

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА Д 720.001.03

на базе лаборатории ядерных проблем им. В.П. Джелепова
Объединенного института ядерных исследований
по диссертации Дмитриевского Сергея Геннадьевича
на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук.

Диссертация «Поиск нейтринных взаимодействий и исследование свойств нейтрино с помощью электронных детекторов в эксперименте OPERA» в виде рукописи по специальности 01.04.16 – «Физика атомного ядра и элементарных частиц» выполнена в Объединенном институте ядерных исследований, в Лаборатории ядерных проблем им. В.П. Джелепова.

Диссертация принята к защите 24.06.2015, протокол №531, диссертационным советом Д 720.001.03 на базе Лаборатории ядерных проблем им. В.П. Джелепова Объединенного института ядерных исследований, (приказ о создании диссертационного совета № 105/нк от 11.04.2012).

Соискатель Дмитриевский Сергей Геннадьевич, гражданин РФ, научный сотрудник Лаборатории ядерных проблем (ЛЯП) им. В.П. Джелепова Объединенного института ядерных исследований (ОИЯИ).

В 2002 году соискатель окончил физический факультет Ивановского государственного университета по специальности «Физика». Окончил аспирантуру Учебно-научного центра ОИЯИ. Удостоверение №14-2014 о сдаче кандидатских экзаменов по специальности 01.04.16 – «Физика атомного ядра и элементарных частиц» выдано в 2014 г. в ОИЯИ.

Научный руководитель: Горнушкин Юрий Алексеевич, Объединенный институт ядерных исследований, Лаборатория ядерных проблем им. В.П. Джелепова, начальник сектора №3.

Официальные оппоненты:

Дербин Александр Владимирович, доктор физ.-мат. наук, старший научный сотрудник, Национальный исследовательский центр «Курчатовский институт» Федерального государственного бюджетного учреждения Петербургский институт ядерной физики им. Б.П. Константинова, ведущий научный сотрудник, заведующий Отделом полупроводниковых ядерных детекторов,

Прокудин Михаил Сергеевич, кандидат физ.-мат. наук, Национальный исследовательский центр «Курчатовский институт» Федерального государственного бю-

джетного учреждения “Государственный Научный Центр Российской Федерации Институт теоретической и экспериментальной физики”, Лаборатория 032, старший научный сотрудник,

дали положительные отзывы о диссертации.

Ведущая организация Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Физический институт им. П.Н. Лебедева Российской академии наук, г.Москва, в своем положительном заключении (составленном Павлюченко Виктором Павловичем, кандидатом физ.-мат. наук, ведущим научным сотрудником, заведующим Лабораторией космических лучей), указала, что диссертация Дмитриевского С.Г. соответствует требованиям Постановления Правительства РФ 842 от 24 сентября 2013 г. «О порядке присуждения ученых степеней», предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук, а ее автор заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.16 – «Физика атомного ядра и элементарных частиц». Критические замечания, отмеченные в заключении ведущей организации:

– На Рис.3.10 при аппроксимации экспериментальных распределений гауссианой получены величины χ^2/ndf , равные 71.5 ± 0.19 и 75.6 ± 0.22 . Это показывает очень плохое соответствие аппроксимирующей функции экспериментальным данным. Аппроксимации являются излишними, т.к. там же приведены средние значения (Mean) и среднеквадратичные отклонения (RMS), вычисленные без параметризации. Они гораздо лучше характеризуют экспериментальные распределения. Это же относится и к другим рисункам, где результаты аппроксимации в дальнейшем не использовались, но были получены “пугающие” значения χ^2 .

– На Рис.3.13, в отличие от других рисунков, параметры аппроксимации хорошо соответствуют экспериментальным распределениям, а вычисленные значения RMS мало отличаются для вариантов а) и с), что плохо согласуется с формой распределений.

На диссертацию и автореферат поступили отзывы.

В отзыве Дербина А.В. отмечено, что основные результаты диссертационной работы являются оригинальными и получены впервые. Они обоснованы, убедительны, хорошо известны специалистам, опубликованы в ведущих отечественных и зарубежных физических журналах и представляют интерес для

ряда лабораторий и центров, в том числе в нашей стране. Из замечаний по диссертации необходимо отметить следующие:

– В разделе “Введение”, при перечислении основополагающих работ, посвященных осцилляциям нейтрино, следовало бы привести знаменитую работу В.Н. Грибова и Б.М. Понтекорво (Phys.Lett. B 28 493 (1969)), в которой впервые был развит математический формализм, описывающий осцилляции между разными типами нейтрино.

– В список работ, в которых была предпринята первая серия попыток обнаружить осцилляции нейтрино на реакторах ILL, BUGEY, Красноярска, Palo Verde и CHOOZ, следовало бы добавить работы, выполненные группой Курчатовского Института под руководством Л.А. Микаэляна на реакторе Ровенской АЭС (например, Письма ЖЭТФ, 55, 544 (1992)).

