

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертацию

Георгия Александровича Лукьянченко

"Экспериментальный комплекс на базе быстрых оцифровщиков формы импульса в составе детектора Борексино для регистрации нейтринного излучения от астрофизических источников",

представленную на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук

по специальности 01.04.16 «Физика атомного ядра и элементарных частиц»

Работа выполнена в рамках международного эксперимента BOREXINO, основной целью которого является, прежде всего, изучение нейтрино с энергией менее 1 МэВ, рождаемых в ядерных реакциях в центре Солнца. Для успешной реализации такого проекта по регистрации нейтрино огромное значение имеет уменьшение естественной радиоактивности. Именно поэтому местом проведения измерений была выбрана крупнейшая в мире низкофоновая подземная Лаборатории Гран Сассо и, кроме того, значительные усилия участников коллаборации были направлены на подбор радиационно-чистых материалов для сооружения детектора и разработку новых технологий очистки жидкостей и газов от естественных радиоактивных примесей, которые могут имитировать нейтринные взаимодействия. Результаты, полученные в ходе реализации проекта BOREXINO – выдающийся успех мировой физики. Созданный коллаборацией высокочувствительный детектор, в котором используются конструкционные материалы и сцинтилляторы с беспрецедентно высокой степенью радиохимической чистоты, пригоден также для многоцелевых исследований в области физики нейтрино, астро- и геонейтринной физики.

Спектр решаемых с помощью детектора BOREXINO задач в настоящее время реально расширен благодаря созданию при непосредственном участии автора диссертации современного эффективного экспериментального комплекса на базе быстрых оцифровщиков формы импульса для регистрации нейтринного излучения.

Диссертационная работа имеет традиционную структуру, содержит введение, четыре главы и заключение, а также список литературы в количестве 91 публикаций.

Во введении дано обоснование актуальности, сформулирована цель и задачи работы, показана научная новизна, а также приведены положения, выносимые на защиту. Созданный при непосредственном участии автора современный уникальный высокотехнологичный экспериментальный комплекс для регистрации нейтринного излучения от астрофизических источников, соединил имеющиеся достоинства детектора BOREXINO - низкий энергетический порог, и быстродействие современных методов сбора данных, способных обеспечивать спектрометрию нейтринных событий в энергетическом диапазоне $1 \div 100$ МэВ без мёртвого времени.

В первой главе приводится описание эксперимента BOREXINO: устройство детектора, основные физические задачи и полученные результаты. Несколько наивно звучит фраза (стр. 21) «Жидкие органические сцинтилляторы состоят из углеводов, то есть мишень подобной установки состоит из электронов, протонов и ядер углерода». Куда делся водород? Почему отдельно перечисляются электроны и протоны?

Примерно половину объема первой главы занимает описание структуры электроники детектора BOREXINO, что абсолютно оправданно, поскольку именно модернизацией этой части детектора занимался автор диссертации.

Вторая глава посвящена описанию разработанного при непосредственном участии автора Курчатовского электронно-

измерительного комплекса (КЭИК) в составе детектора BOREXINO. BOREXINO – один из лучших и успешных экспериментов, реализуемых международной колаборацией. Детектор BOREXINO был первоначально спроектирован для спектрометрии субмэвных солнечных нейтрино. То, что основная электроника детектора не очень эффективна для регистрации нейтрино от астрофизических источников автору не стоило отмечать как недостаток эксперимента, проект был изначально задуман для других целей. Более корректным было бы говорить об авторской оптимизации и модернизации электроники в связи с более полным пониманием возможностей проекта и возникновением новых физических задач.

Созданный при непосредственном участии автора Курчатовский электронно-измерительный комплекс построен на основе быстрых аналого-цифровых преобразователей и цифровой триггерной подсистемы. Во второй главе подробно описываются компоненты системы и особенности её реализации, а также приводится сравнение с низкоэнергетической системой LABEN, используемой в BOREXINO, с целью модернизации которой был разработан данный комплекс. Основными достоинствами системы КЭИК являются широкий энергетический диапазон регистрации событий (от 1 до ~ 100 МэВ); гибкая логика выработки главного триггера регистрации; отсутствие мёртвого времени между событиями; независимость системы от низкоэнергетического комплекса сбора данных BOREXINO. Некоторым недостатком является то, что приведенные в тексте диссертации иллюстрации работы КЭИК не всегда анализируются. Например, на рисунке 2.6 представлены оцифрованные АЦП события – аналоговые и цифровые суммы. Полностью отсутствует даже минимальный комментарий к этому рисунку.

