаемых продуктами реакции ${}^6\text{Li}(\text{n},\alpha){}^3\text{H}$ . Полученные результаты стали основой для перехода к следующему этапу – исследованию порога генерации на реакторе ИГР при плотности потока тепловых нейтронов до $7 \cdot 10^{16}$ н/см <sup>2</sup> ·с. В диссертации впервые разработаны и аprobированы специализированная экспериментальная установка, методика проведения внутриреакторных экспериментов на импульсном ядерном реакторе ИГР и система оптической регистрации. Диссертационная работа характеризуется внутренним единством – от четко сформулированных целей до логически взаимосвязанных теоретических расчетов и полученных практических результатов. Проведенные исследования являются актуальными и значимыми для развития фундаментальных и прикладных направлений в области физики плазмы, оптики и ядерной энергетики.
	<p>4.2 Содержание диссертации отражает тему диссертации:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1) <b>Отражает;</b></li> <li>2) Частично отражает;</li> <li>3) Не отражает</li> </ol>	Содержание диссертации <b>полностью отражает её тему</b> . Диссертация состоит из пяти основных глав. Представленные главы и их содержание полностью согласуются с темой диссертации и посвящены экспериментальным исследованиям спектрально-временных характеристик оптического излучения газовых сред, возбуждаемых продуктами ядерной реакции ${}^6\text{Li}(\text{n},\alpha){}^3\text{H}$ .
	<p>4.3. Цель и задачи соответствуют теме диссертации:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1) <b>соответствуют;</b></li> <li>2) частично соответствуют;</li> </ol>	Цель и задачи диссертационной работы <b>полностью соответствуют её теме</b> . Целью диссертации являлось установление основных закономерностей формирования

		<p>3) не соответствуют</p> <p>4.4 Все разделы и положения диссертации логически взаимосвязаны:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1) <b><u>полностью взаимосвязаны;</u></b></li> <li>2) взаимосвязь частичная;</li> <li>3) взаимосвязь отсутствует</li> </ol> <p>4.5 Предложенные автором новые решения (принципы, методы) аргументированы и оценены по сравнению с известными решениями:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1) <b><u>критический анализ есть;</u></b></li> <li>2) анализ частичный;</li> <li>3) анализ представляет собой не собственные мнения, а цитаты других авторов;</li> <li>4) анализ отсутствует.</li> </ol>	<p>излучающих состояний в смесях инертных газов при распылении лития продуктами ядерной реакции <math>^6\text{Li}(n,\alpha)^3\text{H}</math>. В связи с этим, соискателем сформулированы три последовательные основные задачи, решение которых необходимы для достижения поставленной цели.</p> <p>Диссертация отличается четкой структурой, последовательностью изложения и внутренней <b>логической взаимосвязанностью</b>. Цель и задачи исследования сформулированы в обзорной части, за которой следуют расчетно-теоретические положения, обосновывающие выбранные направления исследований. Далее изложены экспериментальные исследования, сначала внеакторные, затем реакторные, завершающиеся анализом и сопоставлением полученных данных. Таким образом, диссертация представляет собой целостную и завершенную научную работу, характеризующуюся внутренним единство всех ее разделов.</p> <p>Предложенные автором методические подходы к исследованию ядерно-возбуждаемой плазмы, образованной при взаимодействии продуктов ядерной реакции <math>^6\text{Li}(n,\alpha)^3\text{H}</math> с газовыми смесями <b>аргументированы и впервые реализованы</b> в условиях облучения в активной зоне реакторов ИВГ.1М и ИГР. Разработаны и апробированы новая экспериментальная установка, методика проведения экспериментов на импульсном реакторе ИГР и система оптической регистрации, адаптированные к условиям нейтронно-гамма излучения. Предложенный подход обладает преимуществами по сравнению с ранее применявшимися методами возбуждения газовых сред продуктами реакции <math>^3\text{He}(n,p)^3\text{H}</math>, <math>^{10}\text{B}(n,\alpha)^7\text{Li}</math>, и <math>^{235}\text{U}(n,f)</math>.</p>
--	--	---	---

