

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

70

требованиям Положения о совете по защите диссертаций на соискание учёной степени кандидата наук, на соискание учёной степени доктора наук 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:

тел.: +7 (499) 135-05-85; e-mail: 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

Подпись заместителя директора по научной работе

ИЯИ РАН Г.И. Рубцова удостоверяю:

Ученый секретарь ИЯИ РАН

ВЕРЕСНИКОВА Анна Васильевна

«29» апреля 2026 г.