

ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ
JOINT INSTITUTE FOR NUCLEAR RESEARCH

Дубна, Московская область, Россия 141980 Dubna Moscow Region Russia 141980
Telefax: (7-495) 632-78-80 Tel.: (7-49621) 65-059 AT: 205493 WOLNA RU E-mail: post@jinr.ru http://www.jinr.ru

13. 02. 2025

№ 002-04/173

на № _____ от _____

«УТВЕРЖДАЮ»

Директор Международной
межправительственной организации
Объединенного института ядерных
исследований

д.ф.-м.н., академик РАН



Г.В. Трубников

13 » февраля 2025 г.

ОТЗЫВ

ведущей организации на диссертацию
ОЛЕЙНИКОВА Владислава Петровича

«Исследование электролюминесценции и первичных сцинтилляций в видимом диапазоне в детекторах на основе жидкого аргона»,
представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.2. Приборы и методы экспериментальной физики 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

Актуальность темы диссертации

Детекторы, использующие сжиженный аргон, получили широкое распространение в физических экспериментах благодаря низкой стоимости аргона и его высокой сцинтилляционной эффективности. Особый интерес представляют двухфазные (жидкость-газ) детекторы, которые считаются одними из наиболее перспективных для поиска темной материи. Они могут быть масштабированы до больших объемов аргона (десятки и сотни тонн) и обладают низким энергетическим порогом (~кэВ). Однако значительная часть излучения в аргоне приходится на вакуумный ультрафиолетовый (ВУФ) диапазон, который сложно регистрировать напрямую без применения сместителей спектра, которые подвержены эффектам старения и могут отслаиваться от поверхностей при температуре жидкого аргона. Прямая регистрация ВУФ возможна, но из-за малой длины поглощения и сильного рассеяния ВУФ-излучения возникают сложности при создании детекторов большого объема. В диссертации В.П. Олейникова рассматривается возможность работы детекторов на основе аргона без использования сместителей спектра при помощи регистрации света в видимом и

инфракрасном диапазоне, делаются выводы о возможности практического применения детекторов с такой технологией.

Научная новизна, обоснованность и достоверность научных положений, сформулированных в диссертации

В диссертационной работе В.П. Олейникова получен ряд новых результатов, вносящих вклад в разработку однофазных и двухфазных детекторов на основе аргона. Разработан и изготовлен детектор на основе аргона, регистрирующий световые сигналы в видимом и инфракрасном диапазонах без использования сместителей спектра. Впервые продемонстрирована успешная работа двухфазного детектора на основе аргона со считыванием электролюминесцентного сигнала, вызванного тормозным излучением электронов на нейтральных атомах. Получены оценки энергетических порогов для двухфазных детекторов на основе аргона без использования сместителей спектра.

Впервые продемонстрирована успешная работа двухфазного детектора на основе аргона со считыванием электролюминесцентного сигнала, вызванного тормозным излучением электронов на нейтральных атомах. Получены оценки энергетических порогов для двухфазных детекторов на основе аргона, работающих без сместителей спектра.

Впервые систематически изучены первичные сцинтилляции и измерен абсолютный световыход первичных сцинтилляций в видимом диапазоне в жидком аргоне и его смесях с метаном. Проведен анализ временной структуры сигнала и зависимости световыхода первичных сцинтилляций от электрического поля. Полученные данные указывают на то, что излучение в видимом диапазоне обусловлено механизмом, отличным от эксимерного. Впервые показано, что добавление метана в аргон приводит к значительному снижению световыхода первичных сцинтилляций. Однако при высоком содержании метана (>1%) наблюдается тенденция к переходу световыхода на плато.

Положения, выносимые на защиту, сформулированы четко и хорошо согласуются с основными результатами работы, изложенными в диссертации. Их достоверность подтверждается авторством В.П. Олейникова в пяти публикациях и представлением результатов на научных семинарах и международных конференциях.

Практическая ценность результатов

Практическая значимость данной работы заключается, во-первых, в демонстрации возможности работы двухфазного детектора на основе аргона без использования сместителей спектра, и, во-вторых, в измерении световыхода электролюминесценции в чистом газообразном аргоне, а также в систематическом изучении свойств первичных сцинтилляций в чистом жидком аргоне и его смесях с метаном.

