

ОТЗЫВ официального оппонента
на диссертацию на соискание ученой степени кандидата
физико-математических наук Личкунова Алексея Андреевича
на тему: «Нейтрино в теориях с аксионо-подобными частицами»
по специальности 1.3.3 — «теоретическая физика»

Диссертация А.А. Личкунова посвящена исследованию осцилляций нейтрино в средах с учетом их взаимодействия с гипотетическими аксионоподобными частицами. Актуальность темы диссертации связана с тем, что аксионоподобные частицы являются одним из кандидатов на роль темной материи, а осцилляции нейтрино указывают на существование физических явлений за пределами Стандартной модели. Возможная связь между явлениями в нейтринном секторе и гипотетическом секторе аксионоподобных частиц может играть роль в интерпретации наблюдений многоканальной астрономии.

Диссертация соискателя состоит из введения, четырех глав, заключения и списка литературы, включающего 158 наименований.

Во введении дан краткий обзор современных исследований в области физики нейтрино, описан объект исследования, актуальность темы диссертации, методы исследования, основные положения, выносимые на защиту, научная новизна, теоретическая и практическая значимость, достоверность результатов, апробация диссертации и личный вклад автора.

В первой главе диссертации А.А. Личкунова дано подробное теоретическое описание нейтрино в рамках Стандартной модели и в ее расширениях. Приведены уравнения, описывающие нейтрино с дираковским и майорановским массовыми членами, подробно рассмотрены электромагнитные свойства нейтрино, включая магнитный момент нейтрино, дано описание квантовой декогеренции состояний нейтрино. Кроме того, в первой главе дано

теоретическое описание аксионов и аксионоподобных частиц, а также одного из их представителей последних — майоронов.

Во второй главе рассмотрены флейворные осцилляции нейтрино в присутствии аксионоподобных частиц. Построен гамильтониан взаимодействия нейтрино с классическим полем аксионоподобных частиц, а также для среды из майоронов. Показано, что среда из майоронов не изменяет угол смешивания нейтрино, но влияет на длину осцилляций. Выполнены численные расчеты для осцилляций нейтрино в присутствии аксионоподобных частиц.

В третьей главе дано описание спин-флейворных осцилляций майорановских нейтрино, в среде, включающей одновременно вещество, магнитное поле и майороны. Показано, что присутствие майоронов приводит к ряду феноменологически видимых эффектов, в том числе к изменению плотности среды, при которой наблюдаются резонансные осцилляции и подавлению осцилляций при низких энергиях.

Четвертая глава посвящена исследованию квантовой декогеренции нейтрино в стохастическом классическом поле аксионоподобных частиц. Построена диссипативная матрица, содержащая как диагональные, так и недиагональные элементы. Из анализа экспериментальных данных по декогеренции нейтрино получены ограничения на константы связи аксионоподобных частиц с нейтрино.

В заключении перечислены основные результаты диссертации.

Все выносимые на защиты результаты являются новыми. Впервые построен эффективный гамильтониан взаимодействия нейтрино с классическим полем аксионоподобных частиц, получены вероятности спин-флейворных осцилляций майорановских нейтрино в среде из майоронов с учётом CP-нарушающих фаз, построена диссипативная матрица с недиагональными элементами, описывающая декогеренцию нейтринных осцилляций в

стохастическом поле аксионоподобных частиц, получены ограничения на константы связи аксионоподобных частиц с нейтрино.

Достоверность результатов подтверждается публикациями в наиболее авторитетных научных изданиях, а также докладами на российских и международных конференциях. Полученные результаты в предельных случаях согласуются с известными из литературы.

Диссертация вносит существенный вклад в развитие методов теоретической физики для описания нейтрино и аксионоподобных частиц. Сильной стороной диссертации является последовательный гамильтонов подход, используемый для получения всех необходимых уравнений. Это позволило впервые исчерпывающим образом описать взаимодействие нейтрино с аксионоподобными частицами, а также построить диссипативную матрицу с учетом недиагональных членов. Были получены потенциально наблюдаемые следствия взаимодействия нейтрино с аксионоподобными частицами, а также новые ограничения на константу таких взаимодействий.

Работа не лишена недостатков, перечисленных ниже:

- В формуле 1.39 приведены отрицательные значения зарядового радиуса, в то время как в цитируемом обзоре [6] соответствующие значения положительные и другие по величине. В тексте нет объяснения физического смысла отрицательных значений зарядового радиуса.
- Величина магнитного момента нейтрино, используемая в третьей главе, требует эффектов новой физики, дополнительных к рассмотренным в диссертации гипотетическим аксионоподобным частицам. В диссертации отсутствует обсуждение моделей, в которых данные эффекты могли бы возникнуть совместно.
- Плотность энергии поля майоронов, используемая для численных расчетов в третьей главе, выше, чем плотность вещества в нейтронной звезде. Такие величины могут быть использованы для иллюстрации

эффекта, однако эффект, ожидаемых в многоканальных наблюдениях, будет значительно слабее.

- В четвертой главе для оценки энергии реакторных нейтрино взята величина 10 МэВ, которая близка к верхней границе спектра реакторных нейтрино. Отсутствует обоснование того, что именно эта энергия должна использоваться при интерпретации реакторных экспериментов по декогеренции.
- В диссертации присутствуют неточности описания, терминологии, опечатки. В частности, термин «аксионоподобные» по правилам русского языка должен писаться слитно, его написание через дефис — калька с английского термина «axion-like». На странице 15 употребляется термин «двойной безнейтринный бета-распад», в то время как общепринятым термином является «безнейтринный двойной бета-распад». На странице 35 используется аббревиатура «KSWZ» вместо «KSVZ». На странице 39 в лагранжиане используется «а», не определенная в тексте ранее, а также «п» вместо «ν». В тексте второй главы используется термин разговорной речи «качельный механизм». В таблице 3 приведены ограничения на константы связи F с верхними индексами, но значение верхнего индекса не описано в тексте.

Указанные замечания не умаляют значимости диссертационного исследования, не касаются его достоверности и новизны. 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, определённым пп. 2.1–2.5 Положения о присуждении учёных 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.

Соискатель Личкунов Алексей Андреевич безусловно заслуживает присуждения учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.3. — «теоретическая физика».

Официальный оппонент:

доктор физико-математических наук, член-корреспондент РАН,
заместитель директора по научной работе, заведующий лабораторией обработки
больших данных в физике частиц и астрофизике,
Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт ядерных
исследований Российской академии наук

РУБЦОВ Григорий Игоревич

«29» апреля 2026 г.

Контактные данные:

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

Подпись заместителя директора по научной работе

ИЯИ РАН Г.И. Рубцова удостоверяю:

Ученый секретарь ИЯИ РАН, к.ф.-м.н.

ВЕРЕСНИКОВА Анна Васильевна

«29» апреля 2026 г.