5.	Принцип научной новизны	<p>5.1 Научные результаты и положения являются новыми?</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1) <b><u>полностью новые;</u></b></li> <li>2) частично новые (новыми являются 25-75%);</li> <li>3) не новые (новыми являются менее 25%)</li> </ol>	<p>Научные результаты и положения работы являются <b>полностью новыми</b> и вносят значимый вклад в исследования в области прямого преобразования ядерной энергии в энергию оптического излучения. Научная новизна результатов и положений диссертации подтверждается опубликованными статьями в высорейтинговых международных и отечественных научных журналах.</p>
		<p>5.2 Выводы диссертации являются новыми?</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1) <b><u>полностью новые;</u></b></li> <li>2) частично новые (новыми являются 25-75%);</li> <li>3) не новые (новыми являются менее 25%)</li> </ol>	<p>Основные выводы диссертации являются <b>полностью новыми</b>, они и основаны на расчетно-экспериментальных данных и всестороннем анализе полученных результатов исследований. При этом, сформулированные выводы диссертационной работы основаны только на собственных оригинальных исследованиях.</p>
		<p>5.3 Технические, технологические, экономические или управлеченческие решения являются новыми и обоснованными:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1) <b><u>полностью новые;</u></b></li> <li>2) частично новые (новыми являются 25-75%);</li> <li>3) не новые (новыми являются менее 25%)</li> </ol>	<p>Технические и технологические решения, использованные в диссертации, являются <b>полностью новыми</b> и оригинальными. Ключевым техническим результатом работы является разработка методик проведения экспериментов по исследованию люминесценции инертных газов и процессов распыления лития в газовую среду при возбуждении наносекундным электронным пучком, а также методики внутриреакторных экспериментов по изучению спектрально-временных характеристик оптического излучения при возбуждении газовых сред продуктами ядерной реакции <math>{}^6\text{Li}(\text{n},\alpha){}^3\text{H}</math>. Предложенные методики обладают высокой практической значимостью и могут быть успешно применены при проведении аналогичных исследований.</p>

6.	Обоснованность основных выводов	Все основные выводы <b>основаны</b> /не основаны на весомых с научной точки зрения доказательствах либо достаточно хорошо обоснованы (для qualitative research и направлений подготовки по искусству и гуманитарным наукам)	Все основные выводы <b>основаны</b> на весомых с научной точки зрения доказательствах и достаточно хорошо обоснованы. Основные выводы подтверждаются экспериментальными и расчетными результатами с использованием современных и хорошо апробированных методов исследования. Выводы полностью подтверждают положения диссертационной работы.
7.	Основные положения, выносимые на защиту	<p>7.1 Доказано ли положение?</p> <p>1) доказано;      2) скорее доказано;      3) скорее не доказано;      4) не доказано;      5) в текущей формулировке проверить доказанность положения невозможно.</p> <p>7.2 Является ли тривиальным?</p> <p>1) да;      2) нет;      3) в текущей формулировке проверить тривиальность положения невозможно.</p> <p>7.3 Является ли новым?</p> <p>1) да;      2) нет;      3) в текущей формулировке проверить новизну положения невозможно.</p> <p>7.4 Уровень для применения:</p> <p>1) узкий;      2) средний;      3) широкий;      4) в текущей формулировке проверить уровень применения положения невозможно.</p> <p>7.5 Доказано ли в статье?</p> <p>1) да;</p>	<p>На защиту диссертации выносятся три основных положения:</p> <p>1. Разработана и впервые реализована экспериментальная установка и методика проведения внутриреакторных экспериментов на реакторе ИГР для исследования спектрально-временных характеристик излучения газовых смесей, возбуждаемых продуктами ядерной реакции <math>{}^6\text{Li}(\text{n},\alpha){}^3\text{H}</math>. Создана специализированная установка, включающая газо-вакуумную систему на базе TURBOLAB 90i, информационно-измерительную систему (температурный контроль, оптическая регистрация, масс-спектрометрия) и облучательное устройство с литиевым источником возбуждения, размещаемое в активной зоне реактора ИГР.</p> <p>Для регистрации параметров оптического излучения применены спектрометр QE Pro-Abs, фотодетекторы (DET100/AM, PDA10D2), модуль ФЭУ с монохроматором МДР-204, осциллографы Tektronix с ПО Keithley KickStart.</p> <p>Разработана и апробирована методика проведения реакторных экспериментов в режиме «Вспышка», включающая пошаговую подготовку, синхронизацию с импульсом реактора и алгоритм обработки данных, обеспечивающая воспроизводимость и безопасность</p>

