

**ОТЗЫВ официального оппонента**  
**на диссертацию на соискание ученой степени кандидата физико-**  
**математических наук Станкевича Константина Леонидовича**  
**на тему: «Осцилляции и квантовая декогеренция нейтрино»**  
**по специальности 1.3.3. – «теоретическая физика»**

Диссертация К.Л. Станкевича посвящена исследованию эффектов квантовой декогеренции в нейтринных осцилляциях. Теоретическое и экспериментальное исследование нейтринных осцилляций является одним из наиболее перспективных подходов к рассмотрению фундаментальных свойств нейтрино. Актуальность темы подтверждается строительством и функционированием нескольких крупномасштабных экспериментов, направленных на исследование свойств нейтрино. Эффекты декогеренции являются ключевыми для интерпретации прецизионных наблюдений осцилляций нейтрино, как астрофизического так и реакторного происхождения. Задача диссертации К.Л. Станкевича - построение нового последовательного квантово-полевого подхода для описания эффектов декогеренции флейворных и спин-флейворных осцилляций нейтрино.

Диссертация К.Л. Станкевича состоит из введения, 3 основных глав, заключения, списка литературы и двух приложений. Во введении описан объект исследования, предмет диссертационной работы, цель исследования, приведены обоснование актуальности, основные положения, выносимые на защиту и их научная новизна. Кроме того, введение содержит состояние научной разработки темы, апробацию результатов и перечень публикаций.

В первой главе диссертации выполнен обзор теоретического описания нейтрино и нейтринных осцилляций в Стандартной модели (СМ), минимально расширенной добавлением массы нейтрино. Приведено описание флейворных и массовых состояний нейтрино, слабых взаимодействий и электромагнитных свойств нейтрино. Подробно рассмотрены осцилляции нейтрино в вакууме, в веществе, в магнитном поле

и в движущейся среде. Рассмотрены два эффекта, связанные с коллективными осцилляциями нейтрино, - синхронизированные и биполярные коллективные осцилляции. Дано описание эволюции нейтрино как открытой системы, описаны физические предпосылки уравнения Линдблада, позволяющего описать эффекты квантовой декогеренции.

Вторая глава включает в себя основные результаты диссертации по эффектам квантовой декогеренции за счет распада массивного нейтрино на более легкое состояние и безмассовую частицу, а также за счет обратного процесса поглощения безмассовой частицы. Эти процессы могут протекать как в рамках СМ, так и в рамках ее обобщений, включающих такие новые гипотетические частицы, как темный фотон и аксион. Для указанных процессов впервые получено уравнение квантовой эволюции нейтрино в рамках парадигмы «открытой системы», по структуре являющееся уравнением Линдблада. Получен конкретный вид уравнения для электромагнитного радиационного распада нейтрино, распада нейтрино на темный фотон и аксион. Впервые получено явное выражение и численные оценки для параметра квантовой декогеренции.

В третьей главе диссертации построено последовательное описание влияния квантовой декогеренции на коллективные осцилляции нейтрино. Получены линеаризованные уравнения Линдблада для коллективных осцилляций. Впервые сформулировано условие существования биполярных коллективных осцилляций. Выполнено численное моделирование коллективных осцилляций в условиях окрестности взрыва сверхновой. Кроме того, рассмотрены осцилляции нейтрино за счет взаимодействия через зарядовый радиус и анапольный момент. Показано, что осцилляции позволяют различить эффекты зарядового радиуса и анапольного момента.

Сильной стороной диссертации К.Л. Станкевича является полнота квантово-полевого описания рассматриваемых явлений. Рассмотрение открытой системы, включающей нейтрино, является наиболее общим способом описания осцилляций. Важным достижением автора является

получение уравнений эволюции нейтрино в форме уравнения Линдблада. Кроме того, впервые из первых принципов получены важные для практических приложений численные оценки параметров декогеренции. Все полученные результаты являются новыми, они полностью обоснованы и представляются достоверными. Текст автореферата правильно и полностью отражает содержание диссертации. Основные выводы диссертации, результаты и методы работы будут использованы при проектировании новых экспериментов по регистрации астрофизических и реакторных нейтрино, а также при анализе данных существующих экспериментов.

Работа К.Л. Станкевича не лишена недостатков:

- В разделе 3.1.3 не хватает обсуждения результатов моделирования осцилляций и потенциально наблюдаемых следствий.
- В выводах к главе 3 упомянут новый резонанс в осцилляциях, связанный с анапольным моментом нейтрино. В тексте главы этот резонанс не обсуждается.
- Имеются опечатки и недостатки изложения. В первом абзаце введения отсутствуют ссылки на упомянутые результаты. В уравнении 1.24 под корнем лишний квадрат. В тексте отсутствует ссылка на рисунок 2.2. Отсутствуют детали вывода ряда соотношений (например, 2.4, 3.7), которые могут быть восстановлены при чтении, но требуют усилий.

Указанные замечания не умаляют значимости диссертационного исследования. Диссертация отвечает требованиям, установленным Московским государственным университетом имени М.В.Ломоносова к работам подобного рода. Содержание диссертации соответствует паспорту специальности 1.3.3. – «теоретическая физика» (по физико-математическим наукам), а также критериям, определенным пп. 2.1-2.5 Положения о присуждении ученых степеней в Московском государственном университете имени М.В.Ломоносова, а также оформлена, согласно приложениям № 5, 6 Положения о диссертационном совете Московского государственного университета имени М.В.Ломоносова.

Таким образом, соискатель Станкевич Константин Леонидович заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.3. – «теоретическая физика».

Официальный оппонент:

доктор физико-математических наук, профессор РАН,

заместитель директора по научной работе,

ФГБУН «Институт ядерных исследований Российской академии наук»

Рубцов Григорий Игоревич \_\_\_\_\_ «\_\_» \_\_\_\_\_ 2022 г.

Контактные данные:

тел.: 8(499)135-05-85, e-mail: [grisha@inr.ac.ru](mailto:grisha@inr.ac.ru)

Специальность, по которой официальным оппонентом

защищена диссертация:

01.04.16 – Физика атомного ядра и элементарных частиц.

Адрес места работы:

117312, Москва, В-312, проспект 60-летия Октября, 7а, ИЯИ РАН

тел.: 8(499)135-05-85, e-mail: [grisha@inr.ac.ru](mailto:grisha@inr.ac.ru)

Подпись заместителя директора по научной работе  
ФГБУН «ИЯИ РАН» Г.И. Рубцова удостоверяю: