

Аннотация проекта EDELWEISS-LT Прямой поиск легких WIMP с HPGe полупроводниковыми болометрами

Участники от ОИЯИ: В.Б. Бруданин, З. Каланинова, А.В. Лубашевский, Н.А. Мирзаев, Л.Л. Перевошиков, Д.В. Пономарев, А.В. Рахимов, И.Е. Розова, С.В. Розов, Д.В. Философов, К.В. Шахов и Е.А. Якушев

Введение и общее описание эксперимента EDELWEISS:

Эксперимент EDELWEISS направлен на прямое детектирование слабо взаимодействующих массивных частиц (WIMP), из галактического гало, считающихся основными кандидатами на роль темной материи. Для поиска рассеяния WIMP-нуклон EDELWEISS использует HPGe детекторы при температуре ниже 20 мК, с одновременным измерением ионизационных и фоновых сигналов, что позволяет проводить высокоэффективный отбор фоновых событий. Эксперимент EDELWEISS экспериментально продемонстрировал, что основной фон для поиска WIMP с ионизационно-фонными детекторами возникает из-за событий с неполным сбором заряда вблизи поверхности детекторов. Для решения данной проблемы в EDELWEISS были разработаны инновационные детекторы с системой кольцевых электродов для активного отбора событий на глубине меньше 1 мм от поверхности. Удалось продемонстрировать, что данные детекторы на порядок лучше подавляют фон, по сравнению с конкурирующими технологиями.

Для подавления космогенной составляющей фона установка EDELWEISS расположена в подземной лаборатории LSM (~4700 м.в.э.). Центральной частью и основой эксперимента EDELWEISS является низкофонный криостат растворения ^3He - ^4He с HPGe детекторами-болометрами, которые предназначены для детектирования WIMP. Защита EDELWEISS (Рис. 1) окружает детекторы со всех сторон и состоит из 20 см свинца (36 тонн, включая внутреннюю часть защиты археологического свинца), 50 см полиэтилена для защиты от нейтронов (30 тонн) и активной μ -вето системы. В пространство возле криостата непрерывно поставляется очищенный от радона воздух. Криостат с защитой установлен внутри чистой комнаты, класса 1000. Все конструкционные материалы, используемые в EDELWEISS, были отобраны в зависимости от уровня их радиоактивного загрязнения.

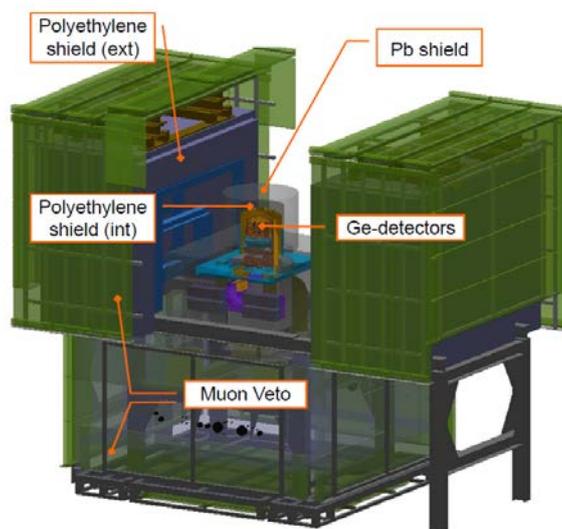


Рис. 1: Схема установки EDELWEISS.

В настоящее время выросла актуальность поиска легких WIMP, что связано как с отсутствием доказательств SUSY на БАК, так и новыми теоретическими моделями, отдающими предпочтение WIMP массой меньше $10 \text{ ГэВ}/c^2$ (например модели асимметричной темной материи). Поэтому, область интереса EDELWEISS сместилась в этот диапазон масс, который может быть исследован в эксперименте с HPGe детекторами - болометрами, работающими в специальных режимах (усиление фоновых сигналов благодаря эффекту Неганова-Люка), что позволяет достичь рекордно низких энергий регистрации, при энергетических разрешениях в 100 эВ.

Достигнутые результаты в ходе текущей фазы эксперимента:

Основной результат, полученный EDELWEISS к настоящему времени, показан на рис. 2. Для WIMP с $m_\chi = 4 \text{ ГэВ}/c^2$ достигнута чувствительность на сечение с нуклоном в

$1.6 \times 10^{-39} \text{ см}^2$. Таким образом, положительные результаты, заявленные целым рядом экспериментов, были проверены с лучшей чувствительностью. Особенно важным является тот факт, что полученные результаты полностью закрывают область положительного сигнала эксперимента CoGeNT, использующего для поиска темной материи, как и EDELWEISS, германиевые детекторы.

