

ОТЗЫВ

официального оппонента о диссертационной работе **Гончара Максима Олеговича** «Измерение угла смешивания θ_{13} и расщепления масс нейтрино Δm_{32}^2 в эксперименте Daya Bay», представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.16 – физика атомного ядра и элементарных частиц.

Диссертационная работа **Гончара** посвящена измерению параметров нейтринных осцилляций в реакторном эксперименте Daya Bay:

$\sin^2 2\theta_{13}$ и Δm_{32}^2 .

Диссертация состоит из введения, 5-и глав, заключения и 3-х приложений. Объем диссертации составляет 248 страниц, включая 102 рисунка и 22 таблицы. Список литературы содержит 214 наименований. Материалы диссертации опубликованы в 4-х статьях (в частности, в PRL и PRD), и одна статья в сборнике трудов международной конференции.

В **первой главе** дан подробный обзор литературы, касающийся как основных проблем нейтринных осцилляций, так и подробного описания способов детектирования электронных антинейтрино от ядерного реактора, с перечнем первых реакторных экспериментов по измерению угла смешивания нейтрино θ_{13} (CHOOZ и Palo Verde), и, наконец, включая историю открытия реакторных нейтрино. Хотя реакторные эксперименты нечувствительны к фазе нарушения CP - инвариантности, в этом обзоре при упоминании фазы δ_{CP} (страница 16) следовало бы отметить важность поиска такой фазы в других (ускорительных) экспериментах, поскольку инвариант Ярлског ($J_{PMNS} \propto 0.035 \cdot \sin \delta_{CP}$) для матрицы смешивания Понтекорво-Маки-Накагава-Саката U_{PMNS} в лептонном секторе (в формуле (1.12)) на три порядка больше, чем в кварковом ($J_{CKM} \propto 3 \cdot 10^{-5}$). Наличие ненулевой CP фазы в нейтринной физике существенно для фундаментальной проблемы бариогенезиса посредством лептогенезиса, как одно из трех обязательных условий Сахарова в объяснении Барионной Асимметрии Вселенной (БАВ). В частности, это важно в рамках Стандартной Модели физики частиц для лепто/бариогенезиса в космологических гипермагнитных (гиперзарядовых) полях до электрослабого фазового перехода (ЭФП), когда формируется наблюдаемая БАВ (Шапошников

и др.), а сами гипермагнитные поля являются источниками первичных максвелловских полей, генерируемых после ЭФП.

При обсуждении приближений плоских волн и волновых пакетов в теории нейтринных осцилляций (страница 19 первой главы) следовало бы упомянуть пионерские работы Уолтера Гримуса с соавторами. Это нужно было сделать наряду с цитированием статьи [44], где соответствующие ссылки имеются, или ссылаясь на анализ декогерентности волновых пакетов в нейтринных осцилляциях по работе [201] в разделе 3.8 данной диссертации.

Далее **во второй главе** соискатель детально рассматривает как регистрируются реакторные антинейтрино в эксперименте Daya Bay. Для анализа экспериментальных данных, полученных при участии автора диссертации, используется плосковолновое приближение (1.25) в формулах для вероятности выживания электронных антинейтрино (2.1)-(2.4), что справедливо для реакторных экспериментов с короткой и средней базой. Исключение фоновых событий это важнейшая задача любого эксперимента. Описаны критерии отбора событий. Показано, что для осцилляционных экспериментов с несколькими идентичными детекторами коррелированные систематические неопределенности в значительной степени подавляются.

В третьей главе представлено описание программного обеспечения (ПО) dybOskar, разработанного при непосредственном участии автора диссертации. Дано предсказание ожидаемого числа взаимодействий антинейтрино в детекторах с учетом неопределенности ожидаемого спектра.

Статистическая стабильность результатов анализа, полученных посредством ПО dybOskar, исследована **в четвертой главе** диссертации посредством минимизации функции χ^2 с 253 степенями свободы. Получены распределения оценок параметров $\sin^2 2\theta_{13}$ и Δm^2_{32} с учетом влияния модели спектра антинейтрино от реактора. На представленных рисунках видно, что распределения близки к нормальному (гауссовому) в минимуме функции χ^2 .

В пятой главе представлены результаты анализа эксперимента Daya Bay. Сначала на основе 55-и и 139-и дней набора данных (первое

измерение угла смешивания $\sin^2 2\theta_{13}$), а затем на протяжении 1230 дней с регистрацией 2.5 миллионов событий и рекордным по точности значением угла смешивания $\sin^2 2\theta_{13}$, а также с измерением расщепления масс Δm_{32}^2 . как для нормальной, так и для обратной иерархии масс нейтрино.

В последнем случае (расщепление масс) результат согласуется по значению и сравним по точности с результатами ускорительных экспериментов.

В **заключении** подчеркивается, что программное обеспечение ПО `dybOscar`, как основной вклад автора диссертации в эксперименте `Daya Bay`, применимо для ряда других исследований, таких как исследование квантовой декогерентности в данном эксперименте и `KamLAND`, поиске стерильных нейтрино, измерении спектра антинейтрино от реактора. Полученные результаты по измерению угла смешивания θ_{13} являются наиболее точными среди реакторных экспериментов, а разности квадратов масс Δm_{32}^2 сопоставимы с результатами ускорительных экспериментов `MINOS` и `T2K` для обеих иерархий масс, прямой и обратной.

В **Приложении А** определены систематические неопределенности и показано сокращение коррелированных неопределенностей при «относительном» измерении несколькими детекторами. Другие методические вопросы: (i) плотность вероятности нормального распределения как функция правдоподобия или (ii) оценка вкладов статистических и систематических неопределенностей в полную ошибку измерения рассмотрены в **Приложениях Б и В** соответственно.

Имеются опечатки : 1) Во фразе на странице 20: «Волновые пакеты **не являются** стабильными и постепенно **расползается** в пространстве...» надо писать «...постепенно **расползаются**...».

2) На странице 155 вместо «...реализуется **в только** одном случае.» следует писать «...реализуется **только в** одном случае.»

Сделанные замечания или рекомендации по литературе никак не умаляют достоинств проделанной работы, являющейся новым шагом в физике нейтрино. Все элементы матрицы смешивания Понтекорво-Маки-Накагава-Саката (1.12) для дираковских нейтрино, кроме CP –

фазы, к настоящему моменту хорошо определены, включая самый малый угол смешивания θ_{13} благодаря блестящему эксперименту Daya Bay, в результаты которого весомый вклад был внесен группой Дубны и, в частности, соискателем ученой степени **Максимом Олеговичем Гончаром**.

Автореферат полностью соответствует содержанию диссертации.

Диссертационная работа выполнена на высоком научном уровне, представляет собой законченную научно-квалификационную работу и удовлетворяет всем критериям «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства РФ от 24 сентября 2013 года № 842, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук, а ее автор, **Гончар Максим Олегович**, заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.16 — физика атомного ядра и элементарных частиц.

Официальный оппонент:

Заведующий теоретическим отделом ИЗМИРАН,
д.ф.-м.н

В.Б. Семикоз

Подпись В.Б. Семикоза заверяю:
ученый секретарь ИЗМИРАН
к.ф.-м.н.



А.И. Рез

Семикоз Виктор Борисович, доктор физико-математических наук, старший научный сотрудник, заведующий теоретическим отделом федерального государственного бюджетного учреждения науки Института земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн им. Н. В. Пушкова Российской академии наук.

Адрес: 108840, г. Москва, г. Троицк, Калужское шоссе, д. 4
телефон: 8 (495) 851-09-12
e-mail: semikoz@yandex.ru