	<p>2) нет;</p> <p>3) в текущей формулировке проверить доказанность положения в статье невозможно.</p>	<p>экспериментов.</p> <p><b>7.1 Положение доказано</b></p> <p><b>7.2 Положение не является тривиальным</b></p> <p><b>7.3 Положение является новым</b></p> <p><b>7.4 Уровень для применения широкий</b></p> <p><b>7.5 Положение доказано в статьях</b></p> <p>2. Получены новые экспериментальные данные по спектрально-временным характеристикам оптического излучения при распылении лития в инертный газ под воздействием ионизирующего излучения. Серия экспериментов с облучением литиевого слоя пучком быстрых электронов (150 кэВ, 5 нс) показала, что при температурах 650-680 К в спектрах инертных газов (Ar, Kr, Xe) появляются линии лития, интенсивность которых возрастает с ростом температуры. Излучение на переходах атомов лития и инертных газов возникает синхронно и достигает максимума через 20-30 нс после импульса. Во внутриреакторных экспериментах на ИГР (мощность до 9,5 ГВт) с газовыми смесями He-Ar и He-Xe (100 кПа и 99,4 кПа, соотношение 100:1) впервые зарегистрированы воспроизводимые спектры и осциллограммы излучения, возбуждаемого продуктами реакции <math>{}^6\text{Li}(\text{n},\alpha){}^3\text{H}</math>, на длинах волн 750,4 нм и 823 нм соответственно.</p> <p><b>7.1 Положение доказано</b></p> <p><b>7.2 Положение не является тривиальным</b></p> <p><b>7.3 Положение является новым</b></p> <p><b>7.4 Уровень для применения широкий</b></p> <p><b>7.5 Положение доказано в статьях</b></p> <p>3. Выявлены механизмы заселения и дезактивации</p>
--	---	--

			<p>энергетических уровней на 2p–1s переходах атомов инертных газов и определена кинетика плазменных процессов в ядерно-возбуждаемой плазме.</p> <p>В результате внеакторных экспериментов установлено, что заселение уровней лития инициируется поверхностной ионизацией при взаимодействии литиевого слоя с метастабильными атомами инертного газа, а последующее возбуждение и излучение происходит в объёме газа и образуется в ходе плазмохимических реакций в объёме газа. Реакторные эксперименты позволили идентифицировать ключевые плазмохимические реакции и определить скорости протекающих процессов. Основным каналом заселения уровней лития является реакция Пенningа, а тушение нижнего уровня 2p–1s-переходов осуществляется атомами лития. Сопоставление данных реакторных и внеакторных исследований выявило единые закономерности возбуждения плазмы при различных типах ионизирующего воздействия.</p> <p><b>7.1 Положение доказано</b></p> <p><b>7.2 Положение не является тривиальным</b></p> <p><b>7.3 Положение является новым</b></p> <p><b>7.4 Уровень для применения широкий</b></p> <p><b>7.5 Положение доказано в статьях</b></p>
8.	Принцип достоверности Достоверность источников и предоставляемой информации	8.1 Выбор методологии - обоснован или методология достаточно подробно описана 1) да; 2) нет	<p>Выбор методов исследования в диссертации обоснован, <b>подробно описан</b> и соответствует целям и задачам работы.</p> <p>Применённые методы основаны на комплексном подходе, включающем физическое моделирование процессов возбуждения газовых смесей в условиях воздействия ионизирующего излучения, численные расчёты характеристик возбуждающих частиц, а также прямые спектрально-временные измерения.</p>

