

ОТЗЫВ

члена диссертационного совета д.ф.-м.н. Федина Олег Львовича
на диссертацию Самойлова Рудольфа Михайловича

«Детектирование осцилляций реакторных нейтрино и поиске стерильного нейтрино в эксперименте Нейтрино-4»,

представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.15. - физика атомных ядер и элементарных частиц, физика высоких энергий.

Актуальность работы

Диссертационная работа Р.М. Самойлова посвящена изучению осцилляций реакторных антинейтрино и поиску стерильного нейтрино. В настоящее время нейтринные осцилляции являются надежно установленным экспериментальным фактом, из которого следует важное следствие - наличие у нейтрино массы. Существующая модель для описания осцилляций нейтрино, предполагает, что участвующие в слабом взаимодействии флейворные нейтринные состояния представляются как суперпозиция массовых состояний, которые являются собственными состояниями гамильтониана, описывающего движение нейтрино. Однако в ряде нейтринных экспериментов наблюдаются, на уровне от трех до пяти стандартных отклонений, результаты, которые указывают на возможную неполноту модели, описывающей явление смешивания с тремя нейтрино. Введение четвертого нейтрино, которое не взаимодействует с калибровочными полями Стандартной модели, но смешивается с тремя нейтрино, позволяет описать эти аномальные результаты. Введение четвертого стерильного нейтрино является минимальным расширением, существующей модели для описания смешивания нейтрино. Таким образом, эксперименты, нацеленные на поиск стерильного нейтрино, несомненно являются актуальной задачей современной физики частиц.

Научная новизна

Научная новизна данной работы в области методики состоит в предложенном и опробованном методе измерения спектра нейтрино с помощью перемещаемого секционированного детектора, расположенного на малых расстояниях от активной зоны реактора. Так же, в области методики, был предложен и опробован метод модельно независимого анализа изменения формы спектра антинейтрино с расстоянием, нормированного на усреднённый по всем расстояниям спектр. Как было показано в диссертации, исследовательский реактор высокой мощности является одним из оптимальных источников нейтрино для реализации метода относительных измерений в задаче поиска лёгкого стерильного нейтрино с массой ~ 1 эВ. Секционирование детектора не только позволило точно определять места взаимодействия антинейтрино, но и обеспечило дополнительные критерии отбора событий регистрации нейтрино, а также позволило подавить фон случайных совпадений почти в 2.5 раза.

В области физики получен и проанализирован большой экспериментальный материал по измеренным спектрам антинейтрино на разных расстояниях от исследовательского реактора.

В результате измерений был обнаружен эффект осцилляций электронных антинейтрино в стерильное состояние на уровне достоверности 2.7 стандартных отклонений. По форме зависимости осцилляций от отношения расстояние от зоны реактора к энергии нейтрино были впервые определены параметры осцилляций Δm^2_{14} и $\sin^2 2\theta$.

Структура диссертации и её оформление

Диссертация Р.М. Самойлова состоит из введения, 6 глав, заключения и списка литературы. Содержит 79 рисунков, 9 таблиц и список литературы из 103 наименований.

Во введении представлен краткий исторический обзор открытия осцилляций нейтрино, приведен перечень экспериментальных результатов, указывающих на существование стерильного нейтрино, дано описание структуры диссертации, обоснована актуальность и новизна работы, сформулированы главные задачи работы, перечислены результаты диссертации, выносимые на защиту, и обозначен личный вклад автора в работу.

В первой главе подробно рассматривается теоретическая модель нейтринных осцилляций без стерильного нейтрино и со стерильным нейтрино, так называемая модель 3+1. Приведено детальное обсуждение экспериментов, результаты которых на уровне статистической значимости 3-5 σ указывают на возможную неполноту описания явления смешивания нейтрино, ограниченную моделью с тремя нейтрино.

Во второй главе представлено описание метода относительных измерений, используемого в данной работе, описание детектора и места проведения эксперимента, а именно реактора СМ-3. Приводятся результаты измерения фоновых условий внутри пассивной защиты, а также подробно обсуждаются методы борьбы с коррелированным фоном, который связан с мюонами космического излучения.

В третьей главе обсуждаются основные характеристики эксперимента, такие как энергетическое разрешение, точность, стабильность и процедура калибровки детектора, стабильность измерений фона во времени и на разных расстояниях детектора от зоны реактора.

Четвертая глава посвящена анализу данных и определению параметров осцилляций. Подробно обсуждается спектрально-независимый метод анализа данных.

В пятой главе анализируются возможные систематические ошибки, связанные с фоном от быстрых нейтронов, неоднородностью режимов работы реактора, неоднородностью детекторных секций. Приведены результаты Монте-Карло моделирования эксперимента с учетом достигнутой статистической точности.

Шестая глава посвящена сравнению полученных результатов с результатами других экспериментов.

В заключении сформулированы основные результаты, полученные в диссертационной работе.

