

## ОТЗЫВ

на диссертацию

Александрова Ивана Сергеевича

официального оппонента по теме «Разработка сверхчувствительного метода регистрации ионизации в детекторах на основе благородных газов», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.01 – приборы и методы экспериментальной физики

Диссертация Александрова И.С. посвящена разработке нового метода измерения ионизации в детекторах, в которых используются инертные газы в жидком и газообразном состоянии, а также созданию физического прототипа, на котором была осуществлена экспериментальная проверка предложенного метода.

**Актуальность темы диссертации для науки и практики.** Тема диссертации является актуальной в связи с развитием экспериментов по поиску слабоионизирующих частиц Темной Материи (WIMP), а также с изучением когерентного рассеяния нейтрино на атомном ядре, которое предсказывается Стандартной моделью электрослабого взаимодействия. Особенность этих экспериментов заключается в том, что в них приходится регистрировать слабую ионизацию от ядер отдачи, кинетическая энергия которых не превышает 1 кэВ, что само по себе является сложной экспериментальной задачей.

Исследования указанных физических процессов невозможно без разработки новых методов регистрации заряда и создания высокочувствительных ионизационных детекторов, что в свою очередь является дальнейшим развитием приборной базы и экспериментальных методов ядерной физики.

Диссертация состоит из введения, четырех глав и заключения.

**Во введении** дано обоснование актуальности темы диссертации, сформулирована цель работы, определена научная новизна полученных в работе результатов, сформулированы положения, выносимые на защиту, приведена краткая аннотация диссертационной работы.

**В первой главе** детально рассмотрены свойства ксенона как рабочего вещества двухфазного детектора, который используется в детекторах для обнаружения кандидатов на роль частиц Темной Материи (WIMP), а также для обнаружения процессов когерентного рассеяния нейтрино на ядрах.

Отмечено, что жидкий ксенон в отличие от других детектирующих веществ обладает высоким сцинтилляционным и ионизационным выходом, а среди благородных газов он имеет наименьшую длину поглощения проникающего излучения.

Подробно рассмотрены процессы сцинтилляции и ионизации в жидких инертных газах. Отмечено, что принципиальное значение для эффективного протекания этих процессов имеет минимизация концентрации электроотрицательных примесей в рабочем веществе детектора, что достигается различными методами очистки жидких газов.

При рассмотрении процессов электролюминесценции в газообразном ксеноне было показано, что выход фотонов можно значительно увеличить, если использовать в детекторах

дополнительное газовое усиление. Именно этот эффект был успешно использован диссертантом при создании прототипа двухфазного ксенонового детектора.

**Вторая глава** посвящена анализу существующих и разрабатываемых детекторов на основе жидких инертных газов. Отмечено, что использование стандартных фотоумножителей (ФЭУ) внутри ксенонового детектора существенно увеличивает общий радиационный фон, что является принципиальной проблемой при проведении таких сложных экспериментов. Для уменьшения этого эффекта диссертантом предложено заменить в ксеноновом двухфазном детекторе ФЭУ многопиксельными гейгеровскими лавинными фотодиодами (МГЛФД), в которых практически не содержатся естественные радионуклиды и тем самым их использование не приводит к увеличению уровня естественного радиационного фона внутри детектора. Следует отметить, что для жидкого ксенона данная схема предложена и испытана впервые.

Другой важной особенностью создаваемого двухфазного ксенонового детектора является использование в нем толстого газового электронного умножителя (ТГЭУ), с помощью которого обеспечивается возможность даже при не больших значения коэффициента газового усиления получить большой световыход в газовой фазе детектора. ТГЭУ представляет собой диэлектрическую пластину со сквозными отверстиями, представляющую гексагональную матрицу, покрытую с обеих сторон металлической фольгой.

Автором показано, что такая модернизация двухфазного ксенонового детектора существенно улучшит его характеристики, что позволит значительно продвинуться в решении задач данного эксперимента.

**Третья глава** посвящена исследованию эффективности регистрации ультрафиолета (с длиной волны 175 нм) с помощью МГЛФД. Для решения этой задачи была создана экспериментальная камера, в которой использовался специальный спектросмеситель, с помощью которого осуществляется переизлучение ультрафиолета в чувствительную область МГЛФД. Кроме того, автору диссертации потребовалось разработать специальную конструкцию данной системы для отделения МГЛФД+ волновой смеситель спектра от газовой фазы ксенона, чтобы избежать загрязнение ксенона электроотрицательными примесями, выделяемыми органической пленкой спектросмесителя..

