

ПРОГРАММА НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ БНО ИЯИ РАН — 50 ЛЕТ В СТРОЮ

В. В. Кузьминов *

Институт ядерных исследований РАН, Москва

Представлены краткие исторические сведения о различных эпизодах создания Баксанской нейтринной обсерватории ИЯИ РАН. Приведено описание наземных и подземных установок, представлен перечень основных задач, решаемых на этих установках, и результаты проведенных измерений. Рассмотрены перспективные планы исследований.

A brief historical information about different episodes of the Baksan Neutrino Observatory INR RAS creation is presented. Ground-based and underground facilities are described. A list of the main tasks solving with these facilities and some main results are given. Perspective plans of the investigations are viewed.

PACS: 23.40.-s; 26.65.+t; 95.35.+d; 95.55.Ym

Идеи о создании специализированного подземного комплекса для проведения фундаментальных исследований в области нейтринной астрофизики и физики космических лучей появились в конце 50-х гг. XX в. В нашей стране работы в этой области проводились под руководством академика М. А. Маркова. В 1960-е гг. он предложил исследовать слабые взаимодействия в подземных экспериментах с помощью нейтрино космических лучей. Предложенный им метод основан на регистрации мюонов, рожденных при взаимодействии нейтрино с нуклонами вещества в недрах Земли. Были выполнены теоретические расчеты, сделаны первые оценки интенсивности потока нейтрино высоких энергий от возможных галактических источников.

Другое направление исследований, возможных только в подземных условиях, возникло как результат разработки методов регистрации и измерения потока нейтрино, идущих от Солнца. Необходимость подземного расположения установок вызвана тем обстоятельством, что на поверхности земли фон, создаваемый в детекторах мюонами космических лучей, многократно превышает ожидаемый эффект и полностью его маскирует.

* E-mail: bno_vvk@mail.ru

19 июня 1963 г. было принято постановление Президиума Академии наук СССР о строительстве подземной станции и создании в ФИАН лаборатории «Нейтрино» (заведующий — Г. Т. Зацепин, зав. сектором — А. Е. Чудаков). К 1967 г. было закончено научное обоснование и разработан проект нейтринной станции. Совет Министров СССР 29 июня 1967 г. издал распоряжение о создании станции (Обсерватории), и в том же году работы были начаты. Первым заведующим станцией был назначен А. А. Поманский. Упомянутые личности представлены на рис. 1 и 2.

Место для будущей обсерватории выбрали недалеко от горы Эльбрус в Баксанском ущелье, находящемся в Кабардино-Балкарии. Проект предусматривал строительство двух параллельных горизонтальных штолен в горе Андырчи (высота горы 3937 м), вдоль которых должны были располагаться физические установки. В конце штольни длиной около 4000 м поток мюонов космических лучей почти на 7 порядков ниже, чем на поверхности. Первоначальный проект предусматривал строительство только двух подземных установок: сцинтилляционного телескопа и хлор-аргонового нейтринного телескопа, но в дальнейшем произошли существенные его изменения. Были построены другие научные сооружения, и станция приобрела статус Обсерватории.

Одновременно предусматривалось строительство необходимых инженерных и хозяйственных сооружений и жилого поселка для сотрудников.

Реализацией этих замыслов и явилось создание Баксанской нейтринной обсерватории ИЯИ РАН и пос. Нейтрино [1, 2]. Это был первый в мире спе-



Рис. 1. В кулуарах конференции «Нейтрино'77» (слева направо): заместитель заведующего Баксанской нейтринной обсерваторией АН СССР Е. Н. Алексеев, академик Г. Т. Зацепин, академик М. А. Марков, член-корреспондент В. А. Кузьмин



Рис. 2. Участники встречи с президентом АН СССР М. В. Келдышем, посетившим строящуюся Баксанскую нейтринную обсерваторию ИЯИ АН СССР в 1972 г. (слева направо): первый заведующий Обсерваторией А. А. Поманский, представитель строительной организации, научный сотрудник В. В. Алексеенко, научный сотрудник В. А. Кузнецов, представитель строительной организации, академик Г. Т. Зацепин, президент АН СССР академик М. В. Келдыш, заместитель заведующего Обсерваторией Е. Н. Алексеев, директор ИЯИ АН СССР академик А. Н. Тавхелидзе, член-корреспондент АН СССР А. Е. Чудаков