В третьей главе представлены разработанные автором программные алгоритмы анализа данных КЭИК. Стоит отметить свободное владение автором современными методами программирования. Для классификации

событий автор использует три обучаемых алгоритма: искусственная нейронная сеть типа многослойный перцептрон, метод опорных векторов и дерево принятия решений с бустингом. Все алгоритмы были предварительно натренированы автором на выверенной выборке событий значительного объёма (порядка десятка тысяч событий каждого класса) для классификации отдельно взятого кластера внутри окна АЦП, вызванного треком мюона, или сцинтилляцией, либо шумовым сигналом.

Четвёртая глава посвящена изложению результатов изучения параметров космогенного фона в BOREXINO с помощью КЭИК. Практически половина главы посвящена описанию процессов взаимодействия мюонов с веществом сцинтиллятора в подземных детекторах и обзору данных по космогенным фонам, полученных в экспериментах KamLAND и LVD. Стилистически более правильным был бы перенос этой части главы во введение. В названии п.4.5.1 (« ^{12}B , ^{12}N ») очень хочется добавить хотя бы слово «Изотопы ^{12}B , ^{12}N ». Далее приводятся результаты исследования с помощью КЭИК скорости наработки ядер ^{12}B , ^{12}N , ^8He , ^9Li , поскольку в реакциях мюонного скалывания помимо нейтронов образуются радиоактивные ядра. Полученные значения удельных выходов находятся в согласии с данными других экспериментов, что говорит о надёжности измерений, проводимых с помощью созданной системы. Такая информация о космогенных фонах в детекторе позволит выделить нейтринный сигнал из общего потока данных при регистрации CNO-нейтрино, измерении потока гео-нейтрино и других низкостатистических и чувствительных к уровню фона задачам.

Практическая значимость выполненной работы связана с тем, что архитектура комплекса и программные алгоритмы, разработанные в настоящей работе, могут быть использованы при построении систем сбора данных будущих нейтринных детекторов и детекторов тёмной материи.

Работа выполнена на очень хорошем уровне, но, тем не менее, не

свободна от некоторых недостатков, в частности:

1. На мой взгляд, диссертация несколько перегружена техническими подробностями созданного комплекса в ущерб изложению физических результатов. Действительно, 2 и 3 главы, содержащие описание экспериментального комплекса на базе быстрых оцифровщиков формы импульса и разработку методов анализа данных, составляют по объему большую часть диссертации (примерно 34 %). Описанию полученных физических результатов (п.3 и 4, выносимые на защиту) стоило уделить больше внимания.

2. Странной выглядит фраза автора «осцилляции нейтрино в ... распад электрона» (стр.3 автореферата). Осцилляциями называется превращение нейтрино одного сорта в нейтрино другого сорта, или антинейтрино. Согласно современным представлениям физики элементарных частиц, электрон стабилен (более точно, в пределах чувствительности эксперимента его время жизни не менее $6,6 \cdot 10^{28}$ лет), неделим и бесструктурен (как минимум до расстояний 10^{-20} см). Распад электрона на фотоны и нейтрино нарушил бы закон сохранения электрического заряда.

3. В тексте присутствует не всегда оправданный англоязычный жаргон, например, «Нейтрино всех флейворов», «Разработка методов оффлайн анализа данных»

В целом диссертация выполнена на высоком уровне. Автор является высококвалифицированным физиком-экспериментатором, при этом хорошо понимающим теорию изучаемых явлений, владеет самыми современными средствами программирования, свободно ориентируется в аппаратных возможностях электроники. Поэтому указанные замечания носят рекомендательный характер и не влияют на оценку основных результатов диссертации.

Диссертация может быть квалифицирована как законченная работа. Г.А. Лукьянченко успешно решены все поставленные задачи, а результаты

работы изложены в публикациях в рецензируемых журналах из списка ВАК и апробированы на целом ряде конференций.

Диссертационная работа отвечает требованиям Положения о присуждении учёных степеней ВАК РФ, а её автор, Г.А.Лукьянченко, заслуживает присуждения учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.16 – Физика элементарных частиц».

Доктор физико-математических наук, заведующая лабораторией в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Физическом институте им. П.Н.Лебедева Российской академии наук

Наталья Геннадьевна Полухина

12 мая 2017 г.

119991 ГСП-1 Москва, Ленинский проспект, д.53, ФИАН

+7-499-132-61-04

poluhina@sci.lebedev.ru

Подпись Н.Г. Полухиной заверяю,
заместитель директора ФИАН, д.ф.-м.н. С.Ю.Савинов

