

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА 24.1.163.01  
НА БАЗЕ Федерального государственного бюджетного учреждения науки  
Института ядерных исследований Российской академии наук (ИЯИ РАН)  
ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА  
НАУК

аттестационное дело № \_\_\_\_\_  
решение диссертационного совета от **21.09.2023 г. № 5/5**

О присуждении **Лучуку Станиславу Владимировичу**, гражданину Российской Федерации, ученой степени кандидата физико-математических наук.

Диссертация «Квазиупругое взаимодействие мюонных нейтрино заряженным током в экспериментах MiniBooNE и NOvA» по специальности 1.3.15 — Физика атомных ядер и элементарных частиц, физика высоких энергий, принята к защите 22 июня 2023 года, протокол № 2/2 диссертационным советом 24.1.163.01 на базе Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института ядерных исследований Российской академии наук (ИЯИ РАН), 117312, г. Москва, пр-т 60-летия Октября, 7а., приказ Министерства науки и высшего образования Российской Федерации № 823/нк от 20 апреля 2023 года.

Соискатель Лучук Станислав Владимирович 1991 года рождения. В 2015г. соискатель окончил магистратуру Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Московский физико-технический институт (государственный университет)» по направлению подготовки «03.04.01-Прикладные математика и физика». В 2019 г. соискатель окончил очную аспирантуру Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Московский физико-технический институт (национальный исследовательский университет)» по направлению подготовки «03.06.01-Физика и астрономия», по специальности «01.04.16 - Физика атомного ядра и элементарных частиц». В настоящее время работает в должности инженера отдела лептонов высоких энергий и нейтринной астрофизики Федерального

государственного бюджетного учреждения науки Института ядерных исследований Российской академии наук (ИЯИ РАН).

Диссертация выполнена в отделе лептонов высоких энергий и нейтринной астрофизики, Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института ядерных исследований Российской академии наук.

Научный руководитель – доктор физико-математических наук, Буткевич Анатолий Викторович, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт ядерных исследований Российской академии наук, отдел лептонов высоких энергий и нейтринной астрофизики, ведущий научный сотрудник.

Официальные оппоненты:

**Друцкой Алексей Георгиевич**, доктор физико-математических наук, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Физический институт им. П.Н. Лебедева Российской академии наук (ФИАН), лаборатория тяжелых кварков и лептонов, и.о. зав. лабораторией, высококвалифицированный ведущий научный сотрудник,

**Наумов Вадим Александрович**, кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник, Международная межправительственная организация "Объединенный институт ядерных исследований" (ОИЯИ), лаборатория теоретической физики им. Н.Н. Боголюбова, начальник сектора "Нейтринная физика",

дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация – Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Национальный исследовательский ядерный университет "МИФИ", г. Москва – в своем положительном заключении, подписанном Болоздыней Александром Ивановичем, доктором физико-математических наук, заведующим межкафедральной лабораторией экспериментальной ядерной физики НИЯУ МИФИ и утвержденном ректором НИЯУ МИФИ, доктором физико-математических наук, Шевченко Владимиром Игоревичем,

указала, что работа отвечает требованиям «Положения о присуждении ученых степеней», утверждённого постановлением Правительства РФ от 24 сентября 2013 года № 842, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук, а ее автор Лучук Станислав Владимирович заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.15 – Физика атомных ядер и элементарных частиц, физика высоких энергий.

Соискатель имеет 3 работы по теме диссертации, опубликованных в рецензируемых научных изданиях, рекомендованных ВАК.

Представленные соискателем сведения об опубликованных им работах, в которых изложены основные научные результаты диссертации, достоверны. Текст опубликованных работ полностью соответствует тематике диссертации, они написаны либо при решающем участии соискателя, либо им самостоятельно.

