

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ
БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ

ФИЗИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ



имени
П.Н. Лебедева

Российской академии наук

Ф И А Н

119991, Москва, В-333
Ленинский проспект, 53, ФИАН
Телефоны: (499) 135 1429
(499) 135 4264
Телефакс: (499) 135 7880
<http://www.lebedev.ru>
postmaster@lebedev.ru

Дата *08.09.2015* №

УТВЕРЖДАЮ

Директор
Федерального государственного
бюджетного учреждения науки
Физического института им. П.Н.
Лебедева РАН, член-корр. РАН

Колачевский Н.Н. Колачевский
сентября 2015 г



Отзыв

ведущей организации

Федерального государственного бюджетного учреждения науки
Физического института им. П.Н. Лебедева Российской академии наук
на диссертацию

Дмитриевского Сергея Геннадьевича

**ПОИСК НЕЙТРИННЫХ ВЗАИМОДЕЙСТВИЙ И ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ
НЕЙТРИНО С ПОМОЩЬЮ ЭЛЕКТРОННЫХ ДЕТЕКТОРОВ В ЭКСПЕРИМЕНТЕ
«OPERA»**, представленную на соискание ученой степени кандидата физико-
математических наук по специальности

01.04.16 — «Физика атомного ядра и элементарных частиц»

Диссертация посвящена одной из **актуальных** проблем современной физики – исследованию свойств нейтрино высокой энергии в пучке, прошедшем около 730 км вещества Земли между ускорителем ЦЕРН и подземной лабораторией под горным массивом Гран-Сассо в Италии. Такая геометрия позволила изучать осцилляции нейтрино в веществе и сделать оценку скорости нейтрино на большой пролетной базе. Осцилляции нейтрино с ненулевой массой находятся за пределами Стандартной Модели с обычным набором кварков и лептонов и могут помочь в поисках путей ее расширения.

Работа выполнена в составе международной коллаборации OPERA.

Диссертация состоит из введения, четырех глав и заключения. Объем диссертации составляет 141 страницу, включая 74 рисунка и 15 таблиц.

Во **введении** показана актуальность темы, сформулированы цели работы, новизна и практическая значимость полученных в ней результатов.

Целью работы является поиск вершины нейтринных взаимодействий при исследовании осцилляций и измерение скорости нейтрино с использованием электронных детекторов в эксперименте OPERA.

В **первой главе** дается обзор состояния нейтринных исследований. Показано, что особенно ценны эксперименты «на появление» нейтрино с ароматом, заведомо отсутствующим в исходном пучке. К ним относится описываемый эксперимент по поиску тау-нейтрино. О его сложности можно судить по тому, что среднее число идентифицированных взаимодействий тау-нейтрино с рождением тау-лептона, полученных большой Международной коллаборацией, составляет около 1 события в год. Обсуждается экзотическая возможность отличия скорости нейтрино от скорости света.

Во **второй главе** описан гибридный эксперимент OPERA (фотоэмульсия + электронные детекторы), основной целью которого является регистрация взаимодействий тау-нейтрино, появившихся в результате осцилляций в изначально чистом пучке мюонных нейтрино из ускорителя SPS (ЦЕРН). Эмульсия обладает высоким пространственным и угловым разрешением, но не регистрирует время взаимодействия. Поэтому особое значение приобретает указание конкретного блока и момента времени, где и когда произошло рождение тау-лептона в эмульсии для привязки к пучку нейтрино из ускорителя. Это выполняет трековая система целеуказания (ТСЦ), калибровкой, контролем и анализом работы которых в основном занимался диссертант. Для этого им или с его основным участием были разработаны методики и получены результаты, используемые всей коллаборацией при анализе экспериментальных данных.

В **третьей главе** описана процедура определения блока эмульсии по данным ТСЦ, в котором может находиться искомая вершина рождения тау-лептона. Было опробовано несколько вариантов алгоритмов, они были протестированы на модельных и реальных событиях и отобраны наиболее эффективные. Окончательная процедура написана на языке C++ и интегрирована в программное обеспечение OPERA в виде единого пакета OpBrickFinder. С 2010 г. по настоящее время она используется для анализа всех событий эксперимента.