– В качестве основных результатов диссертации приведены важные пределы на отклонение скорости нейтрино и антинейтрино от скорости света. Представляется естественным в тексте диссертации сравнение полученных результатов с результатами, достигнутыми в других работах. Возможно, следовало бы сравнить все существующие результаты по измерению скорости нейтрино в одной таблице, а особенности экспериментов LVD, Bogerino и ICARUS по измерению скорости нейтрино, которые были инициированы первым ошибочным результатом OPERA, описать более подробно.

В отзыве Прокудина М.С. отмечено, что уникальность диссертации состоит в том, что автор внес большой вклад во все три вида деятельности, необходимых для получения результата в современной физике элементарных частиц, таких как: методологическая работа, создание алгоритмов реконструкции событий и, наконец, физический анализ. К недостаткам диссертации отнесено:

– Обсуждение результатов сравнения различных алгоритмов реконструкции треков на стр. 94-96 излишне упрощено. Было бы неплохо показать, как зависит эффективность восстановления треков от энергии мюона, что позволило бы оценить, какие искажения вносят разные алгоритмы реконструкции в энергетический спектр. Из описания в тексте к Таб.3.4 остается непонятным, какой именно из алгоритмов (CA+RF, NT+LF, CA+LF или TF+LF) был применен в 2009 г.

– Результаты аппроксимации функцией Гаусса распределений на Рис.3.13 мало полезны, потому как плохо описывают эти распределения. В таких случаях, обычно, либо применяют для аппроксимации сумму двух функций Гаусса с

одинаковым положением максимума, либо используют для аппроксимации только центральную часть распределения.

– Описание применения нейтронной сети на стр. 101-103 излишне упрощено. Не указана ни архитектура сети, ни как производилась оптимизация этой архитектуры, если производилась вообще. Было бы неплохо проверить, как поведет себя уже обученная сеть на событиях, смоделированных с помощью другого транспортного кода (или physics list, если использовался Geant4). Не показано, являются ли важными все 19 входных параметров нейтронной сети. Отвечая на вопросы такого рода можно уменьшить недоверие, с которым относятся многие физики, работающие в области элементарных частиц, к нейронным сетям, особенно если последние используются для классификации.

Основные результаты диссертации опубликованы в 10 научных журналах и изданиях, из которых 4 входят в перечень рецензируемых научных журналов и изданий. Основные работы:

1. Chukanov A.V., Dmitrievsky S.G., Gornushkin Y.A. Locating the neutrino interaction vertex with the help of electronic detectors in the OPERA experiment // Phys.Part.Nucl.Lett. 2015. Vol. 12, no. 1 (189). P. 89–99;

2. Agafonova N.Y., ... Dmitrievsky S.G., ... et al. New results on $\nu_{\mu} \rightarrow \nu_{\tau}$ appearance with the OPERA experiment in the CNGS beam // JHEP. 2013. Vol. 1311. P. 036;

3. Adam T., ... Dmitrievsky S.G., ... et al. Measurement of the neutrino velocity with the OPERA detector in the CNGS beam using the 2012 dedicated data // JHEP. 2013. Vol. 1301. P. 153;

4. Agafonova N.Y., ... Dmitrievsky S.G., ... et al. Study of neutrino interactions with the electronic detectors of the OPERA experiment // New J.Phys. 2011. Vol. 13. P. 053051.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

– Определены индивидуальные калибровочные характеристики сцинтилляционных стрипов Трековой системы целеуказания (ТЦЦ) установки OPERA: значения световыхода сцинтиллятора, параметры затухания света в спектросмещающем оптоволокне;

– Проведено мониторингирование эффективности ТЦЦ и стабильности ее отклика при помощи мюонов, регистрировавшихся этой системой с 2006 по 2013 гг.;

– Прямым методом получена оценка изменения отклика пластического сцинтиллятора серии UPS-923A со временем;

– Разработаны методы анализа данных электронных детекторов OPERA для поиска вершины взаимодействия нейтрино в мишени экспериментальной установки: фильтрация сигналов в ТСЦ, восстановление мюонного трека и оси адронного ливня, определение стенки и блока мишени с вершиной взаимодействия нейтрино. Эти методы объединены в едином программном пакете OpBrickFinder;

– Разработан метод определения момента времени взаимодействия нейтрино в детекторе OPERA по сигналам от мюонов, треки которых были реконструированы в ТСЦ. С помощью этого метода:

- рассчитана величина отклонения δt времени пролета $\nu(\bar{\nu})$ между источником в CERN и детектором OPERA от значения, соответствующего движению нейтрино со скоростью света:

$$\delta t = (1,2 \pm 1,0 \text{ (стат.)} \pm 3,3 \text{ (сист.)}) \text{ нс};$$

- при объединении с результатами измерения δt , полученными по информации с другого детектора (РПК мюонных спектрометров), рассчитана итоговая величина отклонения:

$$\delta t = (0,7 \pm 0,4 \text{ (стат.)} \pm 1,6 \text{ (сист. - некорр.)} \pm 2,5 \text{ (сист. - корр.)}) \text{ нс};$$

- впервые установлены отдельные ограничения на отклонение скоростей нейтрино ν_ν и антинейтрино $\nu_{\bar{\nu}}$ от скорости света c :

$$-1,8 \times 10^{-6} < (\nu_\nu/c - 1) < 2,3 \times 10^{-6} \text{ и}$$

$$-1,6 \times 10^{-6} < (\nu_{\bar{\nu}}/c - 1) < 3,0 \times 10^{-6}$$

(на уровне достоверности 90%).

