

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертацию Скробовой Наталии Алексеевны на тему: «Калибровка детектора DANSS с помощью космических мюонов и статистический анализ данных», по специальности 01.04.16 — «Физика атомного ядра и элементарных частиц» на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук.

Исследования в области физики нейтрино и астрофизики по праву занимают одно из центральных мест в современной физике. В настоящий момент именно с этими областями науки связаны надежды обнаружить Новую Физику за пределами Стандартной Модели. Поэтому к этим исследованиям приковано внимание ученых со всего мира. Одними из наиболее актуальных задач являются исследование природы и свойств нейтрино. Диссертация Скробовой Наталии Алексеевны посвящена калибровке и анализу данных на уникальной экспериментальной установке DANSS, направленной на исследование свойств антинейтрино от реактора Калининской АЭС. Осуществляется важный поиск стерильных нейтрино, указания на существование которых наблюдаются из разных источников, также решаются другие физические задачи, которые в будущем могут иметь и практическое применение, как например, мониторинг работы реактора. Таким образом, без сомнения, данные исследования являются исключительно **важными и актуальными** для современной физики.

В диссертации представлены результаты анализа данных, набранных на установке DANSS. В частности, получены **новые и лучшие в мире** ограничения на параметры гипотетического стерильного нейтрино. Наилучшее предсказываемое значение из так называемых «нейтринных аномалий» было исключено на уровне более 5 стандартных отклонений, что также является лучшим в мире результатом. Было показано, что статистика, набранная за двое суток измерения, позволяет определить мощность реактора на уровне в 1.5 %, что говорит о **практической значимости** приведенных исследований.

Приведенные в диссертации результаты были представлены на российских и международных конференциях, опубликованы в рецензируемых журналах. Результаты эксперимента DANSS хорошо известны физическому сообществу, полученные результаты используются другими исследователями. Поэтому **обоснованность и достоверность научных положений и выводов** не вызывает сомнений.

Диссертация Скробовой изложена на 97 страницах текста, состоит из введения, пяти глав, заключения и списков литературы. **Во введении** дается краткое описание приводимых исследований, приводится обзор современных экспериментов, направленных на поиск стерильных нейтрино. **В первой главе** кратко приводится описание экспериментальной установки DANSS. **Во второй главе** описывается энергетическая калибровка детектора с помо-

щью космических мюонов. **Третья глава** посвящена моделированию и статистическому анализу данных на основании исследования формы энергетического спектра позитронов. **В четвертой главе** приводится дальнейший анализ данных полученных на разных расстояниях от реактора. **В пятой главе** приводится описание используемых методов и сравнение с результатами других экспериментов. В заключении сформулированы основные выводы. Из текста диссертации видно, что была проделана большая работа по разработке методики анализа данных и собственно по самому анализу данных. Современные экспериментальные установки являются сложными устройствами с большим числом каналов измерений. Поэтому анализ получаемых данных является также сложным и нетривиальным. Он требует большого количества времени, использования нетривиальных методов анализа, кропотливых и многочисленных проверок на каждом этапе анализа данных. Видно, что диссертантом была проделана большая работа, необходимая для получения важных экспериментальных результатов.

Несмотря на важность, актуальность, научную новизну и достоверность полученных в работе результатов текст диссертации не лишен большого числа недостатков и неточностей, которые влияют на уровень диссертационной работы. Диссертация изложена недостаточно академично, присутствует много научного жаргона, не все вводимые термины и понятия достаточно объясняются, общее изложение скомканное и непоследовательное, зачастую введённые понятия объясняются через несколько страниц после их первого упоминания. Зачастую приводится достаточно техническая информация, тогда как более важные моменты недостаточно освещаются, что не позволяет в должной мере оценить правильность проведенного анализа. К другим замечаниям можно указать следующее:

- 1) во введении, несмотря на то, что формулы 1-3 хорошо известны в физике нейтрино, мешало бы определить все используемые величины. Также необходимо было бы дать ссылку на обзор, в котором читатель мог бы подробнее ознакомиться с данной темой.
- 2) На странице 6 и далее используется большое число неконкретных выражений. К примеру: «Большая мощность реактора обеспечивает достаточно высокий поток антинейтрино, что позволяет набирать большую статистику», «Исследовательские реакторы чаще всего дают небольшой поток антинейтрино, но при этом обладают достаточно компактными размерами и в качестве топлива используют почти чистый ^{235}U .» Конкретные значения обычно можно понять из дальнейшего текста, однако при таком изложении они не имеют большого значения.
- 3) К пожеланиям относительно введения было бы хорошо более конкретно обозначить мотивацию приведенных исследований, более подробно обсудить, что влияет на чувствительность эксперимента и какие параметры необходимы для идеального эксперимента, сформи-

ровать выводы. Было бы хорошо объяснить некоторые параметры в таблице 1 (такие как S/B – отношение сигнал/фон).

4) В первой главе можно было бы привести более подробное описание конструкции детектора DANSS. В частности, для лучшего понимания приводимых времен, можно было привести пример типичных сигналов, получаемых в КФУ и ФЭУ. Ссылки на рисунки 1.1 и 1.2 было бы лучше указать сразу в первом и в начале второго абзаца. Также желательно было прямо написать в тексте, что изображено на рисунке (к примеру, борированный полиэтилен – это СНВ).

5) На странице 17 написано: «Таким образом, наличие стерильного состояния нейтрино вносило бы зависящее от расстояния искажение в энергетический спектр реакторных антинейтрино.» Это действительно так, но это не как не следует из предыдущего предложения.

