**Безнейтринный двойной захват электронов**

Криворученко М.И.

Лаборатория № 180

Число соавторов из других научных центров – 7

**Реферат**

по материалам статьи

**Neutrinoless Double-Electron Capture**

K. Blaum, S. Eliseev, F.A. Danevich, V.I. Tretyak, S. Kovalenko, M.I. Krivoruchenko, Y.N. Novikov and J. Suhonen

Reviews of Modern Physics **92**, 045007 (2020),

представленной на конкурс научно-исследовательских работ НИЦ «Курчатовский институт» - ИТЭФ.

Редкие процессы предоставляют широкий спектр возможностей для изучения свойств элементарных частиц за рамками Стандартной модели. Наибольшее внимание привлекают процессы с несохранением полного лептонного числа (LNV), такие как безнейтринный двойной бета-распад (0ν2β-), безнейтринный двойной захват электронов (0ν2EC) и др. В кварковом секторе Стандартной модели аналогом полного лептонного числа является барионное число. Проблема LNV фундаментальна, как и проблема несохранения барионного числа.

За последние полвека было предпринято много попыток поиска и исследования двойного бета-распада с испусканием двух электронов, однако безнейтринная мода 0ν2β− до сих пор не наблюдалась. Двойной захват электронов (2EC) оставался не в фокусе внимания из-за более низкой вероятности процесса. Однако скорость безнейтринного двойного захвата электронов (0ν2EC) может испытывать резонансное усиление на много порядков величины, если начальное и конечное состояния энергетически вырождены. В резонансном случае вероятность процесса 0ν2EC приближается к вероятности 0ν2β− распада, что представляет ценность для поиска майорановой массы нейтрино, правых токов и других новых физических явлений за рамками Стандартной модели. В обзоре представлена всесторонняя характеристика процесса 2EC с основным акцентом на его безнейтринном режиме, и обсуждаются основные экспериментальные и теоретические результаты, полученные за последнее десятилетие в этой области. В экспериментальной части изложены результаты поиска процессов 2EC и измерения энергий распада (Q величин) для возможных резонансных переходов 0ν2EC. Беспрецедентная точность в определении энергии распада с помощью ловушек Пеннинга позволила уточнить значения параметра вырождения для всех ранее известных околорезонансных распадов и радикально уменьшить неопределенности в оценке периодов полураспада 0ν2EC. Теоретическая часть содержит обновленный анализ эффектов электронной оболочки атомов и обзор моделей структуры ядра, в которых рассчитываются ядерные матричные элементы для распадов 0ν2EC. Сделан вывод о том, что вероятность распада 0ν2EC испытывает значительное увеличение в нескольких нуклидах.

Механизмы, лежащие в основе двойных бета-процессов, имеют принципиально одинаковую природу. Соответствующие LNV вклады появляются через неперенормируемые эффективные операторы более высоких размерностей. В обзоре приведены операторы вплоть до размерности d = 9 и обсуждается их возможное происхождение из перенормируемых теорий. Общепринятый механизм обмена майорановским нейтринного связан с оператором минимальной размерности d = 5 (оператор Вайнберга).

Электронные оболочки вовлечены в 0v2EC процесс за счет перекрытия волновых функций электронов с ядром и в связи с зависимостью параметра вырождения 0ν2EC от энергии двух-дырочных возбужденных состояний дочернего атома. В обзоре представлены результаты моделирования структуры электронных оболочек атомов c помощью мульти-конфигурационного пакета программ Дирака-Хартри-Фока GRASP2K. Анализ теоретических неопределенностей и сравнение с данными спектроскопии показывают, что энергии возбуждения 0v2EC определяются с точностью 60 эВ для тяжелых атомов, что сравнимо с точностью измерений атомных масс в ловушках Пеннинга и естественной шириной возбужденных состояний оболочек.

В обзоре приводятся нижние и верхние пределы полураспада 0ν2EC для всех околорезонансных нуклидов. Резонансный эффект 0ν2EC, как ожидается, будет четко идентифицирован благодаря высокой точности энергий γ-квантов, излучаемых при распаде, в то время как фон из-за распадов с рентгеновский с энергиями до нескольких десятков кэВ не играет роли на практике в отличие от 0ν2β- экспериментов.

Проведенный анализ показывает, что на уровне 99% C.L. нельзя исключить, в частности, точный резонанс в распаде 190Pt в возбужденное состояние 1326,9 кэВ ядра 190Os. В резонансе период полураспада оказывается равным 3,3 × 1026 лет.

Полученные данные свидетельствуют о том, что при дальнейшем уточнении параметров рассмотренные в обзоре нуклиды могут стать конкурентными с нуклидами, распадающимися по каналу 0ν2β-, для которого нижний предел полураспада установлен на уровне ~ 1026 лет. Этот уровень чувствительности в принципе достижим для процессов 0ν2EC.