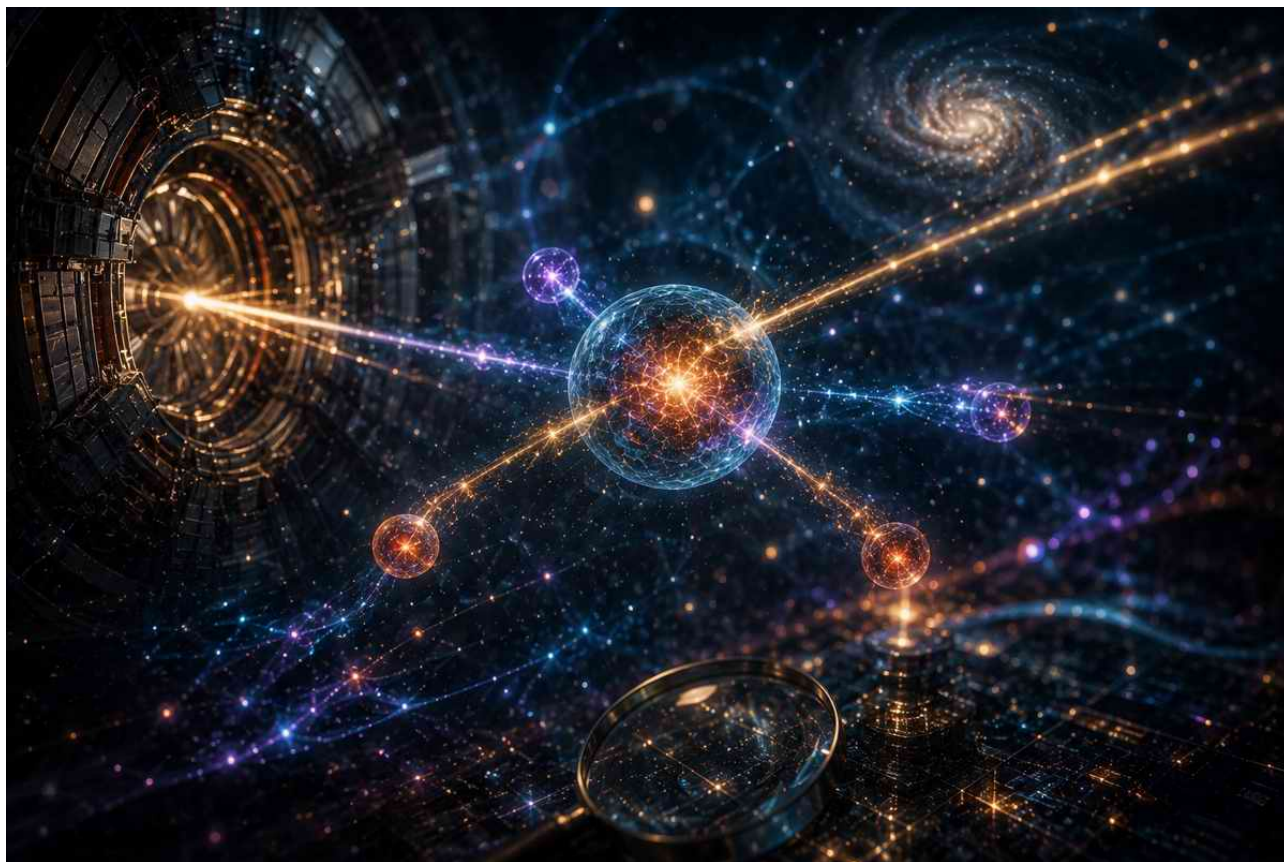


Редкие распады В-мезонов сужают пространство для поиска темной материи и скрытых частиц



Дата публикации: 17.06.2026

Современная физика элементарных частиц достигла впечатляющих успехов в описании устройства Вселенной. Стандартная модель с высокой точностью объясняет поведение известных частиц и фундаментальных взаимодействий, однако она по-прежнему не дает ответов на ряд ключевых вопросов. Ученые до сих пор не знают природу темной материи, не могут полностью объяснить преобладание вещества над антивеществом и продолжают искать признаки новых физических явлений, которые выходят за рамки существующих теорий.

Одним из наиболее перспективных направлений таких исследований остается изучение редких распадов элементарных частиц. Именно в них могут скрываться следы новых форм материи или неизвестных взаимодействий. Новое исследование, опубликованное в журнале *Physical Review Letters*, позволило установить самые жесткие на сегодняшний день ограничения на существование ряда гипотетических частиц, которые могут быть связаны с темной материей и так называемым скрытым сектором Вселенной.

Работа была выполнена исследователем Мельбурнского университета доктором Даниэлем Маркантонио на основе данных знаменитого эксперимента Belle, который проводился в японской лаборатории КЕК. Основной целью анализа стал поиск так называемых слабо взаимодействующих частиц, известных под аббревиатурой FIP. Эти гипотетические объекты считаются одними из наиболее вероятных кандидатов на роль новой физики за пределами Стандартной модели.

