

P13-2009-32

А. В. Лубашевский, В. Б. Бруданин, С. В. Розов,  
С. С. Семих, Д. В. Философов, Е. А. Якушев  
(от коллаборации EDELWEISS)

СТАТУС ЭКСПЕРИМЕНТА EDELWEISS-II

Лубашевский А. В. и др. (от коллаборации EDELWEISS)  
Статус эксперимента EDELWEISS-II

P13-2009-32

Эксперимент EDELWEISS-II предназначен для прямого поиска небарионной темной материи с помощью криогенных германиевых болометров. Экспериментальная установка расположена в подземной лаборатории LSM на глубине 4800 м водного эквивалента. В данной работе измерены фоновые условия и получены первые результаты по сечению рассеяния WIMP-нуклон. В EDELWEISS-II экспериментально продемонстрирована перспективность использования криогенных германиевых болометров с активным подавлением фоновых событий на поверхности для прямого наблюдения WIMP. Результаты калибровочных и тестовых фоновых измерений показали возможность достижения в EDELWEISS-II уровня до  $4 \cdot 10^{-9}$  пб для спин-независимого сечения рассеяния WIMP-нуклон, что будет лучшим результатом в мире.

Работа выполнена в Лаборатории ядерных проблем им. В. П. Дзелепова ОИЯИ.

Сообщение Объединенного института ядерных исследований. Дубна, 2009

Lubashevskiy A. V. et al.  
(on behalf of the EDELWEISS-II collaboration)  
Status of EDELWEISS-II Experiment

P13-2009-32

The EDELWEISS-II experiment is dedicated to the direct search for non-barionic dark matter with cryogenic germanium bolometers. The experimental setup is located in the underground laboratory LSM at the depth 4800 m of water equivalent. In this work first results of background and calibration measurements together with the obtained WIMP-nucleon cross-section are presented. EDELWEISS-II has demonstrated that using of cryogenic germanium detectors with active surface rejection is a promising technique for direct observation of WIMPs. Calibration and background runs have showed EDELWEISS-II potential for exploring the best in the world  $4 \cdot 10^{-9}$  pb level for the spin-independent WIMP-nucleon interaction.

The investigation has been performed at the Dzhelepov Laboratory of Nuclear Problems, JINR.

Communication of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna, 2009

## ВВЕДЕНИЕ

Одним из наиболее важных вопросов в современной физике является проблема существования скрытой массы во Вселенной. Большое количество различных экспериментальных данных неопровержимо свидетельствует о существовании холодной небарионной темной материи [1]. Вероятным кандидатом на ее роль являются слабовзаимодействующие массивные частицы (WIMP), предсказываемые SUSY. Таким образом, прямое наблюдение частиц темной материи в лаборатории является задачей первостепенной важности как для современной космологии, так и для физики частиц. Французско-немецко-российский эксперимент EDELWEISS направлен на прямое детектирование WIMP [2] при помощи криогенных германиевых детекторов с применением специальных методов для устранения фона.

### 1. ЭКСПЕРИМЕНТ EDELWEISS-II

Основными экспериментальными трудностями при поиске рассеяния WIMP на ядрах обычной материи являются чрезвычайно низкая ожидаемая скорость счета (не более 1 события/кг/год) и сравнительно низкая регистрируемая энергия ( $< 100$  кэВ). Поэтому при проведении эксперимента понижение фона, а по возможности и полное его устранение, является одной из главнейших задач. Для устранения космогенного фона экспериментальная установка EDELWEISS расположена в подземной лаборатории LSM на глубине, соответствующей 4800 м водного эквивалента, что позволяет ослабить поток мюонов на 6 порядков и поток нейтронов на 4 порядка. Защита EDELWEISS-II от естественной радиоактивности окружает детекторы со всех сторон и состоит из 20 см свинца (36 т, включая внутреннюю часть, сделанную из сверхнизкофонового, археологического свинца) и 50 см полиэтилена для защиты от нейтронов (30 т). Дополнительно установка имеет активное  $\mu$ -вeto с эффективностью 98% (100 м<sup>2</sup> сцинтиляционных панелей толщиной 5 см). При закрытой защите в свободное пространство возле криостата с детекторами непрерывно поставляется очищенный от радона воздух (9 л в минуту). Криостат с защитой установлен внутри чистой комнаты класса 1000. Все конструкционные материалы, использованные для EDELWEISS-II,

