

ОТЗЫВ

официального оппонента доктора физико-математических наук

Болоздыни Александра Ивановича

на диссертационную работу

Олейникова Владислава Петровича

«Исследование электролюминесценции и первичных сцинтилляций в видимом диапазоне в детекторах на основе жидкого аргона»,

представленную в диссертационный совет 24.1.162.02 на базе

Федерального государственного бюджетного учреждения науки

Института ядерной физики им. Г.И. Будкера

Сибирского отделения Российской академии наук

на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук

по специальности 1.3.2. Приборы и методы экспериментальной физики

Актуальность работы

Диссертационная работа Олейникова В.П. посвящена актуальной проблеме оптического считывания сигналов в масштабных двухфазных эмиссионных детекторах на основе сжиженного аргона.

В настоящее время массивные эмиссионные детекторы на основе аргона и ксенона широко используются для регистрации редких событий с низким энерговыделением, например, в детекторах для поиска темной материи или для регистрации когерентного рассеяния нейтрино на атомных ядрах. Одним из возможных путей дальнейшего прогресса в данной области является увеличение массы рабочего вещества детектора для регистрации ещё более редких событий. Детекторы на основе сжиженного аргона хорошо подходят для масштабирования, поскольку аргон относительно дешевый благородный газ, а, благодаря меньшей массе ядра аргона добиться более низкого энергетического порога по сравнению с ксеноном.

Одна из сложностей в работе с детекторами с жидким аргоном в качестве рабочей среды заключается в необходимости использования оптических сместителей спектров излучения первичных сцинтилляций и электролюминесценции в области вакуумного ультрафиолета, который сложно регистрировать напрямую. Несмотря на значительный прогресс в разработке волновых сместителей спектра, отмечены проблемы старения и растворения в жидком аргоне сместителей спектра, отслаивания слоев сместителей спектра от напылённых поверхностей в криогенных условиях, наличие медленных временных компонент высвечивания. Кроме того, эффективность спектропреобразования зависит от наличия определённых примесей в жидком аргоне.

В диссертационной работе В.П. Олейникова проводится исследование электролюминесценции и первичных сцинтилляций в видимом диапазоне для использования в детекторах на основе жидкого аргона и рассматриваются схемы оптического считывания для регистрации фотонного излучения без применения оптических спектро-преобразователей.

Текст диссертации изложен на 132 страницах и состоит из введения, пяти глав и заключения. В тексте содержится 53 рисунка и 7 таблиц. Список литературы содержит 180 наименований.

Введение посвящено обоснованию и формулировке целей, задач исследований и их актуальности. Во введении изложены защищаемые научные положения, научная и практическая значимость работы, научная новизна полученных результатов.

В первой главе приводятся косвенные доказательства существования темной материи, описывается множество кандидатов на роль темной материи, рассматриваются методы регистрации гипотетических частиц темной материи, включая принцип работы двухфазного детектора на основе аргона с использованием сместителя спектра и регистрацией переизлучённого в видимую область вакуумного ультрафиолета.

Во второй главе приведено описание экспериментальной установки, использованной для проведения экспериментальных исследований. Подробно рассмотрены основные подсистемы установки, включая криостат, криогенно-вакуумная и газовая системы, системы питания и сбора данных, источники рентгеновского и гамма-излучения.

Третья глава посвящена измерению светосбора в двухфазном эмиссионном детекторе на основе аргона и определению порогов регистрации при использовании схем оптического считывания в видимом и инфракрасном диапазоне без сместителя спектра. Сделаны выводы о возможности практического применения рассмотренных схем считывания. В частности, показано, что схему оптического считывания без сместителя спектра можно использовать для регистрации гипотетических частиц темной материи с массой более $10 \text{ ГэВ}/c^2$.

Четвертая глава посвящена изучению первичных сцинтилляций в чистом жидком аргоне в видимом и инфракрасном диапазоне без использования сместителя спектра. Приводится анализ формы сигнала, исследована зависимость световыхода от электрического поля, определена эффективность регистрации для разных фотодетекторов и источников ионизирующего излучения. В результате проведенных исследований показано, что световыход первичных сцинтилляций в жидком аргоне вне вакуумного ультрафиолета слишком низкий для регистрации частиц темной материи.

Пятая глава посвящена изучению первичных сцинтилляций в жидкой аргон-метановой смеси в видимом и инфракрасном диапазоне без использования сместителя спектра для использования в вето-детекторе нейтронов. Проведён анализ формы сигнала, определена величина световыхода для разных комбинаций фотодетекторов и источников ионизирующего излучения. Показано, что световыход первичных сцинтилляций в аргон-метановых смесях слишком низкий для использования в вето-детекторах нейтронов.

В заключении кратко сформулированы результаты, полученные в данной работе.