Слабо взаимодействующие частицы представляют особый интерес для ученых, поскольку они могут практически не взаимодействовать с обычным веществом. Именно поэтому их чрезвычайно сложно обнаружить напрямую. Тем не менее многие современные теоретические модели предсказывают их существование. Некоторые варианты таких частиц рассматриваются как кандидаты на темную материю, тогда как другие могут выступать посредниками между обычной материей и неизвестным темным сектором Вселенной.

Для проведения исследования использовались данные столкновений электронов и позитронов. При определенной энергии такие столкновения приводят к образованию большого количества В-мезонов — тяжелых нестабильных частиц, содержащих нижний кварк. В-мезоны давно считаются одной из лучших лабораторий для поиска новой физики, поскольку их распады чрезвычайно чувствительны к влиянию даже очень слабых неизвестных взаимодействий.

В ходе работы ученые исследовали несколько редких каналов распада В-мезонов. Согласно ряду теоретических моделей, в процессе распада может возникать невидимая частица нового типа, сопровождаемая хорошо известными частицами, например пионами, каонами, протонами или другими мезонами. Исследование охватило пять различных вариантов распада, причем три из них ранее никогда не анализировались столь подробно.

Главный результат может показаться неожиданным: никаких признаков новых частиц обнаружено не было. Однако в физике высоких энергий отсутствие сигнала часто оказывается не менее важным, чем его обнаружение. Каждый неудачный поиск позволяет исключить целые классы теоретических моделей и значительно сузить область возможных параметров новых частиц.

Физический смысл такого подхода достаточно прост. Если гипотетическая частица существует и взаимодействует с обычной материей сильнее определенного уровня, ее присутствие должно проявляться в экспериментальных данных в виде характерного сигнала. Поскольку такого сигнала обнаружено не было, ученые могут установить верхние пределы силы взаимодействия и вероятности возникновения подобных процессов.

Полученные ограничения оказались самыми строгими в мире для всех пяти исследованных каналов распада. Это существенно сокращает число допустимых сценариев существования новых частиц и позволяет будущим экспериментам сосредоточиться на более узких диапазонах параметров.

Особый интерес представляют аксионоподобные частицы и темные скаляры — гипотетические объекты, которые активно рассматриваются в современной теоретической физике. Некоторые из них могут участвовать в формировании темной материи, которая, по оценкам космологов, составляет около 85 процентов всей материи во Вселенной. Хотя новое исследование не исключает их существование полностью, оно значительно ограничивает диапазон возможных характеристик таких частиц.

Работа стала возможной благодаря уникальному объему экспериментальных данных. В распоряжении исследователей находилась информация о более чем 770 миллионах пар В-мезонов, зарегистрированных установкой Belle. Такой масштаб наблюдений позволяет изучать процессы, происходящие чрезвычайно редко, иногда всего несколько раз на миллиарды событий.

Для повышения точности использовался метод В-тегирования. Его суть заключается в полном восстановлении параметров одного В-мезона в событии. Это позволяет с высокой точностью определить характеристики второго мезона и выявить даже очень слабые отклонения от предсказаний Стандартной модели.

Значение результатов выходит далеко за рамки поиска отдельных гипотетических частиц. Они также затрагивают одну из крупнейших загадок современной космологии — происхождение асимметрии между материей и антиматерией. Согласно современным представлениям, после Большого взрыва вещество и антивещество должны были образоваться примерно в равных количествах. Однако наблюдаемая Вселенная почти полностью состоит из обычной материи.

Одно из возможных объяснений связано с механизмом, известным как В-мезогенезис. Согласно этой гипотезе, распады В-мезонов в ранней Вселенной могли способствовать переносу части антиматерии в скрытый темный сектор, что привело к современному доминированию обычного вещества. Новое исследование исключает ряд вариантов этого сценария для определенных масс гипотетических частиц темного сектора.

Полученные данные имеют большое значение для будущих проектов в области физики высоких энергий. Они помогут скорректировать направления поиска на установках нового поколения, включая Belle II, который уже собирает значительно больший объем информации. Кроме того, результаты могут

использоваться исследователями, работающими на других ускорительных комплексах и детекторах по всему миру.

Современная физика все чаще движется вперед именно благодаря таким точным измерениям. Даже отсутствие открытия позволяет шаг за шагом сокращать пространство неопределенности и приближаться к пониманию фундаментального устройства Вселенной. Каждый новый предел, установленный для гипотетических частиц, делает будущие поиски более целенаправленными и помогает ученым сосредоточиться на наиболее перспективных направлениях.

Исследование показывает, что эпоха открытия новой физики может начаться не только с обнаружения неизвестной частицы, но и с последовательного исключения множества альтернативных сценариев. Именно такой подход сегодня считается одним из наиболее эффективных инструментов в поиске ответов на вопросы о природе темной материи, происхождении вещества и существовании скрытых структур, которые могут составлять значительную часть нашей Вселенной.

Ссылка: «Поиск слабо взаимодействующих частиц в распадах В-электронов с недостающей энергией на станции Belle» [DOI: 10.1103/1rl4-j3np](https://doi.org/10.1103/1rl4-j3np).