Безнейтринный бета распад

1. НЕЙТРИНО. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Впервые существование нейтрино было постулировано В.Паули в 1930 году.

Э.Ферми дал математическое обоснование явлению превращения нейтрона в протон под действием "слабой" силы.

В Стандартной Модели каждой частице соответствует своя античастица.

Нейтрино участвуют только в слабых взаимодействиях с кварками и лептонами.

Существуют два механизма: заряженного тока и нейтрального тока.

Все явления, основанные на слабых взаимодействиях, можно описать при помощи трех элементарных процессов.

Нарушение четности (зеркальной симметрии) является особенностью слабого взаимодействия.

Нейтрино взаимодействуют только через V-A связь.

В рамках Стандартной модели нейтрино являются безмассовыми.

1. Нейтринные осцилляции

• Стандартная модель физики частиц имеет недостатки, требует добавления параметров эмпирическим путем.

• Проблема солнечных нейтрино: число наблюдаемых нейтрино меньше предсказанного стандартной моделью.

• Б. Понтекорво предложил решение: электронные нейтрино могут превращаться в нейтрино высших поколений при преодолении характеристического расстояния.

• Нейтринные осцилляции: переходы между разными типами нейтрино при прохождении пути.

• Множество экспериментов по наблюдению нейтринных осцилляций, включая солнечные и атмосферные нейтрино, нейтрино из реакторов и ускорителей.

• Ограничения на массу нейтрино получены из космологических наблюдений и экспериментов с детекторами нейтрино.

• Изучение массы нейтрино возможно через распады, включающие нейтрино или антинейтрино.

• Эксперименты по измерению массы нейтрино проводились с использованием трития и рения.

1. Двойной бета распад

• Двойной бета-распад - один из наиболее редко встречающихся радиоактивных распадов.

• Теоретически предсказан М. Гепперт-Майер.

• Для 35 изотопов одинарный β-распад запрещен или сильно подавляется.

• Двойной β-распад разрешен: A ZX → A Z+2Y + 2e- + 2νe (2νββ).

• Процесс происходит только на четных-четных ядрах, наблюдался на 11 изотопах.

• Лептонное число сохраняется, нельзя сделать выводы о природе нейтрино.

1. МАЙОРАНОВСКИЕ НЕЙТРИНО

Нейтрино - это нейтральные частицы, участвующие только в электро-слабых взаимодействиях.

• Экспериментально были обнаружены левые нейтрино νL и правые антинейтрино ν¯R.

• Строго говоря, эти частицы связаны оператором CP - сопряжения зарядового и четности.

• Возможны два сценария:

• Зарядово сопряженные частицы νL и ν¯R представляют собой незавимые, еще не обнаруженные частицы.

• Нейтрино является собственной зарядово-сопряженной частицей.

1. Безнейтр б расп

Впервые безнейтринный β-распад (0νββ) был предложен У. Фёрри для вывода о природе нейтрино.

• Экспериментальным признаком такого распада является линия в спектре суммарной энергии электронов на значении Qββ.

• Все возможные реализации (0νββ)-распада требуют наличия майорановской массы нейтрино.

• Стандартное предположение о том, что распад вызывается обменом легкими майорановскими нейтрино, является наиболее мотивированным.

• В случае наблюдения процесса станет очевидной майорановская природа нейтрино.

• Масса mββ связана с периодом полураспада.

• mββ = | ∑3i=1 U2eimi|, где G0ν - фазовый вектор, M0ν - элемент ядерной матрицы.

1. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ПОИСКИ И ОГРАНИЧЕНИЯ

• Период полураспада и эффективная нейтринная масса могут быть определены в счетных экспериментах.

• Число фоновых событий определяется по формуле Nbkg = Mdet · t · B · ∆E.

• В эксперименте Гейдельберг-Москва обнаружено событие для 76Ge с периодом полураспада T0ν1/2 = 1.19 · 1025 лет.

• Для низкого фона (Nbkg ≫ 1) период полураспада определяется формулой T0ν1/2 = ln 2 · NAvg / (Nsig · mA · det · η · Mdet · t).

• Для высокого фона (Nbkg ≪ 1) период полураспада зависит от числа фоновых событий и определяется формулой T0ν1/2 = ln 2 · NAvg / (1,64 · mA · det · η · B · ∆E).

• Важно максимизировать произведение Mdet · t и минимизировать индекс B для уменьшения фона.

• Существуют две основные стратегии установки источника и детектора: совпадение и несовпадение источника и детектора.

• Результаты экспериментов по поиску безнейтринного двойного β-распада представлены ограничениями на T0ν1/2 и mββ с уровнем достоверности 90%.

Безнейтринный двойной бета-распад не сопровождается эмиссией нейтрино или антинейтрино. В результате такого процесса лептонное число не сохраняется (изменяется на две единицы). Хотя стандартная модель физики элементарных частиц запрещает процессы с нарушением закона сохранения лептонного числа, многие расширения стандартной модели включают в себя процессы такого рода. Доказано, что для осуществления безнейтринного 2β-распада необходимо, чтобы, во-первых, нейтрино являлось майорановской частицей (то есть представляло собой собственную античастицу), и, во-вторых, нейтрино обладало массой. Число ядер, распадающихся по обычным каналам одиночных электронного и позитронного β-распадов очень велико, а примеров двойного β-распада, известных к настоящему моменту, всего несколько. На сегодняшний день достоверно установлено наличие лишь двухнейтринного 2β-распада, допускаемого классической теорией и потому не представляющего особого интереса. Для безнейтринной моды, обнаружение хотя бы одного примера которой будет означать необходимость пересмотра положений стандартной модели, пока получены лишь нижние ограничения на периоды полураспада. В настоящее время в мире действует или сооружается около десятка крупных подземных детекторов, предназначенных для поиска безнейтринного 2β-распада.