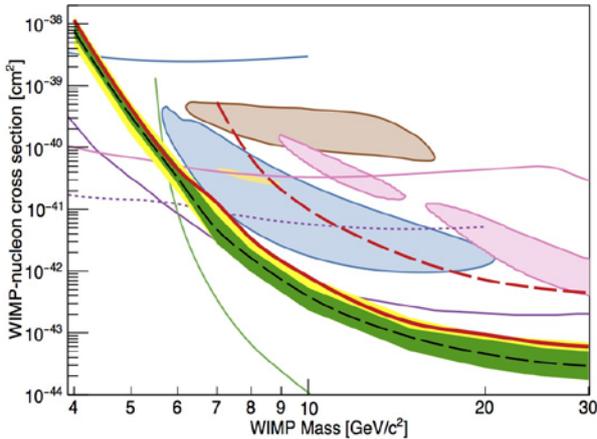


Рис. 2: Красная линия: предел на сечение спин-независимого взаимодействия WIMP-нуклон, полученный EDELWEISS. Зеленой и желтой полосами показаны экспериментальные чувствительности для 1σ и 2σ , соответственно. Желтая, голубая, розовая и коричневая области соответствуют положительным результатам CoGeNT, CDMS-Si, CRESST-II и DAMA, соответственно. Также показаны ограничения из экспериментов EDELWEISS-II (красные штрихи), LUX (зеленая), DAMIC (голубая), CRESST (розовая), CDMSlite фиолетовые штрихи) и SuperCDMS (фиолетовая).

EDELWEISS-LT

В ходе EDELWEISS-LT фазы эксперимента использование детекторов с внутренним усилением фоновый сигнал позволит достичь чувствительности к сечению рассеяния легких WIMP в 10^{-41} см^2 (и меньше) на уровне лучших мировых результатов. EDELWEISS-LT будет использовать уже имеющуюся инфраструктуру (защиту, криостат растворения, систему набора данных, и т.д.), и таким образом напрямую продолжит экспериментальную программу прямого поиска частиц темной материи в EDELWEISS.

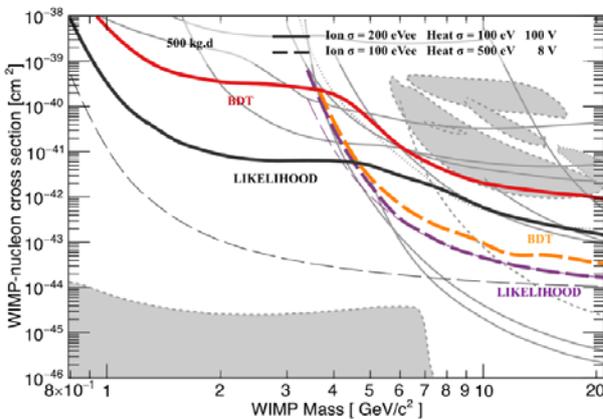


Рис. 3: Ожидаемые EDELWEISS-LT результаты в ходе поиска легких WIMP при наборе 500 кг.суток данных (текущие фоновые условия). Показаны пределы из двух типов анализа: метод максимального правдоподобия и BDT для разных напряжений на электродах (8В и 100В). В области масс ниже $5 \text{ ГэВ}/c^2$ наилучшая чувствительность будет получена с использованием эффекта Неганова-Люка при напряжении 100 В, при имеющемся разрешении ионизационного канала в 200 эВ и улучшенном до 100 эВ разрешении фоновый канал.

На рис. 3 представлены два основных сценария поиска легких WIMP в EDELWEISS-LT на первом этапе, учитывая данные R&D, ставящие целью улучшение энергетических разрешений. Чувствительности были определены с учетом имеющихся экспериментальных данных по фоновым условиям. Улучшение разрешения ионизационного канала станет возможным благодаря применению HEMT транзисторов в первом усилительном каскаде. Для фоновый сигнал предполагается использование новых термисторов. Улучшения в разрешениях даст возможность снизить энергетический порог для регистрации ядер отдачи в диапазон $400 - 100 \text{ эВ}_{\text{пр}}$, в зависимости от напряжения, подаваемого на кристалл.