		<p>Использование метода возбуждения газовой среды продуктами ядерной реакции <math>{}^6\text{Li}(\text{n},\alpha){}^3\text{H}</math> является новым и аргументированным решением. Экспериментальные методы, реализованные как во внераакторных, так и в реакторных условиях, обеспечивают высокую достоверность полученных данных. Подбор измерительной аппаратуры, методика проведения экспериментов на импульсном ядерном реакторе ИГР и система оптической регистрации были специально адаптированы к условиям нейтронно-гамма излучения, что позволило провести уникальные измерения в условиях, ранее недоступных для подобного рода исследований.</p>
	<p>8.2 Результаты диссертационной работы получены с использованием современных методов научных исследований и методик обработки и интерпретации данных с применением компьютерных технологий:</p> <p>1) да; 2) нет</p>	<p>Результаты диссертационной работы получены с <b>использованием современных методов</b> научных исследований и обработки данных. Были использованы различные методы исследований в том числе как физического и компьютерного моделирования. В частности, для расчётов тепловых и нейтронных характеристик облучательных устройств применялись лицензионные программы ANSYS (теплофизическое моделирование) и MCNP (нейтронно-физические расчёты), для расчета длин свободного пробега продуктов ядерной реакции <math>{}^6\text{Li}(\text{n},\alpha){}^3\text{H}</math> использовался программный комплекс LISE++. Экспериментальные данные спектрально-временных характеристик обрабатывались с использованием лицензионного ПО OceanView, SpectraSuite и Keithley KickStart.</p>
	<p>8.3 Теоретические выводы, модели, выявленные взаимосвязи и закономерности доказаны и подтверждены экспериментальным исследованием (для направлений подготовки по педагогическим</p>	<p>Теоретические выводы, модели, выявленные взаимосвязи и закономерности <b>подтверждены</b> экспериментальным данными. Они позволили установить характерные особенности формирования</p>

		<p>наукам результаты доказаны на основе педагогического эксперимента):</p> <p>1) <u>да</u>;</p> <p>2) нет</p>	<p>ядерно-возбуждаемой плазмы при взаимодействии продуктов реакции <math>{}^6\text{Li}(\text{n},\alpha){}^3\text{H}</math> с инертными газами в поле ядерного реактора, определить основные каналы заселения и дезактивации энергетических уровней, а также уточнить кинетику оптического излучения.</p>
		<p>8.4 Важные утверждения <u>подтверждены</u>/частично подтверждены/не подтверждены ссылками на актуальную и достоверную научную литературу</p>	<p>Важные утверждения <u>подтверждены</u> ссылками на актуальную и достоверную научную литературу, что обеспечивает обоснованность и актуальность проводимых исследований, а также достоверность используемых в диссертации данных для проведения численных и экспериментальных исследований.</p>
		<p>8.5 Использованные источники литературы <u>достаточны</u>/не достаточны для литературного обзора</p>	<p>Использованные в диссертации источники литературы <u>достаточны</u> для проведения литературного обзора. Используемые источники охватывают основные аспекты исследованной соискателем темы диссертации и обеспечивают достаточную обоснованность для проведения исследований.</p>
9.	Принцип практической ценности	<p>9.1 Диссертация имеет теоретическое значение:</p> <p>1) <u>да</u>;</p> <p>2) нет</p>	<p>Диссертация <u>имеет большое</u> теоретическое значение. Полученные соискателем результаты диссертации могут быть использованы в различных теоретических и аналитических исследованиях по моделированию плазменных процессов, при разработке физических моделей ядерно-возбуждаемой плазмы.</p>
		<p>9.2 Диссертация имеет практическое значение и существует высокая вероятность применения полученных результатов на практике:</p> <p>1) <u>да</u>;</p> <p>2) нет</p>	<p>Диссертация <u>имеет большое</u> практическое значение и ее результаты могут быть использованы на практике. Разработанная и апробированная методика проведения реакторных экспериментов, включая экспериментальную установку, систему оптической регистрации и облучательное устройство с литиевым источником, может быть использована на других ядерных установках для исследования процессов возбуждения газовых сред и создания ядерно-оптических преобразователей, детекторов нейтронного</p>