Теоретическая значимость исследования обоснована следующим:

– экспериментальное подтверждение осцилляций нейтрино в канале $\nu_\mu \rightarrow \nu_\tau$ имеет важное значение для развития теории нейтринных осцилляций, которая выходит за рамки Стандартной модели;

– полученные ограничения на отклонение скорости нейтрино от скорости света дают возможность оценить справедливость различных теоретических моделей, расширяющих Стандартную модель, которые предсказывают экзотические пространственно-временные свойства нейтрино.

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что:

– Рассчитанные калибровочные характеристики ТСЦ использованы для калориметрических измерений при анализе данных эксперимента OPERA (реконструкции энергии события и, в частности, адронного ливня при взаимодействии нейтрино);

– Мониторирование ТСЦ с помощью мюонов позволяло контролировать эффективность отдельных модулей ТСЦ на протяжении всего набора данных в эксперименте OPERA. Наблюдаемая эффективность ТСЦ на уровне 99% обеспечивала высокую надежность проведения анализа нейтринных событий, в частности, для поиска блока мишени с вершиной взаимодействия нейтрино;

– Полученная оценка изменения отклика пластического сцинтиллятора серии UPS-923А со временем – $(1,7 \pm 0,2)\%$ /год – подтверждает возможность использования детектора ТСЦ в будущих экспериментах;

– Разработанный программный пакет OpBrickFinder показал эффективность локализации вершины взаимодействия нейтрино на уровне $(71 \pm 5)\%$ (для наиболее вероятного блока мишени) и был успешно использован для анализа всех данных, набранных в эксперименте OPERA с середины 2009 по конец 2012 гг., что позволило обнаружить несколько событий взаимодействия тау-нейтрино из пучка CNGS;

– С помощью разработанного метода определения момента времени взаимодействия нейтрино в детекторе OPERA удалось обнаружить и устранить один из источников систематической ошибки при анализе экспериментальных данных OPERA 2009–2011 гг., отобранных для измерения скорости нейтрино. Применение этого метода для анализа экспериментальных данных OPERA 2012 г. (в специальном режиме коротких импульсов пучка CNGS) позволило рассчитать величину отклонения δt времени пролета $\nu(\bar{\nu})$ между источником в CERN и детектором OPERA от своего номинального значения, а также (при объединении с результатами измерения другим методом) впервые установить отдельные ограничения на отклонение скоростей нейтрино ν и $\bar{\nu}$ от скорости света.

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

– заявленные результаты основываются на экспериментальных данных, полученных на тщательно изученной и откалиброванной экспериментальной установке и согласуются с результатами других авторов;

– результаты автора, созданное им программное обеспечение обработки и анализа данных прошли всестороннюю апробацию в Коллаборации OPERA;

– обоснованность и достоверность результатов подтверждается тем, что в ней использовались строгие и апробированные методы измерения параметров электронных детекторов, современные методы статистического анализа.

Личный вклад соискателя состоит в:

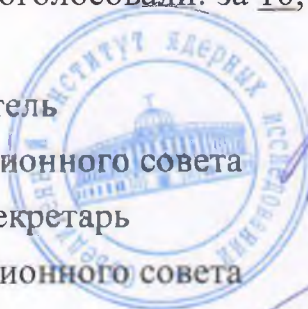
- непосредственном участии в получении исходных данных в научном эксперименте;
- непосредственном участии в разработке и внедрении технологий и алгоритмов анализа данных детектора, в получении калибровочных характеристик и мониторинговании Трековой системы целеуказания;
- личном участии в обработке и анализе полученных исходных данных с использованием современных программных систем и пакетов;
- непосредственном проведении статистических и численных расчетов;
- личном участии автора в апробации результатов исследования на международных конференциях и научных школах, в процессе обсуждений на научных семинарах и рабочих совещаниях ЛЯП ОИЯИ, Лаборатории LNGS, Коллаборации OPERA;
- подготовке основных публикаций по выполненной работе.

Диссертация охватывает основные вопросы поставленной научной задачи и соответствует критерию внутреннего единства.

Диссертационным советом сделан вывод о том, что диссертация представляет собой научно-квалификационную работу, соответствует критериям, установленным Положением о порядке присуждения ученых степеней, и принято решение присудить Дмитриевскому Сергею Геннадьевичу ученую степень кандидата физико-математических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 16 человек, из них 6 докторов наук по специальности рассматриваемой диссертации, участвовавших в заседании, из 23 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за 16, против 0, недействительных бюллетеней 0.

Председатель
диссертационного совета
Ученый секретарь
диссертационного совета



[Handwritten signature in blue ink]

Русакович Николай Артемьевич

[Handwritten signature in blue ink]
Карамышева Галина Анатольевна

28.10.2015