

## Эксперимент GERDA: к открытию редчайшего распада готовы!

Одним из наиболее интригующих вопросов современной фундаментальной физики является вопрос, почему во Вселенной больше материи, чем антиматерии. Ответ может скрываться в понимании природы нейтрино: в одной из наиболее предпочтительных теоретических моделей эта частица идентична своей античастице. Данный факт, в свою очередь, делает возможным редчайший ядерный процесс, называемый двойным безнейтринным бета распадом атома ( $0\nu\beta\beta$ ). Важнейший шаг в деле поиска  $0\nu\beta\beta$  распада сделан в настоящее время экспериментом GERDA\* путем достижения наиболее низкого уровня радиоактивного фона в сравнении со всеми конкурирующими проектами. Таким образом, GERDA является первым в мире «бесфоновым» экспериментом по поиску данного процесса. Статья, посвященная этому результату, опубликована в журнале Nature 6 апреля 2017 года (doi:10.138/nature21717).

Нейтрино – это частица, которую крайне сложно зарегистрировать. Она играет центральную роль в механизмах горения Солнца и взрыва сверхновых, а также в процессах формирования элементов во время Большого Взрыва. Определение её свойств позволило значительно продвинуться в понимании физики элементарных частиц. Иллюстрацией данного факта служат четыре Нобелевские премии, полученные в последние годы за исследования в области нейтринной физики. Несмотря на это, о природе нейтрино (является ли оно Майорановским (частица идентична собственной античастице) или Дираковским) до сих пор остается открытым. Теоретические модели говорят в пользу того, что в случае Майорановской природы нейтрино будет происходить  $0\nu\beta\beta$  распад, а также может быть объяснен недостаток антиматерии в нашей Вселенной.

Двойной двухнейтринный бета распад – это разрешенный процесс, в котором два нейтрона в атомном ядре одновременно распадаются на два протона, два электрона и два антинейтрино. Этот распад наблюдался уже на нескольких ядрах, в том числе на  $^{76}\text{Ge}$ , в которых энергетически невыгоден обычный бета распад. Из электронов и нейтрино, покидающих ядро, могут быть зарегистрированы только электроны. В двойном безнейтринном бета процессе нейтрино отсутствуют, поэтому суммарная энергия распадающихся электронов равна энергии распада. Измерение этой энергии и является главной задачей  $0\nu\beta\beta$  экспериментов.

Поскольку исследование двойного безнейтринного бета распада проливает свет на природу нейтрино и открывает дорогу новой физике, в настоящее время существует множество проектов, направленных на поиск этого редчайшего процесса. В них используются различные изотопы и методики регистрации. Эксперимент GERDA является одним из лидеров в данной области физики. Он проводится в Национальной Лаборатории Гран Сассо в Италии силами европейских и российских ученых.

В GERDA используются детекторы, изготовленные из особо чистого германия, обогащенного изотопом  $^{76}\text{Ge}$ . Поскольку германий является одновременно источником и детектором искомых событий, эффективность регистрации близка к максимально возможной. Кроме того, экспериментальная установка компактна и требует минимального

количества конструкционных материалов, что является принципиально важным для достижения низкого уровня фона. Высокое энергетическое разрешение, присущее германиевым детекторам, и инновационные экспериментальные методики, разработанные коллаборацией GERDA, обеспечивают рекордное подавление естественного радиоактивного фона. Так как период полураспада  $0\nu\beta\beta$  процесса на много порядков превышает возраст Вселенной, именно снижение фона является наиболее критичным для увеличения чувствительности эксперимента.

«Голые» германиевые детекторы погружены в криостат, заполненный  $64 \text{ м}^3$  жидкого аргона, имеющего температуру  $-190^\circ\text{C}$ . Криостат находится в водяном резервуаре объемом  $590 \text{ м}^3$ , который, в свою очередь, расположен в подземной лаборатории Гран Сассо, защищающей установку от космического излучения. Аргон и вода, используемые в установке, являются очень чистыми и служат дополнительной защитой от окружающей радиоактивности. При этом предусмотрена возможность регистрации событий, вызванных фоновым излучением, что позволяет успешно идентифицировать фоновые сигналы, возникающие в аргоне и воде.

Новейшие методики подавления фоновых сигналов обеспечили рекордно низкий уровень фона, что позволяет считать GERDA первым «бесфоновым» экспериментом по поиску двойного безнейтринного бета распада. После анализа данных, накопленных за первые пять месяцев работы установки, сигналов от  $0\nu\beta\beta$  распада обнаружено не было. Установлен предел на период полураспада  $T_{1/2}^{0\nu} > 5,3 \times 10^{25}$  лет. Достигнутый уровень фона должен обеспечить отсутствие фоновых событий в течение всего периода накопления данных вплоть до завершения набора статистики в 2019 году. К этому моменту чувствительность эксперимента превысит  $10^{26}$  лет. «Бесфоновый» режим работы делает проект GERDA наиболее чувствительным к регистрации двойного безнейтринного бета распада среди всех конкурирующих экспериментов.

(\*) GERDA – интернациональная Европейская коллаборация, состоящая из более чем 100 физиков из Германии, Италии, России, ОИЯИ, Швейцарии, Польши и Бельгии (<http://www.mpi-hd.mpg.de/gerda/>). Российскую сторону в эксперименте GERDA представляют физики из ИЯИ РАН, ИТЭФ и КИ. Они внесли существенный вклад, определивший успех эксперимента.