

ОТЗЫВ

официального оппонента, доктора физико-математических наук

Друцкого Алексея Георгиевича,

на диссертацию Лучука Станислава Владимировича

“Квазиупругое взаимодействие мюонных нейтрино заряженным током в экспериментах MiniBooNE и NOvA”,

представленную на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.15 –

Физика атомных ядер и элементарных частиц, физика высоких энергий.

Диссертация Лучука Станислава Владимировича посвящена развитию современных методов расчётов квазиупругого рассеяния нейтрино на ядрах. Лучуком была разработана и детально протестирована на имеющихся экспериментальных данных модель, включающая описание рассеяния лептонов на нуклонах ядра с учётом взаимодействия с остаточным ядром (RDWIA), а также учёт вкладов токов обменных мезонов (МЕС).

Исследования в области нейтринной физики представляют сегодня особый интерес. Их актуальность связана с целым рядом вопросов, которые в данный момент не решены. В частности, не ясна природа массы нейтрино, не измерена фаза CP -нарушения, недостаточна точность измерения параметров осцилляций.

Задача детального описания рассеяния нейтрино на ядрах чрезвычайно важна для получения точных значений дифференциальных сечений этих процессов, что, в свою очередь, необходимо для дальнейшего изучения свойств нейтрино в современных экспериментах. Описание взаимодействий с ядрами не имеет точных решений, что требует привлечения приближённых моделей. Недостаточно точное модельное описание может привести к существенным систематическим погрешностям в результатах измерений нейтринных экспериментов. В этой связи представляется особенно важной работа, выполненная в рамках данной диссертации, по разработке точной модели квазиупругого взаимодействия нейтрино с ядрами. Очевидно, что актуальность темы диссертации С. В. Лучука, которая посвящена исследованию квазиупругого рассеяния нейтрино на ядрах с учетом мезонных обменных токов не вызывает сомнения.

Диссертация содержит введение, четыре главы и заключение.

Актуальность темы диссертации, цели и задачи работы, ее новизна и практическая значимость описаны **во введении**. Также сформулированы положения, выносимые на защиту и приведены методы исследования.

В первой главе приводится формализм, развитый для описания инклюзивных процессов рассеяния лептонов на ядрах. Получен общий вид выражений для сечений этих

процессов, лептонного и адронного тензоров, а также продольной и поперечной ядерных функций отклика. Рассматриваются вклады мезонных обменных токов.

Во второй главе приводится описание релятивистской модели искаженных волн в импульсном приближении (RDWIA), в которой учитываются взаимодействия выбитых нуклонов с остаточным ядром. В рамках этой модели рассматривается структура ядра, в которой большая часть нуклонов расположена на оболочках, а остальные нуклоны находятся в коррелированных состояниях и образуют нуклон-нуклонные пары. Приводится описание RDWIA+MEC модели, в рамках которой проводятся расчеты сечений взаимодействия нейтрино на ядрах. Представлены параметризации ядерных функций отклика для мезонных обменных токов (MEC). Описан метод, который используется для определения аксиального форм-фактора нуклона по данным эксперимента MiniBoone, где были получены дифференциальные сечения квазиупругого рассеяния нейтрино на ядрах.

В третьей главе ядерные функции отклика и дифференциальные сечения рассеяния электронов на ядрах углерода, кальция и аргона, вычисленные в рамках RDWIA+MEC модели с учетом вкладов барионных резонансов, сравниваются с экспериментальными данными. Предполагается, что взаимодействия электронов с ядрами с хорошей точностью совпадает по описанию с взаимодействиями нейтрино с ядрами. Из сравнения с экспериментальными данными получена консервативная оценка точности расчетов вкладов мезонных обменных токов. В этой главе рассмотрены, также, эффекты двух - частичных мезонных токов и больших аксиальных масс нуклона на дифференциальные сечения рассеяния нейтрино на ядрах.

В четвертой главе представлена зависимость аксиального форм – фактора нуклона от квадрата переданного 4-х импульса, полученного из анализа дифференциальных сечений рассеяния нейтрино на углероде, измеренных в эксперименте MiniBoone. Определено значение аксиальной массы нуклона. Это значение хорошо согласуется с мировыми данными. Результаты вычислений сравниваются с измерениями, выполненными в эксперименте MiniBoone. В последней части главы делаются предсказания для измерений эксперимента NOvA. Проводятся вычисления интегрированных по спектру нейтрино квазиупруго-подобных сечений рассеяния нейтрино на нейтронах детектора NOvA.

В заключении представлены основные результаты диссертационной работы.

Научная новизна работы состоит в том, что впервые была использована объединенная модель RDWIA+MEC для анализа квазиупруго-подобных сечений рассеяния лептонов на ядрах. В рамках данной модели исследованы эффекты большой аксиальной массы нуклона и вкладов обменных мезонов на поведение дифференциальных сечений рассеяния нейтрино. Впервые из данных эксперимента MiniBoone определен аксиальный форм-фактор нуклона. Вычислены сечения квазиупруго-подобных процессов при энергиях эксперимента NOvA.

Практическая и научная значимость работы состоит в том, что предложенная объединенная модель RDWIA+MEC хорошо описывает данные по рассеянию лептонов на ядрах. Ее можно уверенно использовать в дальнейших расчетах квазиупруго-подобных процессов рассеяния нейтрино на ядрах. Кроме того, в рамках данной модели из экспериментальных данных определены значения аксиальной массы нуклона.