Результаты диссертационной работы могут быть применены при разработке детекторов для регистрации редких событий с большим энерговыделением, таких как детекторы гамма-квантов, нейтрино и антинейтрино. Использование двухфазных детекторов на основе аргона без сместителей спектра для регистрации слабо взаимодействующих массивных частиц (WIMP) возможно, однако оно затруднено из-за более высокого энергетического порога по сравнению с классическими двухфазными детекторами.

Содержание диссертации и замечания по диссертационной работе

Диссертация В.П. Олейникова состоит из введения, пяти глав и заключения. Полный объем работы составляет 132 страницы, включая 53 рисунка и 7 таблиц. Список литературы содержит 180 наименований.

Во введении обосновывается актуальность диссертационной работы, формулируются цели и задачи исследования, раскрывается его научная новизна и практическая значимость. Также представлены положения, выносимые на защиту.

В первой главе приводятся косвенные доказательства существования темной материи, описываются принципы её регистрации и современные достижения в этой области. Показано, что двухфазные детекторы на основе аргона являются одними из наиболее перспективных инструментов для поиска темной материи. Рассматривается принцип работы классического двухфазного детектора на основе аргона, а также обсуждаются возможные варианты реализации детекторов без использования смесителей спектра.

Вторая глава посвящена описанию экспериментальной установки. Приводится детальное описание каждой из подсистем детектора: криостата, источников ионизирующего излучения, криогенно-вакуумной системы, системы питания и сбора данных.

В третьей главе измеряется световой выход электролюминесценции вне диапазона вакуумного ультрафиолетового света для двух различных механизмов излучения: тормозного излучения электронов на нейтральных атомах и атомарной электролюминесценции. С использованием алгоритма центра тяжести вычисляется координатное разрешение двухфазного детектора для двух режимов работы, соответствующих разным механизмам излучения. Полученные значения световых выходов и координатного разрешения используются для оценки энергетического порога регистрации в случае оптимизированного детектора.

Четвертая глава посвящена изучению первичных сцинтилляций в видимом диапазоне в чистом жидком аргоне. Проведен анализ временных характеристик сигнала, измерена зависимость световых выходов от электрического поля, а также определен абсолютный световой выход первичных сцинтилляций. Результаты сравниваются с данными, найденными в литературе.

Пятая глава посвящена исследованию первичных сцинтилляций в видимом диапазоне в жидком аргоне с примесью метана в концентрациях от 140 ppm до 10%. Проведен анализ временных характеристик сигнала и измерен абсолютный световой выход первичных сцинтилляций.

В заключении подводятся итоги диссертационной работы, формулируются основные результаты и их значимость для дальнейших исследований.

К диссертационной работе имеется ряд вопросов и замечаний:

1. В тексте наблюдается некоторая неопределенность в терминологии, в частности, смешиваются понятия *светосбор* и *световой выход*. Например, в некоторых местах световой выход выражается в единицах фотоэлектронов, тогда как эта величина относится к светосбору.
2. В ряде случаев отсутствуют погрешности измерений и/или параметры аппроксимаций. Это касается, в частности, рис. 2.13, табл. 3, рис. 3.4, рис. 3.5, рис. 3.10, рис. 3.12, рис. 3.13, рис. 3.14, рис. 4.4 и других.
3. На стр. 86 утверждается, что более точную оценку нельзя было получить из-за большого времени формирования усилителя. Однако в случае рентгеновской трубки использовался метод задержанных совпадений, который позволяет измерять формы световых импульсов с существенно более высокой точностью, чем время формирования усилителя.
4. На стр. 54 говорится, что на КФЭУ использовалось напряжение 46 В, так как «при увеличении напряжения значительно возрастает вероятность перекрестных оптических наводок с одной ячейки КФЭУ на другую, что затрудняет вычисление корректного

значения числа фотоэлектронов». Однако это утверждение вызывает вопросы, поскольку корректное число фотоэлектронов можно определить по отклонению от статистики Пуассона на калибровочных спектрах при малой интенсивности света.

