

«УТВЕРЖДАЮ»



Проректор МИУ, профессор

А.А.ФЕДЯНИН

Отзыв ведущей организации

на диссертационную работу Скробовой Наталии Алексеевны
«Калибровка детектора DANSS с помощью космических мюонов и
статистический анализ данных», представленную на соискание ученой
степени кандидата физико-математических наук по специальности
01.04.16 — физика атомного ядра и элементарных частиц.

Актуальность темы диссертации

Стандартная Модель включает в себя три поколения кварков и лептонов. Свойства нейтрино трех поколений уже довольно хорошо известны, хотя остаются еще многие вопросы. Например, не измерены массы нейтрино, хотя на них имеются очень жесткие ограничения. Вполне может быть, что малость масс нейтрино уже дает намек на существование Новой физики за рамками СМ. Не известна природа массы нейтрино – Майорановская или Дираковская. Еще не установлено надежно нарушение СР-симметрии в случае нейтрино, хотя на это уже имеются экспериментальные указания. Осцилляции между нейтрино с разными ароматами хорошо установлены, измерены соответствующие разности квадратов масс собственных массовых состояний нейтрино и углы смешивания. Важным шагом в понимании осцилляций явились измерения угла смешивания Θ_{13} и прямое наблюдение рождения тау-нейтрино в пучках мюонных нейтрино. Хотя число типов активных нейтрино ограничено тремя из измерений ширины Z-бозона, существование дополнительных стерильных нейтрино вполне возможно. Стерильные нейтрино возникают во многих расширениях СМ. Более того, имеется целый ряд экспериментальных указаний на их существование. Поток реакторных антинейтрино примерно на 6% меньше,

чем предсказания теоретических моделей. Этот дефицит можно объяснить осцилляциями электронных антинейтрино в стерильные на коротких расстояниях порядка нескольких метров. Недостаток числа взаимодействий нейтрино при калибровке радиоактивными источниками Ga-Ge детекторов солнечных нейтрино также может быть объяснен осцилляциями электронных нейтрино в стерильные нейтрино на очень коротких расстояниях, соответствующих разности квадратов масс порядка 1 эВ^2 . Эксперименты LSND и MiniBooNE заявляют о появлении электронных (анти)нейтрино в пучках мюонных (анти)нейтрино, причем объединенная значимость наблюдения достигает 6 сигм. Этот эффект тоже можно объяснить осцилляциями мюонного нейтрино в стерильное, а затем осцилляциями стерильного нейтрино в электронное. Правда, область допустимых параметров стерильного нейтрино в этом случае отличается от области, необходимой для описания экспериментов по исчезновению нейтрино. Наконец, недавно эксперимент Нейтрино-4 заявил о наблюдении осцилляций реакторных антинейтрино в стерильные, причем с очень большой разницей квадратов масс около 7 эВ^2 . Неудивительно, что это направление привлекает большой интерес как теоретиков, так и экспериментаторов. В настоящий момент проводится 6 экспериментов по поиску стерильных нейтрино на очень коротких расстояниях от реакторов.

Среди них и эксперимент DANSS, анализу данных которого посвящена данная работа. Актуальность темы не вызывает никаких сомнений.

Структура и содержание диссертации

Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения, списка публикаций автора с результатами диссертации и списка литературы. Полный объем диссертации составляет 97 страниц, включая 50 рисунков и 2 таблицы. Список цитируемой литературы включает 52 наименования.

Во введении обоснована актуальность исследования, научная новизна и практическая значимость полученных результатов. Сформулированы цели, задачи работы и научные положения, выносимые на защиту. Указан личный вклад автора, представлена апробация работы на конференциях. Приведен литературный обзор. Кратко изложена история вопроса, приведены результаты экспериментов, свидетельствующих в пользу

существования стерильного нейтрино. Обоснована необходимость дальнейших исследований. Представлено описание экспериментов, ведущих поиски стерильного нейтрино на ядерных реакторах в данный момент. Приведено обсуждение их достоинств и недостатков.

Первая глава диссертации посвящена краткому описанию установки DANSS, на которой и выполнено диссертационное исследование. Приводится описание конструкции детектора и системы сбора данных. Детектор DANSS установлен на движущейся платформе, которая позволяет изменять расстояние между детектором и активной зоной реактора. Показано, что благодаря такому подходу результаты эксперимента не зависят от знаний абсолютной эффективности детектора и теоретических предсказаний для величины потоков антинейтрино.

Вторая глава диссертации описывает процесс энергетической калибровки детектора с помощью космических мюонов. Высокий поток космических мюонов позволяет проводить регулярную энергетическую калибровку всех 2500 сцинтилляционных счетчиков, из которых состоит чувствительный объем детектора. В комбинации с калибровкой по радиоактивным источникам и распадам бора достигнутая точность в энергетической шкале составляет 2%, что позволяет успешно проводить работы по поискам нейтринных осцилляций в стерильное состояние.

В третьей главе диссертации приводится описание статистического анализа данных по поиску стерильного нейтрино. При получении первых результатов был использован максимально модельно-независимый подход: сравнивались изменения в форме предсказанных спектров антинейтрино на разных расстояниях от детектора до реактора с полученными экспериментальными данными. В анализе допускались весьма заметные отклонения по параметрам систематических неопределенностей для получения наиболее консервативных результатов. Представлено подробное описание статистических методов, применяемых для получения областей исключения в пространстве параметров стерильного нейтрино и приведено сравнение этих методов. Подробно обсуждается получение оценки чувствительности эксперимента. Приводятся оценки чувствительности эксперимента после предполагаемой модернизации.