Достоверность полученных результатов подтверждается сравнением результатов расчетов с экспериментальными данными по рассеянию лептонов на ядрах.

Диссертация выполнена на высоком научном уровне. Текст диссертации производит очень хорошее впечатление аккуратностью и последовательностью изложения материала. Автором выполнен большой объём работы, требующей учёта множества мелких деталей и нюансов, при этом автор сохраняет строгость и точность формулировок и изложения предмета исследования. Выводы, сформулированные в диссертации, являются полностью обоснованными.

Тем не менее, в диссертации имеются мелкие недостатки. В тексте имеется небольшое количество опечаток, например стр. 12 внизу “локальльной”. По-видимому, наиболее важным результатом работы являются предсказания сечений рассеяния нейтрино на нейтронах для детектора NOvA. Словами дано описание процессов, но хотелось бы видеть схему установки NOvA, возможно также представление вида регистрируемых событий.

Слишком упрощенно представлено сравнение экспериментальных данных с результатами моделирования (глава 4). Не указано, откуда взяты данные MiniBoone, используемые для сравнения. По-видимому, это публикация MiniBoone collaboration, Phys.Rev.D81: 092005, 2010 (arXiv:1002.2680). Это не измерения со статистическими погрешностями. Данные получены путём unfolding, при этом систематические ошибки включены. Соответственно, значения χ^2 , полученные при подгонке аксиальной массы нуклона, не имеют практического смысла. Это видно также из того, что экспериментальные данные имеют явно сильно сглаженную форму (например рис. 22-24). Вообще говоря, эти аспекты обсуждаются в статьях (например в [134]), но в диссертации особенности используемых экспериментальных данных и их влияния на результат не обсуждаются. Вследствие этого, погрешность на M_A может быть определена неверно.

Отмеченные недостатки не умаляют достоинств диссертации. Диссертация Лучука является законченным научным исследованием высокого уровня. Полученные результаты опубликованы в престижных научных журналах и докладывались на главных международных конференциях и семинарах. Из текста диссертации видна огромная проделанная работа, которая чрезвычайно важна для успешной работы эксперимента NOvA. Все выносимые на защиту результаты получены при определяющем или значительном вкладе самого автора.

Автореферат диссертации полностью соответствует её содержанию.

Диссертация С. В. Лучука безусловно отвечает всем требованиям «Положения о порядке присуждения ученых степеней», предъявляемым к диссертациям на соискание

учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.15 – физика атомных ядер и элементарных частиц, физика высоких энергий, а её автор С.В. Лучук заслуживает присуждения этой степени.

05.09.2023 г.

Друцкой Алексей Георгиевич
доктор физико-математических наук,
высококвалифицированный ведущий научный сотрудник, и. о. зав. лаборатории ЛТКЛ
Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Физический институт им. П.Н. Лебедева Российской академии наук (ФИАН)
119991 г. Москва, Ленинский проспект, д.53
Телефон: 8(499)135-42-64
Адрес электронной почты: Drutskoy@lebedev.ru

А.Г. Друцкой

Подпись А.Г. Друцкого заверяю:
Начальник отдела кадров ФИАН,
5 сентября 2023 года

Н. Ю. Бордачева

Друцкой Алексей Георгиевич – доктор физико-математических наук по специальности 01.04.23 – «Физика высоких энергий». Список основных публикаций по теме оппонируемой диссертации в рецензируемых научных изданиях за последние 5 лет:

1. E. S. Antonov and A. G. Drutskoy, Measurement of $Br(H \rightarrow Z)$ at the 250 GeV ILC, JETP Letters, Volume 117, Issue 3, p.177-183, (2023)
2. E. Antonov and A. Drutskoy, Measurement of $\sigma(e^+e^- \rightarrow HZ) \times Br(H \rightarrow ZZ^*)$ at the 250 GeV ILC, Phys. Rev. D 104 (2021) no.9, 093007
3. V. M. Abazov et al. [D0 Collaboration], Study of the normalized transverse momentum distribution of W bosons produced in pp^- collisions at $\sqrt{s} = 1.96$ TeV, Phys. Rev. D 103 (2021) no.1, 012003
4. V. M. Abazov et al. [D0 Collaboration], Studies of $X(3872)$ and $\psi(2S)$ production in pp^- collisions at 1.96 TeV, Phys. Rev. D 102 (2020) no.7, 072005
5. V. M. Abazov et al. [D0 Collaboration], Properties of $Z(3900)$ Produced in pp^- Collision, Phys. Rev. D 100 (2019), 012005
6. А. Г. Друцкой, Эксперименты на линейном коллайдере ILC: ожидаемые результаты физических исследований, УФН 189, 478 (2019)
7. J. Repond et al. [CALICE Collaboration], Hadronic Energy Resolution of a Combined High Granularity Scintillator Calorimeter System, JINST 13 (2018) no.12, P12022
8. V. M. Abazov et al. [D0 Collaboration], Study of the $X^\pm(5568)$ state with semileptonic decays of the B_s^0 meson, Phys. Rev. D 97, no. 9, 092004 (2018)