

Эксперимент KATRIN: как исследование бета-распада трития помогает раскрывать тайны нейтрино



Дата публикации: 12.07.2025

Нейтрино остаются одними из самых загадочных частиц во Вселенной. Несмотря на своё крохотное влияние на окружающую материю и почти неуловимую природу, они играют ключевую роль в современном понимании фундаментальных взаимодействий. Стандартная модель физики элементарных частиц долгое время предполагала, что нейтрино не имеют массы. Однако эксперименты по нейтринным осцилляциям опровергли это, показав, что у нейтрино есть масса — хоть и чрезвычайно малая. Этот факт указывает на существование физики за пределами стандартной модели (BSM), в поисках которой сейчас активно трудятся учёные.

В центре этих исследований — крупномасштабный эксперимент KATRIN (Karlsruhe Tritium Neutrino Experiment), развернутый в Технологическом институте Карлсруэ в Германии. Его цель — с высокой точностью измерить массу электронного антинейтрино, анализируя энергетический спектр электронов, образующихся при бета-распаде трития. Это радиоактивное

превращение даёт уникальную возможность зафиксировать мельчайшие отклонения в форме энергетического распределения, которые могли бы свидетельствовать о новых физических взаимодействиях.

Последний анализ данных второй измерительной кампании, опубликованный в *Physical Review Letters*, поставил новые строгие ограничения на так называемые общие взаимодействия нейтрино — то есть гипотетические эффекты, не предсказываемые стандартной моделью. Эти взаимодействия могут быть связаны с неизвестными частицами и полями, включая правополяризованные W -бозоны, заряженные бозоны Хиггса, лептокварки, а также модифицированные типы слабого взаимодействия. Всё это — объекты активных теоретических исследований, связанных с расширением стандартной модели.

Энергетический спектр бета-распада чувствителен к мельчайшим изменениям, вызванным присутствием новых взаимодействий. KATRIN использует высокоточный спектрометр и мощный источник трития, чтобы отслеживать даже едва заметные деформации спектра, которые могли бы указывать на экзотическую физику. И даже несмотря на то, что в исследовании было использовано лишь 5% запланированного объема данных, учёным уже удалось установить ограничения, сопоставимые с результатами других экспериментов низкоэнергетической физики. Это подчёркивает высокую чувствительность подхода, основанного на анализе формы спектра распада.

Такие ограничения не только сузили пространство возможных теорий BSM, но и задали направление для последующих исследований. В ближайшие годы коллаборация KATRIN намерена продолжить сбор и анализ данных, повысить точность измерений и расширить область поиска новых взаимодействий. Одним из ключевых этапов станет запуск фазы TRISTAN в 2026 году, в рамках которой планируется использовать модернизированный детектор для поиска стерильных нейтрино в кэВ-диапазоне. Это даст доступ к более глубоким аспектам структуры нейтринного сектора и откроет новые перспективы для изучения фундаментальных свойств материи.

Эксперимент KATRIN демонстрирует, как высокоточная физика, работающая с микроскопическими величинами, способна пролить свет на крупнейшие тайны природы, включая вопрос о массе нейтрино и существовании новых взаимодействий. Даже в отсутствие прямого обнаружения аномалий, каждое новое ограничение помогает отсеивать лишние теоретические гипотезы и формирует более чёткую карту потенциальных направлений для будущих открытий.

Ссылка: «Первые ограничения на общие взаимодействия нейтрино на основе данных KATRIN» DOI: [10.1103/PhysRevLett.134.251801](https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.134.251801).