были тщательно отобраны в зависимости от уровня их радиоактивного загрязнения. Дальнейшее понижение фона достигается одновременным измерением фонного и ионизационного сигналов, для чего EDELWEISS использует сверхчистые германиевые детекторы при температуре 20 мК. Относительные ионизационные потери ядер отдачи значительно меньше, чем у электронов, что позволяет проводить высокоэффективный отбор фоновых событий от  $\beta$ - и  $\gamma$ -радиоактивности. С использованием данной техники EDELWEISS-I в 2002 г. стал первым экспериментом с чувствительностью на уровне  $2 \cdot 10^{-6}$  пб на спин-независимое сечение рассеяния WIMP на нуклоне. EDELWEISS-II является развитием этого эксперимента с новым уровнем контроля фона и с большей массой детекторов.

Инфраструктура и криогенная система установки EDELWEISS-II были введены в строй в начале 2006 г. В течение 2006–2007 гг. проводились отладочные, тестовые и калибровочные измерения, при этом первые полтора года использовались только девять детекторов общей массой около 2,5 кг. Результатом проведенных работ стало создание стабильных условий измерений, позволивших получить разрешение фонных и ионизационных каналов лучше 2 кэВ, а для некоторых детекторов и лучше 1 кэВ. Достигнутые энергетические разрешения определили порог, начиная с которого фактор отбора гамма-событий больше 99,99 %. Для данных, приведенных в настоящей работе, этот порог составил 30 кэВ. Энергетические пороги, с которыми ведется набор данных в ионизационном и тепловом каналах, составляют 1,5–3 кэВ.

Начиная с лета 2007 г. в криостат эксперимента EDELWEISS установлено 32 германиевых детектора. При этом используются детекторы нескольких типов:

- 23 классических Ge/NTD-детектора, каждый массой 320 г. Данные детекторы — это классические германиевые детекторы, дополнительно имеющие термометр, работающий при низких температурах. В роли термометра выступает маленький германиевый кристалл, подвергшийся изменениям в сильном нейтронном потоке (Neutron Transmutation Doped Ge thermistances — NTD). Изменения температуры с точностью до десятых долей микрокельвина регистрируются посредством измерений изменения сопротивления NTD. Основной проблемой детекторов этого типа является наличие фоновых событий вблизи поверхности с неполным сбором заряда. Данные события проникают в зону поиска WIMP и значительно ухудшают чувствительность эксперимента. Поэтому в EDELWEISS были разработаны и используются два новых типа детекторов с активным отбором поверхностных событий, как описано ниже;

- 5 Ge/NbSi-детекторов, 400 г каждый; были протестированы в EDELWEISS-II. В этих детекторах для измерения температуры на верхней и нижней поверхностях предусмотрен активный NbSi-слой. Разность в амплитуде сигнала в каждом из слоев позволяет устанавливать «глубину» энерговы-

деления и таким образом отсеивать поверхностные события. Детекторы этого типа продемонстрировали высокий фактор отбора таких событий, однако достигнутые энергетические разрешения пока не позволяют использовать их для поиска WIMP.

- Четыре детектора нового типа Ge/NTD/INTERDIGIT (ID), 400 г каждый, имеющие специальную схему электродов в виде нескольких концентрических колец, разработаны и протестированы в 2008 г. в эксперименте. С использованием разных потенциалов на соседних электродах удастся эффективно идентифицировать поверхностные события. Для измерения фоновый сигнал в этих детекторах применяются стандартные NTD-термисторы. Детекторы показали как высокий фактор отбора поверхностных событий (как описано далее), так и разрешение на уровне лучших классических Ge/NTD-детекторов.

