

ОТЗЫВ официального оппонента

на диссертацию на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук Лазарева Фёдора Михайловича

на тему: «Электромагнитные свойства нейтрино в рассеянии нейтрино на нуклонах и ядрах»

по специальности 1.3.3. — «теоретическая физика»

Диссертация Ф.М. Лазарева посвящена развитию теории рассеяния нейтрино на нуклонах и ядрах и поиску новой физики в этих процессах. Актуальность темы диссертации определяется стремительным развитием экспериментальной программы по когерентному упругому рассеянию нейтрино на ядре ($CE\nu NS$). Повышенное внимание к процессам $CE\nu NS$ со стороны как экспериментаторов, так и теоретиков объясняется рядом факторов, среди которых стоит выделить следующие: прецизионная проверка стандартной теории электрослабых взаимодействий при беспрецедентно низких энергиях, изучение структуры ядра, поиск нестандартных взаимодействий, а также электромагнитных свойств нейтрино. Именно вклад последних, а конкретно нейтринных зарядовых, магнитных, электрических и анапольных формфакторов, в упругое рассеяние нейтрино на нуклонной или ядерной мишени является одним из главных предметов проведенного в работе Ф.М. Лазарева теоретического исследования.

В диссертации разработан формализм описания произвольного спин-флейворного состояния нейтрино в терминах матрицы плотности дираковской частицы, позволяющий единообразно учитывать флейворные и спиновые осцилляции нейтрино на базе источник-детектор. Получены аналитические выражения для сечений упругого рассеяния нейтрино на нуклоне и бесспиновом ядре с учётом электромагнитных и слабых

нейтральных формфакторов. Продемонстрирован новый эффект азимутальной асимметрии в угловом распределении частиц отдачи, возникающий при ненулевом магнитном моменте нейтрино и его поперечной спиновой поляризации.

Первая глава является вводной. Вторая глава содержит центральные теоретические построения. В ней также вводятся электромагнитные и слабые нейтральные формфакторы нуклонов и бесспиновых ядер, необходимые для дальнейших вычислений. Получены общие выражения для дифференциальных сечений рассеяния на нуклоне и ядре. В этой главе автором выполнено обобщение матрицы плотности поляризованной по спину дираковской частицы, на случай нескольких флейворных или массивных состояний нейтрино

Третья глава посвящена анализу вкладов отдельных электромагнитных характеристик нейтрино в сечения рассеяния на протоне и ядрах ^{40}Ar и ^{132}Xe . Рассмотрены диагональные зарядовые радиусы нейтрино в рамках Стандартной модели, а также переходные зарядовые радиусы, переходные анапольные моменты и магнитные моменты нейтрино для лево- и правоспиральных нейтрино. Показано, что вклад электромагнитических свойств нейтрино перекрывается со странным вкладом в аксиальный формфактор нуклона, а сравнение сечений для нейтрино разной спиральности позволяет различить зарядовые радиусы и анапольные моменты.

В четвёртой главе изучается эффект азимутальной асимметрии импульсов отдачи частиц мишени при наличии поперечной поляризации начального пучка нейтрино. Проведено численное моделирование рассеяния таких нейтрино на электронах, нуклонах и ядрах, иллюстрирующее характерную азимутальную зависимость в сечении. Демонстрируется также, что такое состояние нейтрино может реализоваться

в результате спин-флейворных осцилляций. Данный эффект, впервые описанный в рамках представленной диссертации, открывает новую возможность прямого наблюдения спиновых осцилляций нейтрино в эксперименте.

Достоверность и новизна полученных результатов подтверждается публикациями в рецензируемых научных изданиях, индексируемых в базах данных Web of Science и Scopus, а также докладами на российских и международных конференциях.

Отметим, что работа не лишена недостатков. Первым следует указать на недостаточную четкость изложения в некоторых местах, из-за которой в ряде случаев у читателя может возникнуть недопонимание ситуации. В частности, бывает трудно оценить вклад автора. Так, во второй главе подробно рассматриваются слабые и электромагнитные формфакторы для нуклона и ядра, и результаты выносятся в выводы главы. С учетом этого и учитывая отсутствие ссылок возникает вопрос – это новые результаты автора или нет? В качестве другого замечания можно указать, что вывод о возможности изучения выносимого на защиту эффекта азимутальной асимметрии следовало бы подкрепить примером реальных условий, при которых может возникнуть нейтрино в состоянии с поперечной спиновой поляризацией с соответствующей оценкой степени поляризации.

Однако, указанные замечания не имеют критического значения и 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, определённым пп. 2.1–2.5 Положения о присуждении учёных степеней в Московском государственном университете имени М.В.

Ломоносова, а также оформлена согласно требованиям Положения о совете по защите диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук Московского государственного университета имени М.В.Ломоносова.

Таким образом, соискатель Лазарев Фёдор Михайлович заслуживает присуждения учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.3. — «теоретическая физика».

Официальный оппонент:

кандидат физико-математических наук, доцент,
доцент кафедры теоретической физики им. Ландау,
ФГАОУ ВО «Московский физико-технический институт
(национальный исследовательский университет)»

ГРИГОРЬЕВ Александр Валентинович

«18» марта 2026 г.

Контактные данные: Григорьев Александр Валентинович, кандидат физ.-мат. наук,
Специальность, по которой официальным оппонентом защищена диссертация:
01.04.02 — Теоретическая физика.

Адрес: 141700, Московская обл., г. Долгопрудный, Институтский пер., д.9

МФТИ, Кафедра теоретической физики им. Л.Д.Ландау

Тел.: +7 (495) 408-75-90; e-mail: grigoriev.av@phystech.edu

Подпись доцента кафедры теоретической физики им. Л.Д.Ландау

МФТИ А.В. Григорьева удостоверяю:

Ученый секретарь Ученого совета МФТИ

К.ф-м.н., доцент

Евсеев Е.Г.

«18» марта 2026 г.