

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 **19.06.2025** г. № **28/6**

О присуждении **Фазлиахметову Алмазу Наиловичу**, гражданину Российской Федерации, ученой степени кандидата физико-математических наук. Диссертация «Исследование взаимодействия нейтрино с ядрами ^{71}Ga , ^{76}Ge , ^{127}I , $^{128,130}\text{Te}$ » по специальности 1.3.15 – Физика атомных ядер и элементарных частиц, физика высоких энергий, принята к защите 26 декабря 2024 года, протокол № 22/15 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 Фазлиахметов Алмаз Наилович 1993 года рождения. В 2018 году соискатель с отличием освоил программу магистратуры Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Московский физико-технический институт (национальный исследовательский университет)» (МФТИ) по направлению подготовки 03.04.01 — «Прикладные математика и физика», (диплом 107724278096, выданный 16.07.2018 г.). В 2022 году окончил 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, что соответствует специальности 1.3.15 – Физика атомных ядер и элементарных частиц, физика высоких энергий по новой номенклатуре. В настоящее время работает в должности младшего научного сотрудника отдела экспериментальной физики

Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института ядерных исследований Российской академии наук.

Диссертация выполнена в отделе экспериментальной физики Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института ядерных исследований Российской академии наук.

Научный руководитель – **Лубсандоржиев Баярто Константинович**, доктор физико-математических наук, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт ядерных исследований Российской академии наук, отдел экспериментальной физики, ведущий научный сотрудник.

Официальные оппоненты:

Дворников Максим Сергеевич, доктор физико-математических наук, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт Земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн им. Н.В. Пушкова Российской академии наук (ИЗМИРАН), теоретический отдел, и.о. заведующего теоретическим отделом, ведущий научный сотрудник,

Окороков Виталий Алексеевич, доктор физико-математических наук, Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», кафедра физики (№23), профессор,

дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация: Федеральное государственное бюджетное учреждение "Петербургский институт ядерной физики им. Б.П. Константинова Национального исследовательского центра «Курчатовский институт» (НИЦ «Курчатовский институт» – ПИЯФ) (г. Гатчина), в своем положительном заключении, подписанном Кимом Виктором Тимофеевичем, доктором физико-математических наук, заместителем руководителя Отделения физики высоких энергий; Фединым Олегом Львовичем, доктором физико-математических наук, руководителем Отделения физики высоких энергий, и утвержденном заместителем директора НИЦ «Курчатовский институт» – ПИЯФ, кандидатом технических наук, Максимовым Владимиром Исааковичем,

указала, что диссертация Фазлиахметова А.Н. соответствует всем требованиям, предъявляемым ВАК и Минобрнауки РФ к кандидатским диссертациям, а соискатель Фазлиахметов Алмаз Наилович, безусловно, заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.15 - Физика атомных ядер и элементарных частиц, физика высоких энергий.

Соискатель имеет **10** опубликованных работ по теме диссертации, **9** из которых опубликованы 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. Interaction of Solar Neutrinos with ^{128}Te and $^{128,130}\text{Te}$ / Yu. S. Lutostansky, A. N. Fazliakhmetov, B. K. Lubsandorzhiev, N. A. Belogortseva, G. A. Koroteev, A. Yu. Lutostansky, V. N. Tikhonov // Bull. Russ. Acad. Sci. Phys. – 2024. – Т. 88, No 8. – С. 1223–1229. <https://doi.org/10.1134/S1062873824707347>

2. Влияние функции Ферми на сечение захвата нейтрино / А. Н. Фазлиахметов, Ю. С. Лютостанский, Г. А. Коротеев, А. П. Осипенко, В. Н. Тихонов // Физика элементарных частиц и атомного ядра. – 2023. –Т. 54, No 3. – С. 668—675. <https://doi.org/10.1134/S1063779623030139> (англ. вер.)