Важным аспектом данной работы является использование сложной газовой системы и криостата для проведения данных экспериментальных исследований. С помощью этой системы проведена высокая очистка технического ксенона, вакуумная подготовка прототипа детектора, осуществлено наполнение его жидким ксеноном и обеспечены необходимые условия по давлению и температуре ксенона во время измерений. Разработка, создание и эксплуатация такой системы является сложной технической задачей, с которой диссертант справился вполне успешно.

Для определения эффективности детектирующей системы МГЛФД+волновой смеситель была разработана специальная методика измерений и создана экспериментальная установка, в которой для ионизации ксенона использовался радиоактивный  $\alpha$ -источник  $^{141}\text{Am}$ .

В результате экспериментов был получен важный результат: эффективность регистрации ультрафиолетовых фотонов системой МГЛДФ + спектросмеситель оказалась на уровне 10% независимо от геометрии светосбора и метода герметизации спектросмесителя, что сопоставимо с результатами, полученными для ФЭУ, чувствительного в синем диапазоне со спектросмесителем для сцинтилляции. Таким образом, экспериментально было показано, что при создании двухфазовых ксеноновых детекторов можно заменить стандартные ФЭУ на МГЛДФ, которые быстро совершенствуются в настоящее время и вероятно скоро найдут широкое применение в экспериментальной физике.

**В главе четыре** представлено описание установки с регистрирующей системой ТГЭУ + спектросмеситель + матрица МГЛПД, которая была создана на основе ранее построенного прототипа детектора Темной Материи ZEPLIN III. Эксперименты, выполненные на этой установке, позволили получить замечательные результаты. Прежде всего, следует отметить, что впервые в мировой практике продемонстрирована работоспособность многоканальной системы лавинных гейгеровских фотодиодов в криогенном детекторе.

По результатам сравнения восстановленных экспериментальных координат от одних и тех же событий, зарегистрированных созданной системой и матрицей ФЭУ, расположенных в нижней части детектора, а также данных, полученных моделированием методом Монте Карло, было установлено, что координатное разрешение созданной системы составляет ~ 1 мм. Таким образом, разработанная методика построения двухфазных детекторов на основе благородных газов позволяет создавать позиционно чувствительные детекторы с хорошим координатным разрешением.

Полученные результаты в диссертационной работе в полной мере характеризуют высокую степень ее научной новизны. Практическая значимость диссертации в том, что разработанные и созданные Александровым И.С. прототипы приборов, методики и полученные результаты могут быть широко использованы в научно-прикладных исследованиях.

Результаты данной диссертации являются новыми, существенно дополняющими полученные ранее достижения в этой области. Они вносят существенный вклад в развитие приборов и методов экспериментальной ядерной физики. Все результаты достаточно полно представлены в научных публикациях.

В работе имеются следующие недостатки.

1. В диссертации не приведено сравнение дополнительного радиационного фона внутри двухфазного детектора, создаваемого матрицей из набора стандартных ФЭУ или матрицей из нескольких МГЛДФ.

2. При определении общей эффективности регистрации вакуумного ультрафиолета системой ТГЭУ + спектросмеситель + матрица МГЛДФ было приведено очень расплывчатое ее значение ~ 10%. Хотелось бы видеть более точное выражение для эффективности регистрации с указанием ошибки измерений.

Указанные недостатки не снижают, научную и практическую значимость работы.

В целом диссертационная работа Александра И.С. по объему выполненных исследований, актуальности, новизне, практической значимости и достоверности полученных результатов свидетельствует о высокой квалификации соискателя и удовлетворяет всем требованиям «Положения о порядке присуждения ученых степеней», предъявляемым ВАК к кандидатским диссертациям по специальности 01.04.01 – приборы и методы экспериментальной физики.

Автореферат в полной мере отражает содержание диссертации.

Считаю, что автор диссертации «Разработка сверхчувствительного метода регистрации ионизации в детекторах на основе благородных газов» Александр Иван Сергеевич заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.01 - приборы и методы экспериментальной физики.

Доктор физ.-мат. наук  
профессор кафедры  
“Экспериментальная ядерная физика  
и космофизика” НИЯУ МИФИ



Улин С.Е.

“30” мая 2014 г

Почтовый адрес  
115409 Москва, Каширское шоссе, 31  
тел. 8(499)324-65-89, email: seulin@gmail.com

Подпись доктора физ.-мат. наук,  
Профессора Улина С.Е. заверяю

Председатель Совета по аттестации  
и подготовке научно-педагогических  
кадров, д.ф.-м.н., профессор



Кудряшов Н.А.

Подпись удостоверяю  
Заместитель начальника отдела  
документационного обеспечения  
НИЯУ МИФИ