Список основных работ, по результатам диссертационного исследования:

1. A. V. Butkevich, **S. V. Luchuk**. Quasielastic neutrino charged-current scattering off  $^{12}\text{C}$  : Effects of the meson exchange currents and large nucleon axial mass // - Phys. Rev. C. -2018. -97. -p.045502.
2. A. V. Butkevich, **S. V. Luchuk**. Testing of quasi-elastic neutrino charged-current and two-body meson exchange current models with the MiniBooNE neutrino data and analysis of these processes at energies available at the NOvA experiment // - Phys. Rev. D. -2019. -99. -p.093001.
3. A. V. Butkevich, **S. V. Luchuk**. Inclusive electron scattering off  $^{12}\text{C}$ ,  $^{40}\text{Ca}$ , and  $^{40}\text{Ar}$ : Effects of the meson exchange currents // -Phys. Rev. C. -2020. -102. -p.024602.

Автореферат полно и правильно отражает содержание диссертации.

На диссертацию и автореферат поступили отзывы оппонентов и ведущей организации, в которых отмечено, что работа представляет собой законченное исследование, выполненное на высоком научном уровне, имеющее большое научное значение и полностью отвечает всем требованиям к кандидатским диссертациям, предъявляемым Положением о порядке присуждения ученых

степеней, утверждённым Постановлением Правительства РФ № 842 от 24 сентября 2013 г.

Отмечены следующие критические замечания и пожелания:

- 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 «разворачивания» (от англ. - unfolding), при этом систематические ошибки включены. Соответственно, значения  $\chi^2$  квадрат, 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.

- Автор не обсуждает условия применимости модели RDWIA, т.е. допустимые диапазоны энергий начального лептона и переданных импульсов. Недостаточно объяснены наблюдаемые в некоторых кинематических областях разногласия между расчётом и экспериментальными данными по электромагнитным функциям отклика  $RL, T$  (см. рисунки в разделе 3.1). Было бы также полезно обсудить возможные причины и статистическую значимость большого расхождения между значениями  $M_A$ , извлекаемыми из данных по квазиупругому рассеянию (анти)нейтрино на водороде и дейтерии ( $M_A \sim 1$  ГэВ) и из данных MiniBooNE ( $M_A \sim 1.2$  ГэВ).

- В разделе 4.1 на рисунке 16 (б) приведены аксиальные форм-факторы нуклона, полученные с учётом и без учёта вклада обменных мезонов. Как следует из графика форм-фактор, полученный без учёта вклада обменных мезонов, лучше описывается дипольным приближением, чем с учётом. В диссертации отсутствует объяснение.

- В диссертации приводится значение аксиальной массы нуклона, которая является параметром в дипольном приближении аксиального форм-фактора.

Физической величиной является аксиальный радиус нуклона, поэтому было бы уместным приводить значения этого радиуса, как это делается во многих работах.

- В модели RDWIA при расчётах инклюзивных сечений пренебрегается мнимой частью оптического потенциала, недостаточно полно описаны погрешности, вызванные таким упрощением.

- С. 28 – неудачная конструкция: «...тензоры построены на слабом  $J$  заряженном  $j$  и адронном токах.» Здесь же: «Константа  $G$  с тильдой». Но  $G$  с тильдой конечно не константа, а функция  $Q$  квадрат.

- «При  $Q$  квадрат  $< 1$  ГэВ зависимость форм-факторов от  $Q$  квадрат хорошо описывается дипольной параметризацией». Это - крайне сомнительное утверждение. Для форм-факторов протона дипольная параметризация годится в лучшем случае при  $Q$  квадрат  $< (0.1 - 0.2)$  ГэВ, а для форм-факторов нейтрона она совсем никуда не годится и может использоваться лишь как грубое приближение. К счастью, как следует из публикаций автора, эта грубая модель не используется в дальнейшем, хотя об этом в диссертации не упоминается.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается высокой квалификацией оппонентов и сотрудников ведущей организации и наличием работ высокого научного уровня по близкой тематике.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

- Предложена объединенная модель RDWIA+MEC искаженных волн в импульсном приближении с учетом вкладов 2-х частичных токов обменных мезонов для описания квазиупруго-подобных сечений рассеяния нейтрино на ядрах.

