

**Обоснование-представление цикла работ «Бесфононый поиск безнейтринного двойного бета распада  $^{76}\text{Ge}$  в эксперименте GERDA» на соискание премии ОИЯИ по категории научно-исследовательских экспериментальных работ.**

*Коллектив авторов: К.Н. Гусев, И.В. Житников, Д.Р. Зинатулина, А.А. Клименко, А.В. Лубашевский, Н.С. Румянцева, А.А. Смольников, М.В. Фомина, Е.А. Шевчик, М.В. Ширченко*

Целью эксперимента GERDA является поиск безнейтринного двойного бета ( $0\nu\beta\beta$ ) распада  $^{76}\text{Ge}$ . Обнаружение этого процесса, происходящего с нарушением лептонного числа, было бы прямым указанием на майорановскую природу нейтрино (нейтрино тождественно антинейтрино) и однозначно свидетельствовало бы о существовании Новой физики за пределами Стандартной модели. Экспериментальная установка расположена в Национальной Лаборатории Гран Сассо в Италии. В GERDA используются детекторы из особо чистого германия, обогащенного изотопом  $^{76}\text{Ge}$  (всего около 40 кг  $^{76}\text{Ge}$ ), смонтированные в семь гирлянд и погруженные в криостат с жидким аргоном (64 м<sup>3</sup>). Аргон не только охлаждает детекторы до рабочей температуры, но и служит пассивной и активной защитой от фонового излучения. Благодаря этому, а также отбору полезных событий по форме импульса, в GERDA Фаза II нам удалось добиться уникального индекса фона в  $0,5 \times 10^{-4}$  отсчета/(кэВ кг год). Таким образом, вплоть до достижения расчетной статистики в 100 кг лет, в области интереса должно быть зарегистрировано менее одного события, что делает GERDA первым в мире бесфоновым экспериментом по поиску  $0\nu\beta\beta$  распада. На сегодняшний день набор данных в рамках эксперимента GERDA закончен и начат процесс перехода к проекту нового поколения LEGEND.

По результатам анализа накопленной статистики в 127,2 кг лет (из них в Фазе II – 103,7 кг лет) сигнал от  $0\nu\beta\beta$  распада обнаружен не был. Установлен лучший в мире предел на период полураспада  $T_{1/2}^{0\nu} > 1,8 \times 10^{26}$  лет (90% С.Л.) при беспрецедентной чувствительности эксперимента в  $1,8 \times 10^{26}$  лет. Линейная зависимость чувствительности от экспозиции, продемонстрированная в GERDA, доказывает, что набор данных проходил в бесфоновом режиме. Это уникальное достижение позволяет рассчитывать на успешное осуществление крупномасштабного бесфонового германиевого проекта.

Высокая компетентность сотрудников ЛЯП ОИЯИ определила их участие во всех ключевых этапах реализации проекта GERDA. На заре эксперимента в отделе НЭОЯСиРХ ЛЯП было разработана, произведена, установлена и запущена система пластикового мюонного вето. Наши ученые внесли очень заметный вклад как в разработку и тестирование принципов регистрации сцинтилляций аргона, так и в непосредственное создание в 2015 году первой системы активного аргонового вето, успешно примененной в эксперименте. В 2018 году специалисты ЛЯП ОИЯИ, совместно с коллегами из Мюнхенского университета, разработали, изготовили и установили в GERDA модифицированную систему аргонового вето с улучшенной эффективностью сбора света. Сотрудниками ОИЯИ была разработана оригинальная методика по подавлению доминирующего фона от  $^{42}\text{Ar}$ . Специально изготовленные сверхнизкофоновые нейлоновые кожухи со спектросмещающим покрытием, смонтированные вокруг германиевых детекторов, позволяют значительно снижать этот фон. Физики нашего института участвовали в анализе полученных данных и непосредственно отвечали за все операции с открытыми обогащенными германиевыми детекторами, начиная с демонстрации их работоспособности в криогенной жидкости в самом начале проекта и заканчивая инсталляцией (и деинсталляцией) всех детекторов в установку GERDA в обеих фазах эксперимента.