3. Structure of the Charge-Exchange Strength Function of Tellurium Isotopes 128 and 130 / A. N. Fazliakhmetov, Yu. S. Lutostansky, B. K. Lubsandorzhiev, G. A. Koroteev, A. Yu. Lutostansky, V. N. Tikhonov // Phys. Atom. Nucl. – 2023. – Т. 86, No 5. – С. 736—741. <https://doi.org/10.1134/S1063778823050162>

4. Current status of the Baksan Large Neutrino Telescope / A.D. Lukanov, D.M. Voronin, A.N. Fazliakhmetov, E. P. Veretenkin, A. M. Gangapshv, V. N. Gavrinn, T. V. Ibragimova, V. V. Kazalov, V. V. Kuzminov, B. K. Lubsandorzhiev, Y. M. Malyshekin, D. A. Nanzanov, G. Y. Novikova, V. B. Petkov, A. Y. Sidorenkov, O.

- Y. Smirnov, N. A. Ushakov, A. A. Shikhin, E. A Yanovich // Bull. Russ. Acad. Sci. Phys. 87 (2023) 7 929-934. <https://doi.org/10.3103/S1062873823702805>
5. New prospects for iodine detector and Solar neutrinos registration / Yu. S. Lutostansky, A. N. Fazliakhmetov, G. A. Koroteev, N. V. Klochkova, A. Y. Lutostansky, A. P. Osipenko, V. N. Tikhonov // Physics Letters B. – 2022. – Т. 826. – С. 136905. <https://doi.org/10.1016/j.physletb.2022.136905>.
 6. Light concentrators for large-volume detector at the Baksan Neutrino Observatory / A. N. Fazliakhmetov, V. N. Gavrin, T. V. Ibragimova, B. K. Lubsandorzhiev, A. D. Lukanov, Yu. M. Malyshkin, A. Y. Sidorenkov, A. A. Shikhin, O. Y. Smirnov, N. A. Ushakov, E. P. 23 Veretenkin, D. M. Voronin // PoS. – 2021. – Т. ICRC2021. – С. 1097. <https://doi.org/10.22323/1.395.1097>
 7. Влияние высоколежащих резонансов на сечения захвата солнечных нейтрино ядром ^{127}I / Ю. С. Лютостанский, Г. А. Коротеев, Н. В. Ключкова, А. П. Осипенко, В. Н. Тихонов, А. Н. Фазлиахметов // Ядерная физика. – 2020. – Т. 83, № 3. – С. 208—216. <https://doi.org/10.31857/S004400272002018X>
 8. Взаимодействие нейтрино с системой Ga–Ge и ядерные резонансы / Г. А. Коротеев, Н. В. Ключкова, Ю. С. Лютостанский, А. П. Осипенко, В. Н. Тихонов, А. Н. Фазлиахметов // Известия Российской академии наук. Серия физическая. – 2020. – Т. 84, № 8. – С. 1090—1093. <https://doi.org/10.31857/S0367676520080190>
 9. Сечение захвата солнечных нейтрино ядром ^{76}Ge / А. К. Выборов, Л. В. Инжечик, Ю. С. Лютостанский, Г. А. Коротеев, В. Н. Тихонов, А. Н. Фазлиахметов, // Известия Российской академии наук. Серия физическая. – 2019. – Т. 83, № 4. – С. 534—538. <https://doi.org/10.1134/S0044002719050131>
 10. Solar neutrino capture by ^{128}Te , ^{130}Te isotopes and Baksan Large Neutrino Telescope Project / A. N. Fazliakhmetov, Yu. S. Lutostansky, B. K. Lubsandorzhiev, G. A. Koroteev, V. N. Tikhonov // <https://arxiv.org/abs/2407.10357>

Аннотация полно и правильно отражает содержание диссертации.

На диссертацию и аннотацию поступили отзывы оппонентов и ведущей организации, в которых отмечено, что диссертация выполнена на актуальную

тему и является глубоким, самостоятельным и законченным научным исследованием.

Диссертация полностью отвечает всем требованиям к кандидатским диссертациям, предъявляемым Положением о порядке присуждения ученых степеней, утверждённым Постановлением Правительства РФ № 842 от 24 сентября 2013г.