циализированный научный комплекс для проведения исследований в области космических лучей, физики элементарных частиц и нейтринной астрофизики. В 1998 г. за создание комплекса группа ученых: Е. Н. Алексеев, А. В. Воеводский, В. Н. Гаврин, Г. Т. Зацепин, А. А. Поманский, А. Н. Тавхелидзе и А. Е. Чудаков — была удостоена Государственной премии. Позднее В. Н. Гаврин и Г. Т. Зацепин были удостоены премии им. Б. М. Понтекорво и золотой медали им. Д. В. Скобельцына за создание галлий-германиевого нейтринного телескопа и весомый вклад в исследования солнечных нейтрино.

НАЗЕМНЫЙ КОМПЛЕКС

Первый научный объект Обсерватории — наземный экспериментальный зал «Эллинг» с установкой «Ковёр» из 400 типовых сцинтилляционных детекторов (ТСД) — был введен в эксплуатацию в 1973 г. [3]. ТСД представляет собой алюминиевый бак размерами $70 \times 70 \times 30$ см, заполненный жидким сцинтиллятором на основе уайт-спирита. Сцинтиллятор просматривается фотоэлектронным умножителем (ФЭУ). Общий вид установки «Ковёр» представлен на рис. 3.

Эта установка с непрерывной площадью регистрации $\sim 200 \text{ м}^2$ представляет собой точную копию одного из слоев Баксанского подземного сцинтилляционного телескопа (БПСТ). На ней, в частности, решался ряд задач

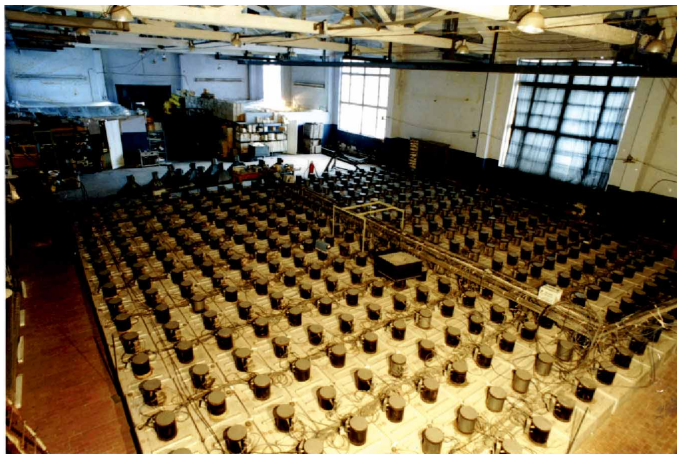


Рис. 3. Установка «Ковёр»

по отработке методики проведения экспериментов на БПСТ. Однако основное назначение прибора состояло в исследовании первичных космических лучей (КЛ) в диапазоне $5,7 \cdot 10^9 - 1 \cdot 10^{16}$ эВ, в изучении механизмов и характеристик их взаимодействия с веществом земной атмосферы путем регистрации одиночной вторичной компоненты и широких атмосферных ливней (ШАЛ), образующихся в результате таких взаимодействий.

ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ

1. *Исследование структуры центральной части ШАЛ.* Анализ событий позволил интерпретировать подстоны в многостольных ливнях как следствие генерации струй частиц с большими поперечными импульсами и оценить сечение этого процесса. Результат этого эксперимента впервые подтвердил предсказания квантовой хромодинамики [4].

2. *Исследование вариаций космических лучей.* Огромный темп счета одиночных мюонов КЛ ($\sim 4,3 \cdot 10^4 \text{ с}^{-1}$) позволяет иметь высокую статистическую точность даже за малые интервалы времени (0,03 % за 4 мин). В ходе этой работы был обнаружен новый тип спорадических вариаций с малым характерным временем, связанных с метеорологическими эффектами. Сильная корреляция с величиной электрического поля в атмосфере (вариации такого типа наблюдаются только во время грозы) позволила не только объяснить это новое явление, но и описать его количественно [5].

Пожалуй, самым интересным из спорадических изменений интенсивности КЛ является гигантское возрастание во время мощной солнечной вспышки 29 сентября 1989 г. Впервые в этом событии наблюдалось присутствие частиц солнечного происхождения с энергией, по крайней мере, до 10^{10} эВ [6].

