

**УТВЕРЖДАЮ**  
Директор Лаборатории ядерных  
проблем им. В.П.Джелепова ОИЯИ

д.ф.-м.н. В.А.Бедняков  
« » \_\_\_\_\_ 2014 г.

### **ОТЗЫВ**

ведущей организации Лаборатории ядерных проблем им. В.П.Джелепова ОИЯИ на диссертацию **СИНЁВА Валерия Витальевича** на тему: «**Исследование осцилляций нейтрино в реакторных экспериментах**», представленную на соискание ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 01.04.16 – физика атомного ядра и элементарных частиц.

Диссертационная работа В.В.Синева посвящена изучению одной из ключевых проблем физики нейтрино – определению вероятностей переходов одних типов нейтрино в другие (нейтринных осцилляций) – в пучках антинейтрино, производимых ядерными реакторами. Эффект осцилляций нейтрино является фундаментальным свойством нейтрино. Он был предсказан более 50 лет тому назад Бруно Понтекорво (в Дубне), и с тех пор непрерывно является объектом интенсивного экспериментального и теоретического исследования уже много лет. Первые экспериментальные подтверждения существования осцилляции нейтрино были получены в самом конце 20-го столетия в эксперименте Камиоканде. После этого в течении почти 15 лет по всему Миру исследования осцилляций нейтрино проводились широким фронтом, и в результате были определены практически все наиболее важные параметры, описывающие это явление.

В экспериментах по исследованию нейтринных осцилляций измерены две разности квадратов масс, соответствующие трем типам нейтрино. Такое количество различных типов нейтрино было подтверждено результатами изучения характеристик распада  $Z^0$  бозона, образованного на ускорителях высоких энергий (например, на ЛЭПе). В ускорительных экспериментах и в исследованиях потоков атмосферных и солнечных нейтрино были достаточно точно определены

характеристики осцилляционных переходов электронных нейтрино в мюонные, а также мюонных нейтрино в тау-нейтрино. Однако до последнего времени не удавалось надежно зарегистрировать переходы электронных нейтрино в тау-нейтрино. Это было сделано лишь недавно (2011--2012 гг.) в нескольких специализированных реакторных экспериментах, идея постановки которых принадлежит В.В.Синёву и Л.А.Микаэлянцу.

Исследование нейтринных осцилляций позволяет проверить модель поведения нейтральных легких лептонов (нейтрино) при распространении от источника до детектора. Испускаемое источником нейтрино (состояние определенного флейвора) представляет собой суперпозицию трех нейтринных состояний с определенными (и различными) массами. «Перемешивание» этих состояний описывается унитарной матрицей смешивания Понтекорво-Маки-Накагавы-Саката, которая обычно описывается набором характерных углов (смешивания) и фаз. До последнего времени в этой матрице был неизвестен угол, характеризующий смешивание между 1-ым и 3-м поколениями (флейворами) нейтрино – угол  $\theta_{13}$ . Теперь он измерен усилиями трех экспериментов, в одном из которых принимал активное участие диссертант.

Помимо этого, автором диссертации был впервые проведен совместный анализ разнородных реакторных экспериментов на предмет поиска так называемого стерильного нейтрино. При этом был предложен новый метод анализа отношений спектров, а не самих спектров, что исключает необходимость точного знания функции отклика детектора и позволяет единообразно анализировать данные от независимых экспериментов. В результате были получены ограничения на параметры осцилляций в стерильное состояние, которые в дальнейшем были подтверждены работами других авторов. Более того, за последнее время в ряде экспериментов были получены серьезные указания на возможность существования стерильных нейтрино.

В нейтринных исследованиях на ядерных реакторах всегда важен вопрос интерпретации полученных результатов. Для проведения прикладных и фундаментальных исследований в потоках антинейтрино от ядерного реактора необходимо иметь некоторые метрологические стандарты, необходимые для

правильного анализа экспериментальных данных. В диссертации рассматриваются такие вопросы метрологии в нейтринной физике. Одной из важнейших частей метрологических данных является знание спектров антинейтрино, испускаемых различными делящимися изотопами урана и плутония. В диссертации обсуждается необходимость разделения полного измеренного спектра реакторных антинейтрино на составляющие его компоненты. Автором предложен оригинальный метод выделения спектров антинейтрино отдельных делящихся изотопов из интегрального экспериментального спектра. Впервые получен экспериментально спектр антинейтрино урана-238. Поскольку спектры реакторных антинейтрино в ближайшее время будут измерены с высокой статистикой (эксперименты Double Chooz, Daya Bay, DANSS), то следует ожидать, что и индивидуальные спектры отдельных изотопов будут измерены достаточно точно, что даст возможность их использования в качестве эталонных.

Изучение нейтринных потоков от естественных природных источников является фундаментальной физической задачей. К таким потокам относятся нейтрино от сверхновых и нейтрино, производимые цепочками радиоактивных семейств урана и тория, находящимися в недрах планет. Автор рассматривает проблему изучения природных нейтринных потоков различного происхождения. Для этого предлагается создание большого сцинтилляционного детектора в Баксанской нейтринной обсерватории ИЯИ РАН. В диссертации приведены, полученные автором, расчеты измеряемых таким детектором потоков нейтрино и антинейтрино.