- Показано, что эта модель хорошо описывает продольную и поперечную электромагнитные функции отклика и инклюзивные сечения рассеяния электронов на ядрах. Точность расчета этих сечений оценивается на уровне 8-12%.

- Показано, что распределение по инвариантной массе позволяет лучше различить эффекты, обусловленные большой аксиальной массой и вкладами обменных мезонов. Для этого проведено сравнение дифференциальных сечений

рассеяния нейтрино как функций энергии мюона, квадрата переданного 4-х импульса и инвариантной массы, вычисленных в RDWIA + MEC и RDWIA (с большой аксиальной массой нуклона порядка 1.35 ГэВ) подходах.

- Показано, что нейтринные дифференциальные сечения квазиупругого процесса, измеренные в эксперименте MiniBooNE, хорошо описываются в рамках RDWIA+MEC подхода.
- Определены зависимость аксиального форм фактора нуклона от квадрата переданного 4-х импульса и аксиальная масса нуклона равная 1.2 ГэВ из данных по дифференциальным сечениям эксперимента MiniBooNE.
- Вычислены интегральные по спектру нейтрино в эксперименте NOvA дифференциальные и двойные дифференциальные сечения квазиупруго подобных процессов рассеяния в ближнем детекторе. Вклад двух-частичных токов обменных мезонов, оценивается как 30-35%.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что: предложенная объединенная модель искаженных волн в импульсном приближении с учетом вкладов двух-частичных токов, обусловленных рассеянием на обменных мезонах, RDWIA+MEC способна правильно описывать экспериментальные данные квазиупруго-подобных процессов рассеяния электронов и нейтрино на ядрах, поэтому она может использоваться в расчетах сечений рассеяния лептонов на других ядерных мишенях.

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что:

получена зависимость аксиального форм-фактора нуклона от  $Q^2$  квадрат и значение аксиальной массы нуклона (дипольное приближение) равное  $M_a = 1.20 \pm 0.06$  ГэВ, что согласуется с современными оценками этого параметра  $1.0 < M_a < 1.2$  ГэВ.

Оценка достоверности результатов выявила, что:

- Результаты расчетов полученных в рамках RDWIA+MEC модели находятся в согласии с данными по рассеянию электронов на ядрах углерода, кальция и аргона, т.е. основных ядрах-мишенях в нейтринных экспериментах.
- Значение аксиальной массы нуклона 1.2 ГэВ, полученное из анализа данных эксперимента MiniBooNE, согласуется с результатами других исследований.

Личный вклад соискателя состоит в получении основных результатов диссертации, выносимых на защиту. Непосредственно автором было выполнено:

- Разработка и тестирование всех программных компонентов для расчета сечений.
- Анализ эффектов, обусловленных большой аксиальной массой и вкладами обменных мезонов.
- Определение значений аксиального форм-фактора нуклона и аксиальной массы нуклона.
- Расчет интегрированных по спектру нейтринного пучка дифференциальных сечений рассеяния нейтрино в ближнем детекторе NOvA и оценка точности проведенных расчетов.

На заседании 21 сентября 2023 года диссертационный совет принял решение присудить Лучуку Станиславу Владимировичу ученую степень кандидата физико-математических наук.

При проведении тайного голосования, диссертационный совет в количестве **21** человека, из них **8** докторов наук по специальности 1.3.15 – Физика атомных ядер и элементарных частиц, физика высоких энергий, участвовавших в заседании, из **27** человек, входящих в состав совета, дополнительно введены на разовую защиту **0** человек, проголосовали: **за - 21**, **против - 0**, **недействительных бюллетеней - 0**.

Председатель  
диссертационного совета 24.1.163.01  
доктор техн. наук, чл.-корр. РАН

\_\_\_\_\_ Кравчук Л.В.

Ученый секретарь  
диссертационного совета 24.1.163.01  
кандидат физ.-мат. наук

\_\_\_\_\_ Демидов С.В.

21.09.2023 г.

м.п.