Четвертая глава диссертации посвящена описанию изменений в статистическом анализе данных, которые были внесены после набора значительной части экспериментальной статистики. Обосновывается возможность введения ограничений на параметры систематических неопределенностей, в частности, введение в анализ ограничения на относительную эффективность детектора в различных положениях. Такое ограничение позволяет значительно расширить область чувствительности эксперимента в пространстве параметров стерильного нейтрино. Подробно обсуждается влияние других систематических неопределенностей. В заключении главы приводятся результаты по оценке значимости полученной в эксперименте наилучшей точки в пространстве параметров осцилляций нейтрино с помощью метода Фельдмана-Кузинса.

В пятой главе диссертации обсуждаются результаты других экспериментов по поиску стерильного нейтрино, выполненных на ядерных реакторах, и производится сравнение с результатами DANSS. Приводятся результаты работ по объединению областей исключения, полученных в различных экспериментах.

В заключении сформулированы основные результаты диссертации.

Научная новизна исследования

К числу наиболее значимых результатов, обладающих новизной, следует отнести реализацию измерений спектров антинейтрино одним и тем же детектором на различных расстояниях от активной зоны реактора. Такой подход позволяет избавиться от многих систематических неопределенностей, связанных с абсолютной эффективностью детектора. Это позволило получить наиболее жесткие ограничения на параметр $\sin^2 2\theta_{ee}$ для ряда значений параметра Δm^2_{14} .

Обоснованность и достоверность результатов и выводов

Все результаты, представленные в диссертации Н.А. Скробовой, являются достоверными и обоснованными. Выводы диссертации и положения, выносимые на защиту, основаны на результатах экспериментальных

исследований, выполненных при помощи относительных измерений, что позволяет сократить значительное число систематических неопределенностей. Расчетные данные, полученные при моделировании методом Монте-Карло для калибровочных источников, хорошо согласуются с экспериментальными результатами. Полученные области исключения в пространстве параметров стерильного нейтрино согласуются с результатами выполненных позже экспериментов в пересекающихся областях параметров стерильного нейтрино

Научная и практическая значимость полученных результатов

Полученные ограничения на параметры стерильного нейтрино важны для проверки теоретических моделей. Разработанный метод анализа может быть использован в других экспериментах.

Оценка работы

Диссертация Н.А.Скробовой представляет собой завершенную научно-квалификационную работу, выполненную на высоком научном уровне. Представленные в диссертации материалы свидетельствуют об авторе как о квалифицированном исследователе, владеющем современными методами анализа экспериментальных данных и ориентирующемся в теоретической сути вопроса. В диссертации детально описаны технические стороны выполненного анализа. Тема и содержание диссертации соответствуют специальности 01.04.16 - физика атомного ядра и элементарных частиц. Автореферат полно и правильно отражает содержание работы, ее результаты и выводы. Полученные результаты доложены автором на многочисленных международных научных конференциях и в полной мере опубликованы в рецензируемых научных изданиях.

Замечания по работе

1. Хотя в диссертации довольно подробно и детально излагаются все стадии анализа и подробно рассматриваются многие технические моменты, для понимания текста иногда требуются заметные усилия. Часто используются весьма громоздкие предложения, изобилующие причастными и деепричастными оборотами. В тексте присутствует заметное число сокращений и англицизмов (например, “систематика”, “фитирование”).
2. Не все обозначения и сокращения в формулах, таблицах и на рисунках определены. Например, “S/B” в таблице 1, “P” и “D” на рис. 3.1
3. В предпоследней строке на стр. 37 допущена серьезная опечатка. Вместо миллисекунд указаны микросекунды, что очень затрудняет понимание процедуры определения случайного фона.
4. Из текста диссертации не ясно, как экспериментальная статистика, набранная в среднем положении детектора, использовалась в первой версии проведенного анализа.
5. Полученные результаты совместно с результатами других экспериментов по поиску исчезновения мюонных нейтрино позволяют получить ограничения на вероятность возникновения электронных нейтрино в пучках мюонных, если появление электронных нейтрино связано с осцилляциями мюонных нейтрино в стерильные, а затем стерильных нейтрино в электронные. Это позволяет практически исключить такое объяснение результатов экспериментов LSND и MiniBooNE. В диссертации уделено слишком малое внимание этому важному результату, хотя и приведены результаты глобального фита, включающего и результаты эксперимента DANSS.

Сделанные замечания не затрагивают защищаемых положений и не оказывают заметного влияния на общую положительную оценку работы.

Заключение

Диссертационная работа «Калибровка детектора DANSS с помощью космических мюонов и статистический анализ данных» полностью удовлетворяет требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям в соответствии с п. 9 Положения о присуждении ученых

степеней, утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации № 842 от 24 сентября 2013 года, а ее автор - Скробова Наталия Алексеевна заслуживает присуждения ей ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.16 - физика атомного ядра и элементарных частиц.

Отзыв на диссертацию обсуждался и был одобрен 12 августа 2021 года на научном семинаре по физике нейтрино кафедры теоретической физики физического факультета МГУ.

Отзыв составил доктор физ.-мат. наук, профессор кафедры теоретической физики физического факультета Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова



Александр Иванович Студеникин,

почтовый адрес: 119991, ГСП-1, Москва, Ленинские горы, МГУ, дом 1, стр. 2, Физический факультет телефон: +7-495-939-16-17, адрес электронной почты: studenik@srd.sinp.msu.ru.