Наряду с использованием вышеописанных детекторов в EDELWEISS-II проводятся работы по изучению и разработке новых типов детекторов для будущих экспериментов, в том числе сцинтилляционных болометров и детекторов с суб-кэВным порогом регистрации.

## 2. РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗМЕРЕНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Первый цикл набора данных WIMP в EDELWEISS-II был осуществлен в конце 2007 — начале 2008 г, второй цикл — в июне–ноябре 2008 г. В каждом цикле WIMP-измерений удалось набрать более 100 кг · сут статистики. На рис. 1 представлен полученный экспериментальный спектр, демонстрирующий зависимость фактора подавления (отношение ионизационного сигнала к тепловому) от энергии отдачи. Этот спектр получен после проведенного анализа, включающего в себя селекцию событий, регистрируемых в одинаковых экспериментальных условиях, и дискриминацию шумов. Для показанного на рисунке цикла измерений энергетический порог, выше которого фактор отбора  $\gamma$ -событий лучше  $1/10^4$ , составил 30 кэВ. В области поиска WIMP было зарегистрировано три события. Анализ имеющихся калибровочных данных с источником  $^{210}\text{Pb}$  с учетом количества зарегистрированных альфа-частиц в эксперименте показал, что эти события являются фоновыми событиями от  $^{210}\text{Pb}$ . Такие события поглощаются вблизи поверхности детектора, и поэтому ионизационный сигнал от них подавлен вследствие неполного сбора заряда. Исходя из наличия кандидатов на роль WIMP было получено ограничение на сечение рассеяния WIMP-нуклон. Для получения верхнего ограничения при неизвестном уровне фона использовался метод оптимальных интервалов [3]. Найденное ограничение на сечение рассеяния WIMP-нуклон показано на рис. 2. Наилучшее значение  $5 \cdot 10^{-7}$  пб получено для WIMP с массой в 80 ГэВ.

Экспериментальный спектр, NTD-детекторы,  $V=-7$  В, 93,5 кг. сут

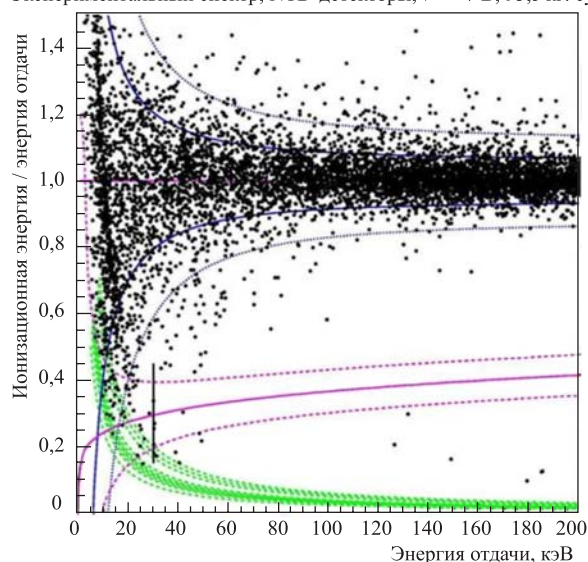


Рис. 1. Экспериментальный спектр, полученный в EDELWEISS-II с помощью NTD Ge-детекторов. Набранная статистика — 93,5 кг · сут, измерения выполнены в конце 2007 — начале 2008 г.

Как уже указывалось ранее, для борьбы с основным фактором, ограничивающим чувствительность эксперимента EDELWEISS в настоящее время, которым являются поверхностные фоновые события, нами разработаны и протестированы позиционно-чувствительные детекторы Ge/NbSi и Ge/NTD/INTERDIGIT. Возможности по отбору приповерхностных событий в Ge/NbSi- и Ge/NTD/INTERDIGIT-детекторах были экспериментально продемонстрированы с помощью калибровочных измерений с радиоактивным источником  $^{210}\text{Pb}$  (рис. 3).