6) На странице 18 желательно было бы обосновать почему требуется относительная калибровка с помощью мюонов и почему нельзя обойтись калибровкой с помощью радиоактивных источников. Не очень подробно описан процесс калибровки. В частности, не совсем понятно, каким именно образом, производится калибровка с помощью ^{12}B .

7) На странице 19 написано: «Правое плечо пика захватов на гадолинии соответствует нескольким энергичным гамма-квантам. Каждый из них дает электрон от комптоновского рассеяния, который близок по энергии к позитронам от ОБР.» Вероятно имеется суммарное энерговыделение от всех потерь от гамма-квантов?

8) В подписи к рисунку 2.1 слева упоминается некоторое моделирование (первоначальное описание), про которое в тексте не говорится ни слова.

9) В главе 2.2.3 было бы хорошо объяснить почему именно используется приведенная параметризация, а не просто величина средних потерь энергии мюона на единицу длины трека.

10) В подписи к рисунку 2.11 отмечается, что наблюдается эффект насыщения, однако из самого рисунка это не очевидно, так как зависимость похожа на линейную и не наблюдается насыщение. Возможно следовало бы расширить шкалы графика.

11) На странице 32 вводятся величины μ_{LED} , σ_{LED} , N которые следовало бы объяснить.

12) На рисунке 3.1 не объяснено, что такое B , P , D . Приходится догадываться, что это обозначение для фоновых, мгновенных и задержанных сигналов.

13) На странице 37 сказано: «Для формирования образца случайного фона применяются все те же критерии, что и для кандидатов в ОБР, только поиск позитронного кандидата ведется в причинно не связанной области: за 5, 10... мкс до нейтронного кандидата.» Почему это причинно не связанная область? Из рисунка 3.3 наоборот следует, что в этой области преимущественно наблюдаются события от ОБР.

- 14) На странице 38 упоминаются какие-то 16 временных интервалов, однако не объясняется, что это за временные интервалы.
- 15) Нет ссылки в тексте на рисунок 3.8.
- 16) На рисунках 3.10, 3.11 и далее на самих рисунках по оси X приводится обозначение $\sin^2 2\theta_{14}$, однако в подписи к рисунку и в тексте употребляется $\sin^2 2\theta_{ee}$. Автор упоминает неоднократно о эквивалентности этих величин, но лучше было бы иметь единообразие во всем тексте.
- 17) На странице 49 упоминается метод растрового сканирования, однако никаких ссылок или объяснений этого метода не приводится. Только на странице 79 приводится объяснение этого метода, однако без соответствующих ссылок.
- 18) На странице 53 утверждается: «В данном разделе приводится описание изменений в анализе данных для утроенной по сравнению с первой работой статистики.» Во-первых, статистика не может выполнять ни каких работ, во-вторых, о никакой первой работе статистики ранее в тексте диссертации не говорится. В дальнейшем можно понять, что речь идет о анализе двух различных наборов данных, до и после модернизации установки, однако, что это за данные, когда они набирались следовало бы описать.
- 19) На странице 54 упоминается, что обнаружен фон, отличающийся от космического. Было бы хорошо показать на рисунке этот фон и объяснить его природу.
- 20) На странице 55 предложение в последнем абзаце сложно понять: «В новом анализе спектры позитронов с различными вариациями систематических неопределенностей и спектры с номинальными представлениями о рассматриваемых систематиках будут использованы для вычисления отклонений от спектров с номинальными систематиками (т.е. номинальная энергетическая шкала, нулевой постоянный сдвиг в энергетической шкале, номинальные уровни фонов, номинальное дополнительное размытие функции отклика детектора, составляющее $12\%/\sqrt{E} \oplus 4\%$).»
- 21) В конце страницы 58 говорится: «Стандартным способом учета априорного знания о размере систематических неопределенностей является введение штрафных членов:». Однако в приведенной формуле 4.1 отсутствуют штрафные члены с параметрами систематических неопределенностей как это далее вводится в формуле 4.6.
- 22) На странице 60 в подписи к рисунку упоминается средняя позиция детектора, хотя до этого упоминались только верхнее и нижнее положение.
- 23) На странице 63 написано: «Необходимость деления на две различных фазы обуславливается тем, что при таком подходе средний состав топлива отличается пренебрежимо мало для статистики, набранной в каждом из положений внутри текущей фазы. В случае же объединения спектров каждого из положений без деления на фазы, средний состав топлива для сред-

него положения будет заметно отличаться от среднего состава для верхнего и нижнего положений.» Во-первых, до этого момента никакой средний состав топлива не упоминается, вероятно речь идет о составе топлива в середине топливной компании? Во-вторых, состав топлива никак не зависит от положения детектора DANSS. Приведенные предложения необходимо было сформулировать по-другому.

Однако приведенные замечания не снижают главных достоинств диссертационной работы. Автореферат правильно отражает содержание диссертации.

Считаю, что диссертация Скробовой Н.А. представляет собой законченную квалификационную работу, которая выполнена на высоком уровне и удовлетворяет всем требованиям ВАК, предъявляемым к диссертации, а ее автор, несомненно заслуживает присвоения ученой степени кандидата наук по специальности 01.04.16 – «Физика атомного ядра и элементарных частиц».

Официальный оппонент:

Лубашевский Алексей Владимирович,

кандидат физ.-мат. наук, начальник сектора №1 Лаборатории Ядерных Проблем, Объединенного Института Ядерных Исследований.

Адрес: 141980, ул. Жолио-Кюри, 6 г. Дубна, Московская обл.

Email: lubashev@jinr.ru



Подпись удостоверяю:

Бедняков Вадим Александрович,

доктор физ.-мат наук, директор Лаборатории Ядерных Проблем, Объединенного Института Ядерных Исследований.