

Отзыв
научного руководителя
на диссертацию С.В. Ингерман "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

В последнее время появилось много экспериментов в потоке реакторных нейтрино, особенно изучение когерентного рассеяния нейтрино на атомных ядрах (COHERENT) и определение иерархии нейтринных масс (JUNO). Также появляются работы по созданию детекторов по мониторингованию ядерного реактора на расстоянии с использованием антинейтрино. Все эти работы требуют точного знания энергетического спектра антинейтрино от конкретного ядерного реактора. Рассчитать такой спектр для любого момента времени рабочего цикла можно с использованием спектров отдельных делящихся изотопов ядерного топлива. Предлагаемые до сегодняшнего дня методы получения этих спектров: расчета методом суммирования спектров антинейтрино отдельных ядер-осколков и конверсии измеряемого спектра бета-частиц от фольг, изготовленных из чистого урана и плутония, имеют свои недостатки. В расчетной методике основной недостаток – неточность базы данных ядер-осколков по схемам распада и вероятностям, и не улучшающаяся точность предсказаний вероятностей рождения осколков при делении. При конверсии спектра электронов от фольг имеются трудности в нормировке спектров и ограниченное время измерения, при котором не достигается равновесия спектра для долгоживущих осколков. Прямой же метод измерения спектра антинейтрино большим детектором не позволяет корректно разделить измеренный спектр на составляющие его компоненты от отдельных делящихся изотопов урана и плутония.

В работе С.В. Ингерман предложен комбинированный метод, сочетающий в себе достоинства разных методов: прямого расчета путем суммирования спектров отдельных осколков и прямого измерения с использованием реакции обратного бета-распада. В этом методе расчет опирается на высокостатистическое измерение спектра антинейтрино при помощи реакции обратного бета-распада. Расчет выполняется многократно сразу для четырех делящихся изотопов: ^{235}U , ^{238}U , ^{239}Pu и ^{241}Pu , при этом их суперпозиция с весами, пропорциональными долям деления изотопов в активной зоне во время измерения, сравнивается с экспериментальным спектром. Был найден параметр, который позволяет менять результирующий спектр. Это достигается введением силовой функции для неизвестных осколков, описывающей вероятности ветвей бета-распадов. Силовая функция меняется в ходе многократных расчетов, позволяя описать экспериментальный спектр антинейтрино. Данная процедура является сходящейся, то есть достигающей минимального отклонения от описываемого экспериментального спектра. В результате работы этого метода появляются четыре спектра антинейтрино делящихся изотопов и измененная база схем распада неизвестных ядер-осколков с подобранными вероятностями ветвей бета-распада.

Для улучшения точности расчета, кроме экспериментальных спектров, в анализ вводились и полные экспериментальные сечения реакции обратного бета-распада, полученные с высокой точностью при определенном составе активной зоны реактора.

Развитие и совершенствование этой методики в будущем может привести к изучению схем распада для ядер сильно далеких от линии бета-стабильности.

Полученные С.В. Ингерман спектры антинейтрино осколков деления изотопов урана и плутония могут считаться в настоящий момент наиболее точными, так имеют минимальное расхождение с экспериментальными спектрами и дают возможность предсказания сечений реакции обратного бета-распада в любом потоке антинейтрино от ядерного реактора с точностью лучше 1%.

Во время работы над диссертацией С.В. Ингерман проявила себя, как самостоятельный ученый, владеющий современными методами анализа экспериментальных данных и расчета спектров антинейтрино компонент топлива ядерных реакторов. Она показала, что способна проводить сложные и трудоемкие исследования. С.В. Ингерман имеет научный уровень высококвалифицированного специалиста в области экспериментальной физики.

Считаю, что диссертация "Энергетические спектры антинейтрино продуктов деления ^{235}U , ^{238}U , ^{239}Pu и ^{241}Pu в ядерном реакторе, рассчитанные с использованием экспериментальных данных" полностью соответствует требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор, С.В. Ингерман, безусловно, заслуживает присуждения ей ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.15 - Физика атомных ядер и элементарных частиц, физика высоких энергий.

15 апреля 2026 г.

Научный руководитель,
ведущий научный сотрудник
Федерального государственного
бюджетного учреждения науки
Института ядерных исследований
Российской академии наук (ИЯИ РАН),
Отдела экспериментальной физики,
доктор физико-математических наук

В.В. Синев

Подпись Синева В.В. удостоверяю,
Зам. директора по научной работе ИЯИ РАН,
доктор физико-математических наук,
член-корр. РАН,

Г.И. Рубцов