После выделения внутреннего объема из 210000 событий, зарегистрированных в области интереса, осталось лишь 10 событий, что соответствует фактору подавления фона  $1 \text{ к } 2 \cdot 10^4$ . Зная на основании уровня  $\alpha$ -активности поверхностную загрязненность детекторов и используя полученный фактор подавления фона, мы можем установить ожидаемый уровень фоновых событий в области поиска WIMP в  $1/40000$  кг · сут. В настоящее время с детекторами нового типа набрано 16 кг · сут WIMP-данных. Благодаря хорошему энергетическому разрешению нижний порог анализа WIMP составил 15 кэВ. Как и ожидалось, в области поиска WIMP не наблюдалось ни одного фоновых события (рис. 4). Это позволило дать ограничение ( $7 \cdot 10^{-7}$  пб) на

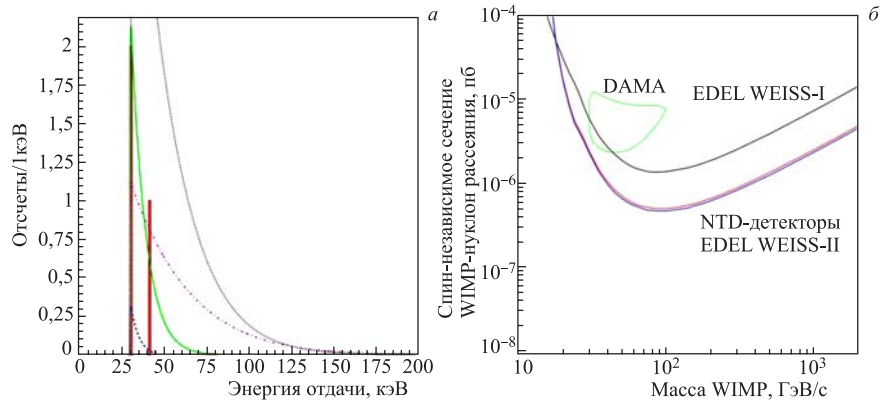


Рис. 2. Первые результаты измерений с NTD-детекторами в EDELWEISS-II. *a* — зарегистрированные кандидаты на роль WIMP и ожидаемые энергетические спектры WIMP; *b* — ограничение на спин-независимое сечение рассеяния WIMP-нуклон, полученное на основании анализа данных со статистикой 93 кг · сут. Также показаны результаты первой фазы эксперимента EDELWEISS и положительный результат эксперимента DAMA (замкнутая линия)

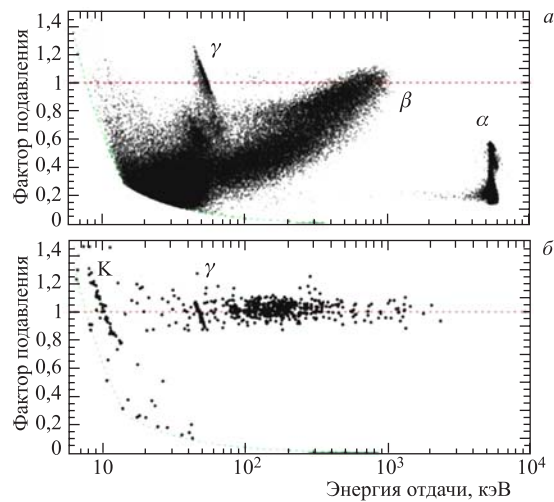


Рис. 3. Экспериментальный спектр ID-детектора с источником  $^{210}\text{Pb}$ , демонстрирующий устранение фоновых событий, возникающих в приповерхностном слое: *a* — все зарегистрированные события; *b* — картина после подавления событий, лежащих вне эффективного объема детектора