В **четвертой главе** описано измерение скорости нейтрино на пролетной базе 731278 м между ЦЕРН и установкой OPERA. В 2011 г. на этой установке был получен

предварительный результат, согласно которому скорость нейтрино отличалась от скорости света на 6σ . Группой ОИЯИ с активным участием автора были разработаны несколько методик, более точно учитывающих систематические неопределенности измерений. Уточненный результат по стандартным и специально укороченным до 3 нс импульсам нейтрино не подтвердил такое отличие скоростей. Благодаря возможности определять знак заряда мюона в магнитном поле впервые получены отдельные оценки отличия $\beta=v/c$ на уровне достоверности 90% для нейтрино $-1,8 \times 10^{-6} < (\beta-1) < 2,3 \times 10^{-6}$ и $-1,6 \times 10^{-6} < (\beta-1) < 3,0 \times 10^{-6}$ для антинейтрино.

В заключении представлены **основные результаты диссертации**, выносимые на защиту:

Разработка и внедрение методов анализа данных электронных детекторов OPERA для поиска вершины взаимодействия нейтрино в мишени установки. Они объединены в программном пакете OpBrickFinder, который был использован для анализа всех данных, набранных в эксперименте OPERA с середины 2009 по конец 2012 гг..

Разработка и применение метода определения момента взаимодействия нейтрино в детекторе OPERA по сигналам от мюонов. Метод позволил обнаружить и устранить один из источников систематической ошибки при анализе экспериментальных данных OPERA 2009–2011 гг.. С его помощью впервые установлены отдельные ограничения на отклонение скоростей нейтрино и антинейтрино от скорости света и рассчитана величина отклонения времени пролета нейтрино между источником в CERN и детектором OPERA от своего номинального значения.

Проведение калибровок и мониторинг эффективности и стабильности трековой системы целеуказаний в эксперименте OPERA. Показана ее высокая надежность, эффективность и стабильность.

Научная новизна полученных результатов. Гибридный эксперимент OPERA не имеет аналогов в мире, все полученные диссертантом результаты являются новыми.

Научно-практическая значимость работы. Результаты диссертационной работы признаны международной коллаборацией OPERA и используются в течение нескольких лет в эксперименте. Они представляют интерес для специалистов в области экспериментальной физики частиц и могут найти применение в исследованиях на ускорителях и в других экспериментах по физике высоких энергий с множественным рождением частиц.

Личный вклад автора. Все результаты, приведенные в диссертационной работе, кроме специально оговоренных случаев, были получены непосредственно автором или при его активном участии.

Принципиальных недостатков в диссертации не обнаружено, тем более, что результаты используются коллаборацией OPERA.

Имеются отдельные **замечания**, относящиеся скорее к оформлению.

1. На рис. 3.10 (стр. 96) при аппроксимации экспериментальных распределений гауссианой получены величины χ^2/ndf , равные 4149/58 и 3023/40, т.е. величины χ^2 на одну степень свободы равны соответственно 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 .
2. На рис. 3.13 (стр. 100), в отличие от других рисунков, параметры аппроксимации хорошо соответствуют экспериментальным распределением, а вычисленные RMS мало отличаются для вариантов а) и с), что плохо согласуется с формой распределений.

Общая оценка работы Основные результаты диссертации являются оригинальными и обоснованными. Заявленные цели достигнуты, результаты признаны Международной коллаборацией OPERA и используются при анализе всех экспериментальных данных. Они докладывались на российских и международных семинарах и конференциях, своевременно опубликованы в научных журналах и известны специалистам. Продемонстрирован достаточный кругозор автора в области нейтринных осцилляций и знакомство с их текущим состоянием в мире. Продуманная компоновка материала и практически полное отсутствие опечаток облегчают восприятие и демонстрируют ответственное отношение диссертанта к работе.

Автореферат правильно отражает содержание диссертации.

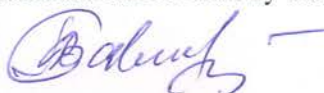
Сделанные замечания не снижают высокой оценки результатов представленной работы.

Диссертация «ПОИСК НЕЙТРИННЫХ ВЗАИМОДЕЙСТВИЙ И ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ НЕЙТРИНО С ПОМОЩЬЮ ЭЛЕКТРОННЫХ ДЕТЕКТОРОВ В ЭКСПЕРИМЕНТЕ OPERA» 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 **Дмитриевский Сергей Геннадьевич** заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.16 — «Физика атомного ядра и элементарных частиц».

Диссертация была доложена, обсуждена и одобрена 8.09.2015 г. на семинаре Отдела Космических Исследований (ОКИ) Физического Института им. П.Н. Лебедева РАН

Отзыв составил Зав. лабораторией космических лучей ФИАН

К.ф.-м.н.



В.П. Павлюченко

Зав. Отделом Космических Исследований ФИАН

Д.ф.-м.н.



В.А. Рябов

С отзывом ознакомлен 6.10.2015
Дмитрий (Дмитриевский С.Г.)