Диссертация состоит из введения, шести глав, заключения и списка литературы.

**Во введении** рассматриваются основные современные проблемы нейтринных осцилляций, и обосновывается необходимость проведения новых экспериментов для более полного исследования этого явления, включая осцилляции в стерильное состояние. Здесь также приводятся положения, выносимые на защиту.

**В первой главе** дается историческая хронология исследований и открытия нейтринных осцилляций. Приводятся данные реакторных и ускорительных экспериментов, подтверждающих существование осцилляций.

**Во второй главе** приводится феноменологическая теория нейтринных осцилляций.

**В третьей главе** рассматриваются эксперименты по измерению угла смешивания  $\theta_{13}$ , включая проект эксперимента в Красноярске, где впервые был предложен метод использования идентичных детекторов. Приводятся результаты измерения угла  $\theta_{13}$ .

**В четвертой главе** обсуждаются вопросы поиска стерильных нейтрино, рассматриваются эксперименты, в которых наблюдались аномалии при регистрации нейтрино. Приводится проведенный автором анализ экспериментальных данных измерения спектров антинейтрино на различных расстояниях от реактора, где найдены параметры нейтринных осцилляций, которые могут трактоваться как переходы в стерильное состояние.

**В пятой главе** обосновывается необходимость метрологических исследований в области нейтринной физики. Приводится результат расчета автором энергии на акт деления. Показаны результаты извлечения спектров делящихся изотопов урана и плутония из измерений на атомной станции в Ровно.

**В шестой главе** обсуждаются задачи, которые способен будет решать новый большой сцинтилляционный детектор на Баксанской подземной лаборатории. Показана важность создания такого детектора для поисков слабых нейтринных потоков и проверки ряда гипотез образования Земли и эволюции звезд.

В заключении сформулированы выводы по результатам диссертационной работы.

**Актуальность** диссертационной работы не вызывает сомнения. Полученные в ней результаты уже легли в основу важных нейтринных экспериментов, а также эти результаты сегодня востребованы на новом – более прецизионном – этапе развития ускорительных и реакторных экспериментов, в частности при поиске стерильных нейтрино на реактора.

**Новизна** диссертационного исследования подтверждается тем, что практически все результаты автором получены впервые. Так, указание на ненулевое значение угла смешивания  $\theta_{13}$  впервые было получено в эксперименте Double Chooz, где автор до сих пор принимает деятельное участие, а сам эксперимент проводится на основании предложенной автором идеи. Помимо этого, автором впервые был экспериментально получен спектр антинейтрино от  $^{238}\text{U}$  – одного из компонентов ядерного топлива.

**Практическая ценность** диссертации состоит в том, что ее результаты уже были использованы для проведения важных нейтринных экспериментов, а также **могут быть использованы** как в фундаментальных исследованиях, где значение угла смешивания  $\theta_{13}$  используется в расчетах вероятностей нейтринных осцилляций, так и в прикладных исследованиях, где уточнение спектра антинейтрино от распада  $^{238}\text{U}$  улучшает метрологическую базу для использования в задачах дистанционного мониторинга ядерного реактора.

В диссертации можно отметить и **некоторые недостатки**, например, некоторую непоследовательность в изложении материала. Вводная часть слишком затянута, первая и вторая главы диссертации в значительной степени носят вводный характер, имеющий мало отношение к работам самого диссертанта. Собственно изложение начинается с третьей главы. Имеются также опечатки и описки, повторы в тексте и в графической информации. Однако эти недостатки никак *не снижают качества работы* и могут носить характер рекомендаций.

В целом диссертационная работа **В.В.Синёва** является законченным экспериментальным научным исследованием, включающим как оригинальные разработки и предложения, так и важные физические результаты.

**Достоверность полученных результатов и обоснованность выводов не вызывает сомнения**, они подтверждены успешностью проведенных экспериментов.

**Обоснованность научных положений, выводов и рекомендаций**, сформулированных в диссертации, базируется на материалах научных работ автора, опубликованных в реферируемых отечественных и зарубежных изданиях. Автором опубликованы 32 работы по материалам диссертации. Результаты

диссертации представлялись на семинарах и рабочих совещаниях, а также неоднократно докладывались автором на различных конференциях, как в России, так и за рубежом.

Диссертационная работа была доложена и обсуждена на общелабораторном семинаре Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ 14 мая 2014 года. По результатам этого семинара был составлен данный отзыв.

Материалы диссертации со всей полнотой изложены в опубликованных работах автора. **Автореферат полностью отражает содержание диссертации.**

Таким образом, диссертация **Синёва Валерия Витальевича** на соискание ученой степени доктора наук является **научно-квалификационной работой**, в которой на основании выполненных автором исследований разработаны теоретические положения, совокупность которых **можно квалифицировать как научное достижение**, что соответствует требованиям п. 9 «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства РФ от 24.09.2013 г. № 842, а ее автор заслуживает присуждения ученой степени **доктора физико-математических наук.**

Отзыв составил:

Зам. директора ЛЯП

им. В.П.Джелепова ОИЯИ, д. ф.-м. н.

Глаголев В.В.