Научная новизна работы заключается в измерении световыхода в видимом и инфракрасном диапазоне первичных сцинтилляций в жидких аргон-метановых смесях и уточнении данных по электролюминесценции в видимом и инфракрасном диапазоне в чистом газообразном аргоне. Значимость полученных результатов заключается в том, что проведено систематическое исследование первичных сцинтилляций в жидких аргон-метановых смесях, и на основе полученных данных сделан вывод, что вето-детекторы нейтронов на основе жидкой аргон-метановой смеси не могут быть использованы на

практике из-за низкого световыхода первичных сцинтилляций в области вне вакуумного ультрафиолета. Также автором измерен светосбор двухфазного детектора на основе аргона со схемами оптического считывания электролюминесцентного сигнала без сместителя спектра. На основе полученных данных по светосбору детектора в видимой области спектра были оценены достижимые пороги регистрации. Полученные результаты показывают, что при использовании схем считывания электролюминесцентного сигнала без сместителя спектра не удастся добиться предельно низкого порога регистрации частиц темной материи, однако такие схемы могут найти применение в детекторах для регистрации редких событий с большим энерговыделением.

Достоверность полученных результатов. В диссертационной работе В.П.Олейникова приведено детальное описание схем проведенных экспериментов и процедур измерений исследуемых параметров, качественное обсуждение их результатов и детальное сравнение с аналогичными исследованиями, проведенными в других научно-исследовательских центрах. Полученные результаты согласуются с экспериментальными данными других авторов, апробированы на международных конференциях и опубликованы в рецензируемых научных журналах по релевантной тематике.

Личный вклад автора. Все основные результаты по теме исследования получены автором лично или при его непосредственном участии. Автор принимал участие в создании детектора, планировании, подготовке и проведении экспериментов, написании программного обеспечения для системы сбора данных, обработке и анализе экспериментальных данных с использованием собственных программ на языке C++ и программы ROOT CERN, проведении расчетов и моделирования в программе Geant4, подготовке публикаций. Вклад соискателя все опубликованные работы по тематике диссертации является определяющим.

Публикации и апробации. Основные результаты работы отражены в 5 научных статьях, опубликованных в ведущих российских и зарубежных научных журналах, и прошла апробацию на рабочих совещаниях коллаборации DarkSide, на научных семинарах в ИЯФ СО РАН и на 3 международных конференциях. Таким образом, можно сделать вывод о достоверности исследования и высокой степени обоснованности научных результатов и выводов, сформулированных в диссертации. Работа выстроена логично, ее структура и содержание отражают цели и задачи исследования. Диссертация представляется законченным научным трудом, отличающимся подробным описанием всех аспектов исследования.

Вместе с тем, в работе можно отметить и некоторые недостатки:

1. В диссертационной работе при описании детекторов преимущественно используется принятая на Западе терминология «двухфазные детекторы», хотя российскими разработчиками (включая также научного руководителя диссертанта Бузулуцкого Алексея Федоровича), которые ввели в мировую практику эту технологию, использовалась терминология «эмиссионные детекторы» или «двухфазные эмиссионные детекторы», о чем свидетельствует, в частности, монография, ссылка на которую [164] приведена в списке литературы диссертации.
2. При формулировке тематики исследования, а может быть, даже и в названии диссертации, было бы логично подчеркнуть, что речь идет об исследовании реальной

возможности создания нового поколения очень крупных (сотни тонн) эмиссионных детекторов на жидком аргоне.

3. В диссертационной работе делается сильный акцент на использовании двухфазных эмиссионных детекторов для поиска гипотетических частиц тёмной материи. Было бы полезно проанализировать, какие ещё задачи могут быть решены при использовании разработанной технологии при регистрации других частиц высоких энергий.

Приведенные замечания не снижают общей положительной оценки диссертационной работы. Автореферат в полной мере отражает содержание диссертации. При чтении материалов видно личное мнение и вклад автора. Тема и содержание диссертации соответствует паспорту специальности 1.3.2. Приборы и методы экспериментальной физики.

Заключение оппонента.

Диссертация Олейникова Владислава Петровича «Исследование электролюминесценции и первичных сцинтилляций в видимом диапазоне в детекторах на основе жидкого аргона» является завершённой научно-квалификационной работой, в которой совокупность полученных результатов следует квалифицировать как решение важных научных проблем, связанных с исследованием технологии регистрации электролюминесценции в газообразном аргоне и первичных сцинтилляций в жидких аргон-метановых смесях в видимом и инфракрасном диапазоне, что необходимо для разработки масштабных двухфазных эмиссионных детекторов на основе аргона.

Диссертационная работа В.П. Олейникова полностью соответствует требованиям и критериям, предъявляемым к диссертационным работам на соискание ученой степени кандидата наук, установленным «Положением о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. № 842, а ее автор Олейников Владислав Петрович заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.2. Приборы и методы экспериментальной физики.

Я, Болоздыня Александр Иванович, даю согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с защитой диссертации Олейникова Владислава Петровича, и их дальнейшую обработку.

Официальный оппонент:

Болоздыня Александр Иванович, доктор физико-математических наук
Специальность 01.04.01 – Приборы и методы экспериментальной физики

Адрес: 115409, г. Москва, Каширское шоссе, д. 31

Телефон: +7 (495) 788-56-99, доб. 9015

Адрес электронной почты: AIBolozdynya@mephi.ru

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

Заведующий научно-исследовательской межкафедральной лабораторией экспериментальной ядерной физики Института ядерной физики и технологий НИЯУ МИФИ

«05» февраля 2025 г.

Подпись А.И. Болоздыни заверяю:



А.И. Болоздыня
А.И. Болоздыня

Подпись удостоверяю
Заместитель начальника отдела
документационного обеспечения
НИЯУ МИФИ

В.М. Саморозов
В.М. Саморозов