Практическая значимость

Опыт создания детекторов нейтрино, и развитие методов их калибровок, а также разработанное программное обеспечение служит основой для планирования и проведения дальнейших экспериментов, а также обеспечивает прогресс в решении прикладных задач с использованием нейтрино.

Измеренные параметры осцилляций электронных антинейтрино в стерильное состояние дают новую информацию, необходимую для выяснения механизма смешивания нейтрино. Эти данные послужат для уточнения теоретических и феноменологических моделей смешивания нейтрино.

Достоверность полученных результатов

Достоверность полученных результатов обусловлена тщательностью всей проведенной работы и подтверждается совместимостью с опубликованными результатами других экспериментов, а также апробацией результатов на международных совещаниях и конференциях.

Апробация результатов

Результаты исследований, вошедших в диссертацию, неоднократно обсуждались на семинарах и зимней школе НИЦ «Курчатовский институт» - ПИЯФ, а также на международных рабочих совещаниях таких как: совещание по физике частиц и нейтронных источников в 2018 в институте Лауэ-Ланжевена (Гренобль, Франция), совещание по прикладной физике антинейтрино в Лоуренс Ливерморской национальной лаборатории (2018, Ливермор, США), совещание по калибровке энергетической шкалы в прецизионных экспериментах с антинейтрино (2018, Гельдерберг, Германия). Помимо этого, результаты были представлены на международных конференциях таких как: 28-ая международная конференция по физике нейтрино и астрофизике (2018, Гельдерберг, Германия), 3-я международная конференция по физике элементарных частиц и астрофизике (2017, МИФИ, Москва).

По результатам диссертации опубликовано 8 работ в реферируемых научных журналах, среди которых, как российские журналы: "Журнал Экспериментальной и Теоретической Физики", "Письма в ЖЭТФ", так и ведущие высокорейтинговые зарубежные журналы: "Physics of Atomic Nuclei", "Physics of Particles and Nuclei", "Physical Review D".

Вклад автора в получение результатов

Автором настоящей диссертации были выполнены работы по измерению фоновых условий после подготовки помещения лаборатории. Также автор принимал участие в измерениях на макете секции при подготовке детектора и калибровке детектора и последующих измерениях спектров антинейтрино передвижным детектором. Для обработки данных соискателем было написано всё необходимое программное обеспечение. Анализ данных, включая определение параметров осцилляций, уровней достоверности и поиск систематических эффектов был выполнен соискателем.

Личный вклад автора подтверждается опубликованными статьями, выступлениями диссертанта на международных рабочих совещаниях и международных конференциях. Вклад автора в получение защищаемых им результатов является определяющим.

ЗАМЕЧАНИЯ ПО РАБОТЕ

В целом диссертация производит положительное впечатление, она выполнена на высоком научном уровне и написана хорошим русским языком. Основные результаты диссертационной работы являются оригинальными и получены впервые. Они опубликованы в ведущих физических журналах.

Все замечания носят по большей части стилистический характер. По представленной работе можно сделать следующие **замечания**.

- 1) Иногда в тексте встречаются сокращения, которые нигде ранее не расшифровывались. Так например, на стр.9 - ОБР, стр. 35- ILL, стр. 36 – РАА.
- 2) На стр. 15 написано: «Это взаимодействие через механизм Хиггса (через спонтанное нарушение симметрии) определяет массу частицам СМ». Кроме ошибки при использовании множественного числа для слова частиц, это утверждение не совсем корректно, так как взаимодействие с полем Хиггса определяет массу лептонов, но не кварков. Только один процент массы кварков появляется за счет взаимодействия с полем Хиггса. Масса кварков как известно определяется взаимодействием с кварковым и глюонным конденсатом, а также за счет других эффектов КХД.

Отмеченные недостатки не меняют в целом **положительной оценки** диссертационной работы Р.М. Самойлова.

Заключение

Диссертация Самойлова Рудольфа Михайловича на тему: «Детектирование осцилляций реакторных нейтрино и поиске стерильного нейтрино в эксперименте Нейтрино-4» соответствует основным требованиям, установленным Приказом от 19.11.2021 № 11181/1 «О порядке присуждения ученых степеней в Санкт-Петербургском государственном университете», соискатель Самойлов Рудольф Михайлович заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.15. Физика атомных ядер и элементарных частиц, физика высоких энергий. Нарушения пунктов 9 и 11 указанного Порядка в диссертации не обнаружены.

Член диссертационного совета
доктор физико-математических наук,
старший научный сотрудник,
заведующий Отделением физики высоких энергий
Петербургского института ядерной физики
НИЦ "Курчатовский институт"

О.Л. Федин
10 декабря 2023 г.

Подпись О.Л. Федина заверяю:
Ученый секретарь НИЦ КИ ПИЯФ,
кандидат физико-математических наук

С.И. Воробьев