В дальнейшем задачей EDELWEISS-LT будет являться достижение чувствительности на уровне нейтринного сигнала (когерентное рассеяние $^8\text{В}$ солнечных нейтрино). Рис. 4 показывает ожидаемую чувствительность для статистики в 50000 кг.суток и разрешениях не хуже 100 эВ. Сплошные линии на рис. 4 соответствуют

имеющемуся уровню фона. Тонкие прерывистые линии соответствуют чувствительности при значительном улучшении всех фоновых условий.

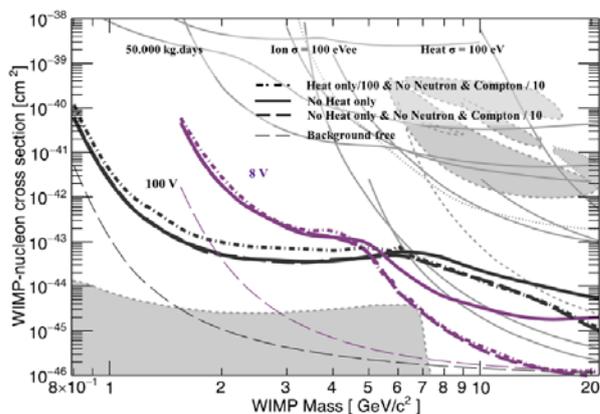


Рис. 4: Ожидаемая чувствительность EDELWEISS-LT после набора 50000 кг.суток данных в значительно улучшенных фоновых условиях.

Участие ОИЯИ в EDELWEISS-LT

Группа для участия в проекте сформирована на базе Отдела ядерной спектроскопии и радиохимии Лаборатории ядерных проблем. Отдел имеет богатый опыт (более 50 лет) в прецизионной ядерной спектроскопии и реализации экспериментов по изучению редких процессов.

Задачами, решаемыми группой из ОИЯИ в ходе выполнения EDELWEISS-LT, будут являться: 1) Создание новых германиевых детекторов, в частности детекторов с низким порогом регистрации для изучения легких WIMP; Установка и тестировании новых детекторов в подземном лаборатории, наладка систем набора данных; 2) Разработки процедур и методов понижения радиоактивного уровня, в частности процедур по сертификации новых радиоактивных источников, по использованию радиоактивных источников в низкофоновом эксперименте, по работе в чистой комнате и т.д. 3) Набор данных, включая как каждодневные регулярные процедуры, например регенерацию детекторов, так и подготовку и проведение специальных калибровочных измерений с γ - и нейтронными источниками для выяснения характеристик детекторов и их стабильности во времени; 4) Экспериментальное изучение фона, в частности контроль уровня радона и поля быстрых и тепловых нейтронов в подземной лаборатории - месте проведения эксперимента; 5) Моделирование детекторов и анализ данных; Подготовка публикаций на основе полученных в эксперименте результатов.

Основное участие ОИЯИ в EDELWEISS-LT будет связано с продолжением экспериментального изучения фонов, селекцией менее радиоактивных материалов, необходимых для новых детекторов (материалы обкладок, электронных плат, и т.п.). Будут продолжены работы по измерению нейтронов в глубокой подземной лаборатории. Также, будет проводиться контроль уровня радона. В области наших интересов находится активное участие в анализе WIMP данных и моделирование фонов установки. Группа ОИЯИ продолжит оставаться ответственной за проведение калибровок детекторов EDELWEISS с радиоактивными нейтронными и гамма источниками. В EDELWEISS группа ОИЯИ также ответственна за R&D, введение в эксплуатацию и набор данных с германиевыми детекторами с точечным контактом, предназначенными для расширения области поиска WIMP в регион малых масс. Данная работа имеет особый интерес для ОИЯИ, т.к. обеспечивает возможность использования всей низкофоновой инфраструктуры EDELWEISS, включая одну из самых глубоких подземных лабораторий LSM, для создания и тестирования установок, предназначенных для проведения нейтринных экспериментов на Калининской АЭС. Защита установки EDELWEISS-I находится в распоряжении нашей группы для проведения измерений с HPGe детекторами с точечным контактом. В 2018 ОИЯИ начнет тестирования уникальных полупроводниковых HPGe детекторов с массами от 1 до 1.5 кг, имеющих энергетический порог в ~200 эВ.