5. В тексте имеются стилистические недочеты и опечатки. Например, на стр. 84 (рис. 4.1) встречается слово «платины», хотя, вероятно, имелись в виду «пластины». Также, в некоторых местах отсутствуют обозначения, например, V , V_{\min} , V_{\max} в формуле 1.1. Кроме того, структура изложения затрудняет восприятие информации, так как некоторые важные данные находятся в разных разделах. Например, на стр. 41 упоминается сборка из четырех ФЭУ, но сведения о типе ФЭУ, их размере и характеристиках приводятся лишь на стр. 50, что затрудняет восприятие материала.

Тем не менее, сделанные в отзыве замечания не имеют принципиального значения для положительной оценки диссертации В.П. Олейникова.

Заключение Научно-методического семинара Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ

1. Диссертация В. П. Олейникова представляет собой законченный научно-квалификационный труд, посвященный актуальному направлению — исследованию электролюминесценции в газообразном аргоне и первичных сцинтилляций в жидких аргон-метановых смесях в видимом и инфракрасном диапазонах. В работе решена важная научная задача — измерен световой выход электролюминесценции и первичных сцинтилляций в указанных диапазонах. Полученные результаты могут быть использованы при разработке двухфазных детекторов на основе аргона для регистрации редких событий с большим энерговыделением (десятки МэВ и выше). Однофазные детекторы на основе аргон-метановой смеси, в свою очередь, могут найти применение в адронных калориметрах при больших энерговыделениях (сотни МэВ и выше).
2. Содержание диссертации В. П. Олейникова «Исследование электролюминесценции и первичных сцинтилляций в видимом диапазоне в детекторах на основе жидкого аргона» соответствует паспорту научной специальности 1.3.2 — Приборы и методы экспериментальной физики.
3. Автореферат оформлен в соответствии с требованиями ВАК и полностью отражает содержание диссертации.
4. Основные результаты работы опубликованы в высокорейтинговых научных журналах, включая издания из Перечня ВАК, а также неоднократно докладывались на международных конференциях.
5. Диссертация В. П. Олейникова «Исследование электролюминесценции и первичных сцинтилляций в видимом диапазоне в детекторах на основе жидкого аргона» соответствует требованиям и критериям, предъявляемым к диссертационным работам на соискание ученой степени кандидата наук. Она полностью соответствует Положению о присуждении ученых степеней, утвержденному постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. № 842. На основании вышеизложенного Олейников Владислав Петрович заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.2 Приборы и методы экспериментальной физики.

Материалы диссертации В. П. Олейникова, а также отзыв на нее были рассмотрены и одобрены на Научно-методическом семинаре Лаборатории ядерных проблем Международной межправительственной организации Объединенный институт ядерных исследований 6 февраля 2025 г.

Отзыв составил:

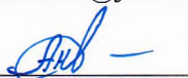
Руководитель Научно-методических семинаров Лаборатории Ядерных Проблем ОИЯИ, начальник Сектора методических исследований Научно-экспериментального отдела физики элементарных частиц Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ, кандидат физико-математических наук, специальность 01.04.01 – Приборы и методы экспериментальной физики

Анфимов Николай Владимирович

Тел.: +7 (496) 2164126

E-mail: anphimov@jinr.ru

Подпись



Дата 11.02.2025

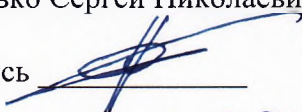
Подпись Н.В. Анфимова заверяю:

Главный ученый секретарь ОИЯИ,

кандидат физико-математических наук

Неделько Сергей Николаевич

Подпись



Дата 11.02.2025

Международная межправительственная организация
Объединенный институт ядерных исследований (ОИЯИ)

Почтовый адрес:

141980, Московская область, г. Дубна, ул. Жолио-Кюри, д.6

Тел.: +7 (496) 216-50-59, факс: +7 (496) 216-51-46

E-mail: post@jinr.ru

Сайт организации: <https://www.jinr.ru/>