

ОТЗЫВ

официального оппонента доктора физико-математических наук
Ляшука Владимира Ивановича на диссертационную работу
Хромова Александра Владимировича
«Двухфазный эмиссионный детектор РЭД-100 для исследования упругого
когерентного рассеяния нейтрино на ядрах ксенона», представленную на соискание
учёной степени кандидата физико-математических наук
по специальности 01.04.01 - Приборы и методы экспериментальной физики.

Диссертационная работа посвящена актуальной задаче - разработке прибора для изучения важного фундаментального физического процесса - упругого когерентного рассеяния нейтрино на ядрах. После первого наблюдения данного процесса на трех типах нейтрино на ускорительном комплексе Spallation Neutron Source (Окриджская национальная лаборатория, США) потребовалось более подробное его изучение, прежде всего на источнике электронных антинейтрино относительно низких энергий от ядерного реактора. Данная актуальная задача может быть решена при помощи созданного двухфазного эмиссионного детектора РЭД-100 – уникальной установки, содержащего 200 кг жидкого ксенона в качестве рабочей среды. Функционирование детектора РЭД-100 обеспечивается несколькими вспомогательными системами, объединенными в единую установку. В детекторе реализованы несколько оригинальных элементов, позволяющих эксплуатировать детектор при высоком уровне фона от космических мюонов, что делает РЭД-100 единственной установкой такого класса, способной работать на поверхности Земли.

Диссертация состоит из введения, 6 глав, заключения и списка литературы.

В первой главе представлены принцип работы и конструкция детектора РЭД-100. Описаны устройство дрейфового объема детектора, системы высоковольтного питания, вакуумного криостата. Подробно показана методика подавления одноэлектронного шума от накопленных под поверхностью раздела фаз неэмитировавших электронов ионизации, образованных от взаимодействия высокоэнергичных космических мюонов с жидким ксеноном. Методика реализована при помощи электронного затвора, представляющего собой две электрически изолированные сетки, на одну из которых подается импульс напряжения величиной несколько сотен вольт, запирающий дрейф электронов ионизации к границе жидкость – газ. Экспериментально показана 100 % эффективность запирающих электронов ионизации от космических мюонов. Предложенный электронный затвор является оригинальным устройством, на которое получен патент.

Вторая глава посвящена регистрирующей системе детектора с акцентом на исследование и обеспечение эффективной работы фотоэлектронных умножителей Hamamatsu R11410-20. Разработаны высокоомные делители напряжения ФЭУ. Получены зависимости коэффициента усиления ФЭУ от напряжения питания, измерены шумовые характеристики. На основе полученных результатов оптимизировано расположение фотоэлектронных умножителей внутри детектора. Расчетами продемонстрирована необходимость применения специальных мер для предотвращения эффекта старения

фотокатода ФЭУ при больших нагрузках от космических мюонов. Разработана эффективная система питания, позволяющая блокировать работу всех ФЭУ на время интенсивных электролюминесцентных световых вспышек от фоновых событий.

Третья глава посвящена криогенной системе, с помощью которой производится стабилизация детектора при температуре жидкого ксенона. Выполненная на основе четырех замкнутых трубчатых термосифонов система в течение нескольких суток позволяет охладить детектор и сконденсировать 200 кг ксенона. Приведены параметры и режимы работы системы, описан разработанный принцип автоматизированной термостабилизации путем варьирования количества азота в трубке.

В четвертой главе детально обсуждаются результаты очистки большой массы ксенона (200 кг) от электроотрицательных и молекулярных примесей электроискровым методом и циркуляцией через горячий металлический геттер. Очистка сильно загрязненного изотопически модифицированного ксенона в установке «Мойдодыр» доведена до времени жизни электронов ~ 100 мкс. Последующая очистка жидкости в детекторе с помощью циркуляции за время порядка месяца работы позволила получить время жизни электронов > 2 мс.

В пятой главе приведены характеристики детектора РЭД-100, полученные в экспериментальных сеансах в лаборатории. Достигнутая величина удельного светового выхода, равная 25 ± 1 ф.э./электрон, позволила продемонстрировать возможность выделения одиночных электронов ионизации, ожидаемых от упругого когерентного рассеяния реакторных антинейтрино. С помощью калибровок внешними источниками гамма-квантов была получена энергетическая шкала детектора. Получено пространственное распределение одноэлектронных событий и гамма-квантов в горизонтальной плоскости.

В шестой главе представлен планируемый эксперимент по исследованию упругого когерентного рассеяния электронных антинейтрино от ядерного реактора на Калининской Атомной Электростанции. Проведено компьютерное моделирование, демонстрирующее принципиальную возможность постановки эксперимента в помещении, находящемся на расстоянии 19 м от активной зоны ядерного реактора с тепловой мощностью 3 ГВт. Расчетами продемонстрировано, что может быть обеспечен высокий темп счета и зарегистрировано 1700 событий в сутки от упругого когерентного рассеяния реакторных антинейтрино при величине фона на уровне сигнала.

В заключении перечислены основные результаты работы.

Основные результаты диссертации изложены в 9 печатных работах, рекомендованных ВАК. Получено 2 патента на полезную модель.

Автореферат полностью соответствует тексту диссертации.

Укажем некоторые замечания.

В диссертации детально обсуждаются свойства ФЭУ Hamamatsu R11410-20. Однако, изложение было бы более полным и цельным при включении в текст сравнительного

анализа с другими моделями ФЭУ и изложением критериев отбора. Целесообразно было бы указать, что сделанный выбор практически исключает влияние магнитного поля Земли.

Компьютерное моделирование, демонстрирующее принципиальную возможность регистрации упругого когерентного рассеяния нейтрино на ядрах с помощью РЭД-100 на Калининской АЭС целесообразно (ввиду важности предложения) в дальнейшем подробно изложить в отдельной публикации.

В диссертации встречаются огрехи в терминологии (например, на стр. 47: "Ожидаемый размер сигналов в основных режимах работы..."; на стр. 48: "'В режиме максимальной чувствительности модуль обеспечивает шаг бинирования 0,03 мВ и 2 нс") .

Есть примеры неудачной стилистики (например, на стр. 60: "Одним из популярных методов удаления нежелательных примесей из ксенона..."; на стр. 69: "Таким образом, была осуществлена очистка массивного образца сильнозагрязненного ксенона").

При оформлении рисунков подписи в ряде случаев продолжают на следующей странице (например: рис.3.4, 4.1, 4.2, 4.4, 4.8).

Однако, вышеуказанные недостатки ни в коей мере не снижают высокого качества работы, представленной к защите.

Диссертация Хромова А.В. выполнена на высоком научно-техническом уровне, полностью удовлетворяет всем требованиям, предъявляемым к диссертационным работам на соискание ученой степени кандидата наук по п.9 Положения о порядке присуждения учёных степеней, а её автор достоин присуждения ему ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.01 – приборы и методы экспериментальной физики.

Официальный оппонент:

старший научный сотрудник
лаборатории гамма-астрономии
и реакторных нейтрино ИЯИ РАН,
г. Москва
доктор физ.-мат. наук

Ляшук В. И.
Владимир Иванович

117312, Москва, В-312, проспект 60-летия Октября, 7а
ФГБУН Институт ядерных исследований РАН
8(499)135-40-56 lyashuk@itep.ru

Подпись Ляшука В.И. заверяю:

Зам. Директора ИЯИ РАН

д.ф.-м.н., профессор РАН



Либанов М.В.

22.11.19.