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

В отзывах оппонентов и ведущей организации были высказаны следующие критические замечания и пожелания:

- Более подходящим было бы более конкретное название диссертационной работы: «Исследование взаимодействия ...» выглядит слишком общим.
- В работе рассмотрены только взаимодействие с электронными нейтрино от Солнца, с энергиями < 20 МэВ и не рассматривались взаимодействие с более высокоэнергетичными нейтрино.
- Влияние выбора Ферми-функции на сечение захвата нейтрино рассмотрено только на примере ядра ^{127}I . Расчеты для других ядер (например ^{71}Ga) могли бы быть важным дополнением к тексту диссертации.
- В диссертации имеются стилистические ошибки и опечатки. Например стр. 9: «Публикации [1-9] по результатам», хотя они нумеруются А1-А9. В некоторых местах ^3He пишется курсивом (стр. 5) в других (стр. 22) прямым шрифтом. Функции «exp», «sin» и «cos» в формулах (1.7), (2.10), (5.3) и (5.4) написаны наклонным шрифтом. Кроме того, в русскоязычной литературе следует использовать обозначение «tg» вместо «tan». В формуле (1.2) пропущена скобка в одной из реакций. Во многих местах диссертации пропущены знаки тире. В качестве опечаток можно отметить «Пологая» на стр. 15, «полноя» на стр. 19, «вклада полный фон» на стр. 65. Не понятен смысл фраз «Большая часть силы переходов Ферми» на стр. 21, «Формула F_0 и в поправочный член L_0 явно зависят значения радиуса ядра R » на стр. 52.

- Часть иллюстраций, например Рис. 1.1, 2.1-2.3, приведены без указания источников.
- В тексте пп. 2.3, 2.4 отсутствует обсуждение качества аппроксимаций экспериментальных зарядово-обменных силовых функций ядер ^{71}Ga и ^{127}I , представленных на рис. 2.6, 2.14 соответственно.
- На рис. 2.6, 2.14 и 4.16 представлено сравнение экспериментальных силовых функций ядер ^{71}Ga , ^{127}I и $^{128,130}\text{Te}$ только с расчетными кривыми, полученными в рамках теории конечных ферми-систем, в то время как обсуждение результатов на основе других теоретических методик расчета отсутствует.
- В главах 2 – 4 скорости захвата солнечных нейтрино рассчитаны без учета осцилляций солнечных электронных нейтрино в другие ароматы, что затрудняет сравнение полученных результатов с уровнями фонов от других источников в экспериментах.

В целом, диссертация написана в сжатом, но довольно ясном стиле и хорошо оформлена. Указанные выше замечания незначительны и несколько не снижают высокой научной ценности представленной диссертации.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

1. Обработаны экспериментальные данные по реакциям перезарядки (p, n) и ($^3\text{He}, t$) для изотопов ^{71}Ga , ^{76}Ge , ^{127}I , $^{128,130}\text{Te}$. Проведен анализ этих спектров, выполнено разложение экспериментального спектра возбуждения на отдельные ядерные резонансы (пигми, гигантский Гамов-Теллеровский, аналоговые) и на подложку фона от переходов в квазисвободные состояния. Для каждого резонанса, в зависимости от его формы, были получены его параметры: положения пика и ширина. Исходя из параметров резонансов, полученных при разложении спектров реакций перезарядки, для каждого изотопа: ^{71}Ga , ^{76}Ge , ^{127}I , $^{128,130}\text{Te}$ была построена экспериментальная силовая функция $S(E)$, характеризующая интенсивность переходов в конечном ядре в зависимости от энергии возбуждения.

2. Впервые для ядер ^{71}Ga , ^{76}Ge , ^{127}I , $^{128,130}\text{Te}$ были рассчитаны сечения захвата нейтрино $\sigma(E\nu)$ с учетом не только низколежащих дискретных частей,

но и с учетом резонансного вклада экспериментальной зарядово-обменной силовой функции $S(E)$. Для всех ядер было показано, что с ростом энергии налетающих нейтрино, в сечении захвата нейтрино $\sigma(E_\nu)$ начинает доминировать вклад от резонансной части экспериментальной силовой функции $S(E)$.