Результаты эксперимента GERDA были представлены на многочисленных конференциях и совещаниях, опубликовано большое количество работ, однако на соискание премии выдвинуто восемь из них, две из которых посвящены описанию установки GERDA, одна – разработке методики подавления фона от  $^{42}\text{Ar}$ , и пять – последовательному улучшению предела на период полураспада  $0\nu\beta\beta$  распада  $^{76}\text{Ge}$  вплоть до достижения в 2020 году лучшего в мире значения этой величины. Работы опубликованы в реферируемых журналах, в том числе в таких, как Nature и Science.

**Основные результаты, послужившие основанием для выдвижения данного цикла работ на премию ОИЯИ от ЛЯП:**

1. Демонстрация работоспособности и эффективности инновационной методики применения германиевых детекторов (открытые детекторы непосредственно погружаются в криогенную жидкость).
2. Разработка, создание и запуск экспериментальной установки GERDA (Фазы I и II), а также её успешная модификация в 2018 году.
3. Разработка методик подавления фона (системы активного мюонного и аргонового вето, отбор полезных событий по форме импульса в германиевых детекторах, система подавления фона от  $^{42}\text{Ar}$ ) за счет которых удалось достичь беспрецедентно низкого индекса фона в  $0,5 \times 10^{-4}$  отсчета/(кэВ кг год). Все эти методики будут применяться и в эксперименте нового поколения по поиску  $0\nu\beta\beta$  распада  $^{76}\text{Ge}$ .
4. Демонстрация бесфоновый режима накопления данных в GERDA – линейная зависимость чувствительности от экспозиции.
5. Достижение лучшего в мире предела на величину периода полураспада безнейтринного двойного бета распада  $^{76}\text{Ge}$ :  $T_{1/2}^{0\nu} > 1,8 \times 10^{26}$  лет (90% C.L.).

**Список публикаций**

1. К.-Н. Ackermann et al., The GERDA experiment for the search of  $0\nu\beta\beta$  decay in  $^{76}\text{Ge}$ , **Eur. Phys. J. C** **73** (2013) **2330**, DOI: 10.1140/epjc/s10052-013-2330-0
2. M. Agostini et al., Results on Neutrinoless Double- $\beta$  Decay of  $^{76}\text{Ge}$  from Phase I of the GERDA Experiment, **Phys. Rev. Lett.** **111** (2013) **122503**, DOI: 10.1103/PhysRevLett.111.122503
3. GERDA collaboration, Background-free search for neutrinoless double- $\beta$  decay of  $^{76}\text{Ge}$  with GERDA, **Nature** **544** (2017) **47**, DOI: 10.1038/nature21717
4. A. Lubashevskiy et al., Mitigation of  $^{42}\text{Ar}/^{42}\text{K}$  background for the GERDA Phase II experiment, **Eur. Phys. J. C** **78** (2018) **15**, DOI: 10.1140/epjc/s10052-017-5499-9
5. GERDA collaboration, Upgrade for Phase II of the GERDA experiment, **Eur. Phys. J. C** **78** (2018) **388**, DOI: 10.1140/epjc/s10052-018-5812-2
6. GERDA collaboration, Improved Limit on Neutrinoless Double- $\beta$  Decay of  $^{76}\text{Ge}$  from GERDA Phase II, **Phys. Rev. Lett.** **120** (2018) **132503**, DOI: 10.1103/PhysRevLett.120.132503
7. M. Agostini, Probing Majorana neutrinos with double- $\beta$  decay, **Science** **365** (2019) **1445**, DOI: 10.1126/science.aav8613
8. GERDA collaboration, Final Results of GERDA on the Search for Neutrinoless Double- $\beta$  Decay, submitted to *Phys. Rev. Lett.* (2020), arXiv: 2009.06079