		9.3 Предложения для практики являются новыми? 1) <b>полностью новые</b> ; 2) частично новые (новыми являются 25-75%); 3) не новые (новыми являются менее 25%)	потока в условиях нейтронного облучения.  Предложения для практики, сформулированные в диссертации, являются <b>полностью новыми</b> . Они включают новый способ возбуждения газовых сред в условиях реакторного облучения. Полученные в диссертационной работе технические решения и экспериментальные методики могут быть использованы в исследованиях ядерно-возбуждаемой плазмы, при создании детекторов нейтронного потока и ядерно-оптических преобразователей. В полученных результатах могут быть заинтересованы научно-исследовательские организации, занимающиеся вопросами газовых лазеров с ионизирующей накачкой, мощных лазеров с возбуждением электронным пучком.
10.	Качество написания и оформления	Качество академического письма: 1) <b>высокое</b> ; 2) среднее; 3) ниже среднего; 4) низкое.	Качество академического письма диссертации <b>высокое</b> . Диссертация выполнена на высоком научном уровне и представленной собой завершенную научно-исследовательскую работу.
11.	Замечания к диссертации	- В тексте диссертации имеются орфографические ошибки и неточности (например, стр. 58 – «второй глава», стр. 68 – «внутриреакторных экспериментов» и т.д.) - Некоторые рисунки в диссертации приведены на английском языке (например, рисунки 8, 16, 34, 35, 41, 50), что снижает целостность восприятия текста. Следовало бы привести все надписи и обозначения на указанных рисунках в соответствие с языком изложения диссертации. - В тексте диссертации наряду с системой СИ используются внесистемные единицы измерения давления (Торр). Для соблюдения требований единообразия оформления научной работы следует привести все значения давления в унифицированных единицах системы СИ (Па, кПа). Однако, вышеприведенные замечания не снижают научно-практической ценности диссертации, которая выполнена на высоком научном уровне и представляет собой законченную самостоятельную научно-исследовательскую работу.	
12.	Научный уровень статей докторанта по	Научный уровень статей соискателя по теме исследования <b>высокий</b> . Публикации (5 статей в журналах, индексируемых в базе Scopus и/или Web of Science, патент на полезную модель) отражают основные результаты диссертации и содержат оригинальные или апробированные подходы к решению поставленных	

	теме исследования	задач.
13.	Решение официального рецензента	Диссертационная работа Самарханова К.К. на тему «Экспериментальное исследование процессов преобразования энергии продуктов ядерной реакции ${}^6\text{Li}(\text{n},\alpha){}^3\text{H}$ в энергию оптического излучения» выполнена на высоком уровне, представляет собой самостоятельную научно-исследовательскую работу. Диссертационная работа полностью соответствует требованиям правил присуждения степеней Комитета по обеспечению качества в сфере науки и высшего образования Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан. В связи с вышесказанным, Самарханов Куаныш Қанатұлы заслуживает присуждения искомой степени доктора философии (PhD) по образовательной программе 8D05301 – «Физика».

**Официальный рецензент:**

кандидат физико-математических наук,  
начальник отдела ядерной физики  
Республиканского государственного  
предприятия на праве хозяйственного  
ведения «Институт ядерной физики»  
Министерства энергетики Республики  
Казахстан

Т.К.Жолдыбаев

Подпись Т.К. Жолдыбаева заверяю, ученый  
секретарь Республиканского государственного  
предприятия на праве хозяйственного ведения  
«Институт ядерной физики» Министерства  
энергетики Республики Казахстан



К.М. Мунасбаева