

ОТЗЫВ

официального оппонента доктора физико-математических наук Лютостанского Юрия Степановича на диссертационную работу Ингерман Светланы Владимировны «Энергетические спектры антинейтрино продуктов деления ^{235}U , ^{238}U , ^{239}Pu и ^{241}Pu в ядерном реакторе, рассчитанные с использованием экспериментальных данных», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.15 – Физика атомных ядер и элементарных частиц, физика высоких энергий.

Диссертационная работа С.В. Ингерман посвящена получению расчетных спектров антинейтрино от компонент ядерного топлива реактора: ^{235}U , ^{238}U , ^{239}Pu и ^{241}Pu . Работу можно разделить на две части. Первая часть посвящена разработке и реализации комбинированного метода расчета спектров реакторных антинейтрино урана и плутония от ядерного реактора. Во второй части работы продемонстрирована точность восстановления спектра антинейтрино от ядерного реактора. Обсуждается применение разработанного комбинированного метода к конкретным экспериментам.

Особое внимание в диссертационной работе уделено получению уточненной базы данных параметров бета-активных атомных ядер, на основе которой можно рассчитать спектры антинейтрино, которые дают сечения с наибольшей точностью.

В последнее время увеличивается статистика в проводимых измерениях на ядерных реакторах, она уже превышает миллионы событий в ряде экспериментов. В связи с этим возникает необходимость точного знания спектра антинейтрино ядерного реактора. Эксперименты по изучению осцилляций нейтрино показали, что наблюдается несоответствие между предсказанным и измеренным спектрами. Ведущиеся в последнее время эксперименты по применению метода нейтринного контроля работы ядерного реактора на расстоянии также требуют точного знания спектров отдельных делящихся изотопов, что определяет **актуальность** диссертационной работы.

Диссертация состоит из введения, 4 глав, заключения и одного приложения, списка сокращений и условных обозначений и списка рисунков, и таблиц. Полный объем диссертации составляет 139 страниц, включая 35 рисунков и 18 таблиц. Список литературы содержит 87 наименований.

Введение посвящено обоснованию актуальности диссертации, перечисляются цели, научная новизна, практическая значимость, сформулированы выносимые на защиту положения, список публикаций по теме диссертации.

Первая глава посвящена рассмотрению основных методов формирования энергетического спектра реакторного антинейтрино.

Вторая глава посвящена разработке и реализации комбинированного метода расчета спектра реакторных антинейтрино с использованием данных эксперимента РОНС. Диссертантом составлена эталонная база ядерных данных Nuclide, включающая в себя каталоги на каждое отдельное ядро. Получены расчетные энергетические спектры антинейтрино основных делящихся изотопов осколков деления и сечения реакции обратного бета-распада при определенном составе активной зоны реактора.

Третья глава посвящена эксперименту Double Chooz и применению комбинированного метода к данным из эксперимента. На основе ранее разработанного метода Синева В.В. по разложению экспериментального спектра антинейтрино на

основные компоненты урана и плутония, были выделены четыре спектра антинейтрино: ^{235}U , ^{238}U , ^{239}Pu и ^{241}Pu . К выделенным спектрам применялся комбинированный метод расчета. В результате процедуры минимизации была поправлена уточненная база данных осколков деления. Для расчетных спектров антинейтрино урана и плутония полное сечение реакции обратного бета-распада находится в пределах одного стандартного отклонения экспериментального измерения.

В четвертой главе исследуется точность восстановления расчета спектра антинейтрино. В анализе использовались данные четырех реакторных экспериментов: РОНС, Double Chooz, Daya Bay и RENO одновременно, где измерялся спектр позитронов реакции обратного бета-распада. Помимо экспериментальных спектров, в анализ вводились полные экспериментальные сечения реакции обратного бета-распада, которые были получены с высокой точностью при определенном составе активной зоны реактора. С.В. Ингерман были получены расчетные энергетические спектры антинейтрино основных делящихся изотопов урана и плутония. По расчетным спектрам антинейтрино получены сечения, которые лучше других спектров описывают экспериментальные сечения реакции обратного бета-распада.

В заключении приводятся основные результаты работы.

Приложение содержит детали базы данных параметров бета-активных атомных ядер для экспериментов РОНС и Double Chooz.

В целом, в диссертации получены значимые результаты для дальнейшего развития в области физики элементарных частиц.

Имеются небольшие замечания:

- 1) На некоторых рисунках подписи осей выполнены на английском языке.
- 2) На рис.3.10 наблюдается горб в спектре около 12 МэВ. Автор никак не комментирует его наличие.
- 3) Чем объясняются разные сечения ^{235}U (в Таблице 4 – 6.24, а в Таблице 6 – 6.06 и в Таблице 13 – 5.87) при похожести спектров, полученных из данных экспериментов Ровно и Double Chooz?
- 4) На рисунках 4.2 - 4.5 показаны спектры антинейтрино нескольких экспериментов в сравнении со спектрами, предсказываемыми автором. Не приводятся отношения этих спектров, что дало бы лучшее представление об их сходстве.

По теме диссертации автором **опубликовано 2** печатных работы, опубликованных в журналах, рекомендованных ВАК и 3 свидетельства о государственной регистрации программ для электронных вычислительных машин, а также публикация статьи в американском популярном научном журнале. **Научная новизна** результатов диссертации подтверждается успешной их апробацией в виде докладов на международных и российских конференциях.