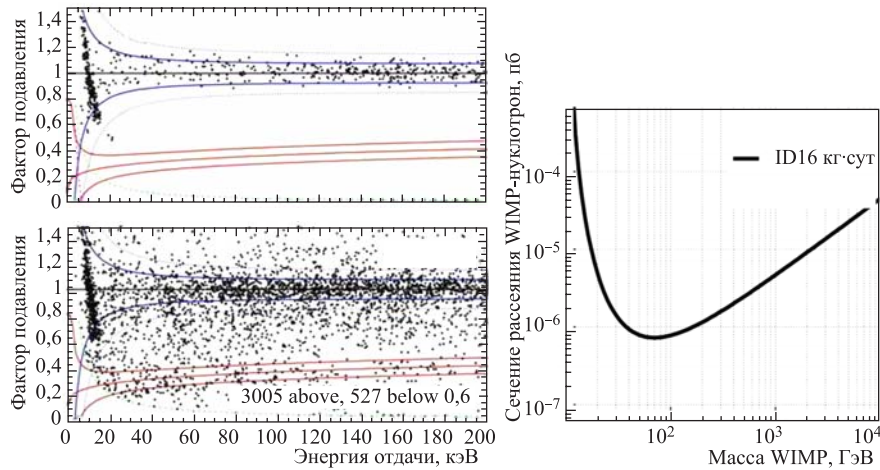


Рис. 4. Экспериментальный спектр ID-детектора, демонстрирующий устранение фоновых событий, возникающих в приповерхностном слое, — слева. Результат по поиску WIMP, полученный из анализа экспериментальных данных двух ID-детекторов весом 400 г (из анализа статистики в 16 кг · сут), — справа

сечение рассеяния WIMP-нуклон, которое сравнимо с результатом, полученным из измерений с традиционными детекторами.

В течение ближайших двух лет в EDELWEISS-II планируется набрать 3500 кг · сут данных с новыми детекторами. Ожидаемое полное подавление фона позволит исследовать область спин-независимых сечений рассеяния WIMP-нуклон до  $4 \cdot 10^{-9}$  пб. Фактор полного подавления фона является особенно важным с точки зрения наблюдения WIMP-событий, уже возможного в этой области сечений в соответствии с предсказаниями некоторых суперсимметричных моделей.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Из анализа первых данных, полученных в эксперименте EDELWEISS-II, установлено ограничение на сечение рассеяния WIMP-нуклон на уровне  $< 5 \cdot 10^{-7}$  пб, что в три раза лучше результата первой фазы эксперимента. В EDELWEISS-II экспериментально продемонстрирована перспективность использования криогенных германиевых болометров с активным подавлением фоновых событий на поверхности для прямого наблюдения WIMP. Результаты калибровочных и тестовых фоновых измерений показали возможность



достижения в EDELWEISS-II сечения рассеяния WIMP-нуклон на уровне  $4 \cdot 10^{-9}$  пб, что будет лучшим результатом в мире.

Эта работа проведена при поддержке гранта РФФИ-07-02-00355-а.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. *Bertone G. et al.* hep-ph/0404175v2.
2. *Sanglard V. et al.* // Nuclear Physics (Proc. Suppl.) B. 2007. V. 173. P. 0920–5632.
3. *Yellin S.* // Phys. Rev. D. 2002. V. 66. P. 032005.

Получено 25 февраля 2009 г.

Редактор *М. И. Зарубина*

Подписано в печать 21.04.2009.

Формат 60 × 90/16. Бумага офсетная. Печать офсетная.

Усл. печ. л. 0,62. Уч.-изд. л. 0,75. Тираж 310 экз. Заказ № 56576.

Издательский отдел Объединенного института ядерных исследований  
141980, г. Дубна, Московская обл., ул. Жолио-Кюри, 6.

E-mail: [publish@jinr.ru](mailto:publish@jinr.ru)

[www.jinr.ru/publish/](http://www.jinr.ru/publish/)