3. Впервые для ядер ^{71}Ga , ^{76}Ge , ^{127}I , $^{128,130}\text{Te}$ были рассчитаны скорости захвата нейтрино R с учетом резонансной структуры зарядово-обменной силовой функции $S(E)$. Результаты расчетов с учетом только вклада дискретных частей в силовую функцию хорошо согласовались с результатами других научных групп. Показано, что для некоторых изотопов, например ^{71}Ga , доучет резонансной структуры в силовой функции не оказывает существенного влияния на итоговую скорость захвата. С другой стороны, для ^{71}Ga , ^{76}Ge , ^{127}I , $^{128,130}\text{Te}$ учет резонансной структуры значительно (до 2х раз для ^{128}Te) повышает итоговую скорость захвата R . Такое поведение, в первую очередь, связано с порогом реакции захвата нейтрино, в зависимости от которого в R будут доминировать вклады либо от низкоэнергетичных pp -нейтрино (для ^{71}Ga), либо от высокоэнергетичных нейтрино от канала ^8B (^{127}I , $^{128,130}\text{Te}$).

4. Исследовано влияние выбора варианта Ферми-функции на сечение и скорости захвата солнечных нейтрино ядром ^{127}I . Показано, что разные варианты расчета Ферми-функции дают разницу в скоростях захвата нейтрино R до $\approx 15\%$. Наиболее чувствительно точное определение Ферми-функции для изучения спектра борных нейтрино.

5. Используя полученные ранее оценки на скорости захвата солнечных нейтрино изотопами ^{128}Te и ^{130}Te , сделана оценка числа событий от захвата нейтрино от Солнца этими же изотопами для 100-тонного сцинтилляционного детектора ББНТ при концентрации природной смеси изотопов теллура в сцинтилляторе 1%: ≈ 0.3 события в год около значения $Q_{\beta\beta} = 2527.51$ кэВ. Оценка на число событий $0\nu\beta\beta$ распада ^{130}Te при ожидаемой $T_{1/2}^{0\nu} (^{130}\text{Te}) = 10^{27}$ лет дает значение ≈ 1 событие в год. Хотя и для детектора такой массы данным фоновым процессом можно пренебречь, для нового поколения детекторов массой больше 1 кт относительный вклад фона от процесса захвата солнечных нейтрино будет расти. Для экспериментов следующего поколения требуется тщательная оценка этого фона.

6. Для 5-тонного прототипа ББНТ разработан и создан концентратор света. Форма профиля концентратора была рассчитана с использованием метода струны («string method»). Был создан алгоритм, оптимизирующий светосбор концентратора, в зависимости от профиля фотокатода ФЭУ, расстояния до светоизлучающей сферы, ее диаметра и пр. Программная реализация данного алгоритма была сделана на языке Python с привлечением библиотеки numpy. Производство концентратора света по оптимизированной форме было внедрено на предприятии ООО «Гидромания». Использование концентраторов света в проекте ББНТ позволит увеличить светосбор детекторов и, соответственно, улучшить энергетическое разрешение, что говорит о практической ценности полученных в диссертации результатов.

Теоретическая значимость работы состоит в получении значений сечений и скоростей захвата нейтрино от Солнца для упомянутых выше ядер, которые могут быть использованы для идущих в настоящее время и будущих международных экспериментов в нейтринной физике по измерению двойного безнейтринного бета-распада (SNO+, LEGEND и др.) и радиохимических детекторов нейтрино от искусственных источников (SAGE, BEST).

Достоверность полученных результатов подтверждается хорошим согласием с уже полученными результатами других зарубежных научных групп, рассчитывающих сечение и скорости захвата нейтрино с учетом дискретных уровней, а также апробацией результатов диссертационной работы на многочисленных конференциях как международных, так и российских. Следует также отметить, что по теме диссертации опубликовано 9 работ в рецензируемых журналах.

Все результаты, выносимые на защиту, получены автором лично, либо при его непосредственном участии. Содержание диссертации и основные положения, выносимые на защиту, отражают личный вклад автора. Автор лично принимал непосредственное участие в подготовке основных публикаций по теме диссертации, а также в процессе апробации результатов исследования.

На заседании 19 июня 2025 года диссертационный совет принял решение присудить Фазлиахметову Алмазу Наиловичу ученую степень кандидата физико-математических наук за изучение влияния резонансной структуры

зарядово-обменной силовой функции ядра на сечение взаимодействия с нейтрино и оценку возможности использования изотопов теллура в проекте Большого Баксанского нейтринного телескопа.

При проведении тайного голосования, диссертационный совет в количестве 21 человека, из них 6 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.

19.06.2025 г.

М.П.