Содержание диссертации полно и точно **отражено** в автореферате. Достоверность и степень обоснованности научных положений и выводов, сформулированных в диссертации, не вызывает сомнений.

Сделанные замечания не снижают качества диссертации и не влияют на общую высокую оценку работы. Диссертация Ингерман С.В. является законченной научной-

квалификационной работой и соответствует специальности 1.3.15 – «физика атомных ядер и элементарных частиц, физика высоких энергий».

Диссертационная работа **Ингерман Светланы Владимировны** «Энергетические спектры антинейтрино продуктов деления ^{235}U , ^{238}U , ^{239}Pu и ^{241}Pu в ядерном реакторе, рассчитанные с использованием экспериментальных данных», полностью удовлетворяет всем критериям «Положения о присуждении ученых степеней», утверждённого постановлением Правительства РФ от 24 сентября 2013 года № 842, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.15 – физика атомных ядер и элементарных частиц, физика высоких энергий.

9 июля 2026 г.

Официальный оппонент

Заместитель руководителя отделения

КЯФК ФТО

НИЦ «Курчатовский институт»

доктор физико-математических наук по специальности

01.04.16 - физика атомного ядра и элементарных частиц

Ю.С. Лютостанский

lutostansky@yandex.ru, 8-499-196-72-87

123182 Россия, Москва,

пл. Академика Курчатова, д. 1

НИЦ «Курчатовский институт»

Подпись Ю.С. Лютостанского заверяю

Заместитель директора —

Главный ученый секретарь

НИЦ «Курчатовский институт»

О.А. Алексеева

Сведения об официальном оппоненте

Лютостанский Юрий Степанович

Доктор физико-математических наук по специальности 01.04.16 - физика атомного ядра и элементарных частиц, тел. 8(499)196-72-87, адрес электронной почты:

lutostansky@yandex.ru

Национальный Исследовательский Центр «Курчатовский Институт». Заместитель руководителя ОЯФТ (Отделение ядерно-физических технологий), ККФИ (Курчатовский комплекс фундаментальных исследований).

Список основных публикаций по теме рецензируемой диссертации в рецензируемых научных изданиях за последние 5 лет:

1. Лютостанский Ю. С. New prospects for iodine detector and Solar neutrinos registration. Yu. S. Lutostansky, A. N. Fazliakhmetov, G. A. Koroteev, N. V. Klochkova, A. Yu. Lutostansky, A. P. Osipenko, and V. N. Tikhonov. Physics Letters B, 826 (2022) 136905.
2. Лютостанский Ю. С. Резонансная структура зарядово-обменной силовой функции изотопов молибдена 98 и 100. Ю. С. Лютостанский, Г. А. Коротеев, А. Ю. Лютостанский, А. П. Осипенко, В. Н. Тихонов, А. Н. Фазлиахметов. Ядерная Физика, 2022, т. 85, № 3, 177-186.
3. Лютостанский Ю. С. Sn-Аномалия в кулоновских энергиях и аналоговые резонансы нейтронно-избыточных изотопов олова. Ю. С. Лютостанский. Ядерная физика, т. 86, № 3 (2023) с. 370-378.
4. Лютостанский Ю. С. Взаимодействие солнечных нейтрино с ядрами молибдена 98 и 100. Ю. С. Лютостанский, Н. А. Белогорцева, Г. А. Коротеев, А. Ю. Лютостанский, А. П. Осипенко, В. Н. Тихонов, А. Н. Фазлиахметов. Ядерная Физика, 2022, т. 85, № 6, с. 409-418.
5. Лютостанский Ю. С. Влияние Ферми-функции на сечение захвата нейтрино. А. Н. Фазлиахметов, Ю. С. Лютостанский, Г. А. Коротеев, А. П. Осипенко, В. Н. Тихонов. ЭЧАЯ, т.54, вып. 3 (2023) 668-675. [Phys. Part. Nucl. **54**, 547 (2023)].
6. Лютостанский Ю. С. 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. Physics of Atomic Nuclei, 86, № 5, 736-741 (2023).
7. Лютостанский Ю. С. Interaction of Solar Neutrinos with ^{128}Te and ^{130}Te . Yu. S. Lutostansky, A. N. Fazliakhmetov, B. K. Lubsandorzhiev, N. A. Belogortseva, G. A. Koroteev, A. Yu. Lutostansky, and V. N. Tikhonov. Bulletin of the Russian Academy of Sciences: Physics, 2024, Vol. 88, No. 8, pp. 1223–1229.
8. Лютостанский Ю. С. Нуклеосинтез трансурановых элементов в термоядерных взрывах. Ю.С. Лютостанский, В.И. Ляшук. Ядерная Физика, 2025, т. 88, № 1, с. 24-32.
9. Лютостанский Ю. С. Исследование взаимодействия солнечных нейтрино с ядрами $^{128,130}\text{Te}$ и проект Большого Баксанского Нейтринного Телескопа. Ю. С. Лютостанский, А. Н. Фазлиахметов, Б. К. Лубсандоржиев, Г. А. Коротеев, В. Н. Тихонов. Ядерная Физика, 2025, т. 88, № 4, с. 345-355.
10. Лютостанский Ю. С. Взаимодействие ускорительных нейтрино с ядрами ^{127}I . Ю. С. Лютостанский, А. Н. Фазлиахметов, Г. А. Коротеев, В. Н. Тихонов. Письма в ЖЭТФ, 2025, т. 122, вып. 9, с. 521-526.