3. *Исследование анизотропии космических лучей.* Регистрация ливней малой мощности, соответствующих первичным КЛ с энергией 10^{13} эВ, позволила измерить их анизотропию при этой энергии. В темпе счета таких ливней обнаружены первая и вторая гармоники в звездном времени. Полученное на основании этих данных значение анизотропии космических лучей при 10^{13} эВ равно $(0,057 \pm 0,005) \%$ [7].

4. *Гамма-астрономия сверхвысоких энергий.* По этой программе ведется непрерывная регистрация атмосферных ливней с энергией больше 10^{14} эВ. При анализе данных одновременно решаются несколько задач: 1) поиск точечных источников γ -квантов таких энергий; 2) поиск сигналов от протяженных источников γ -излучений (в первую очередь от галактической плоскости); 3) измерение анизотропии КЛ при этих энергиях; 4) поиск вспышечной активности известных рентгеновских и гамма-источников.

Наиболее интересный результат, полученный к настоящему времени, — регистрация вспышки от Крабовидной туманности 23 февраля 1989 г. Данные об этой вспышке впервые опубликованы группой, работающей на установке «Ковёр». Позже были получены подтверждения эффекта на установках «Коллар Голд Филдс» в Индии и «EAS Тор» в Гран-Сассо (Италия) [8].

5. *Исследование вариаций потока атмосферных нейтронов.* По этой программе ведется непрерывная регистрация темпа счета нейтронного монитора. Данные поставляются в мировую сеть. По результатам анализа параметров вариаций исследуются характеристики вспышек на Солнце и их влияние на межпланетное магнитное поле.

УСТАНОВКА «КОВЁР-2 (3)»

Характеристики установки «Ковёр» улучшились после ввода в строй в 1998 г. первой очереди мюонного детектора, расположенного в средней секции трехсекционного подземного зала размерами $3 \times (6 \times 48 \times 4)$ м на расстоянии ~ 40 м от центра «Ковра» под слоем грунта толщиной 2 м (или 5 м водного эквивалента (м в. э.)). Грунт служит поглотителем мягкой компоненты КЛ.

Новая установка получила название «Ковёр-2». Для ее создания использованы 175 сцинтилляционных детекторов площадью 1 м^2 , изготовленных из пластмассового сцинтиллятора толщиной 5 см.

Анализ информации с мюонного детектора, при его совместной работе с установкой «Ковёр», позволил: 1) существенно увеличить чувствительность эксперимента по поиску локальных источников γ -квантов сверхвысоких энергий; 2) начать исследования химического состава первичных КЛ с $E \geq 10^{14}$ эВ; 3) изучать вариации мюонов с энергиями больше 1 ГэВ [9].

Завершается работа по заполнению двух оставшихся секций подземного зала детекторами. Чувствительная площадь увеличится до 615 м^2

(«Ковёр-3»). Это существенно увеличит скорость набора информации и расширит возможности установки.

УСТАНОВКА «АНДЫРЧИ»

Установка «Андырчи», предназначенная для регистрации атмосферных ливней с энергией больше 10^{14} эВ, начала свою работу в 1996 г.

Установка размещена на пологом участке склона горы Андырчи и состоит из 37 стандартных детекторов на основе пластмассовых сцинтилляторов площадью 1 м^2 . Детекторы расположены на площади $\sim 4,5 \cdot 10^4 \text{ м}^2$ с шагом $\sim 40 \text{ м}$ [10]. Центральный детектор установки расположен над БПСТ. Расстояние по вертикали составляет $\approx 350 \text{ м}$.

На установке проводятся исследования в области: 1) γ -астрономии сверхвысокой энергии [11]; 2) анизотропии первичных космических лучей в области энергий $10^{14} - 10^{17}$ эВ [12]; 3) γ -всплесков с жестким спектром излучения (совместно с астрономической обсерваторией на пике Терскол) [13].

ПОДЗЕМНЫЙ КОМПЛЕКС

На рис. 4 схематически показан продольный разрез горы Андырчи и подземного комплекса лабораторий Обсерватории. Лаборатории размещены в обустроенных горных выработках, расположенных с разных сторон штольни «Главная».

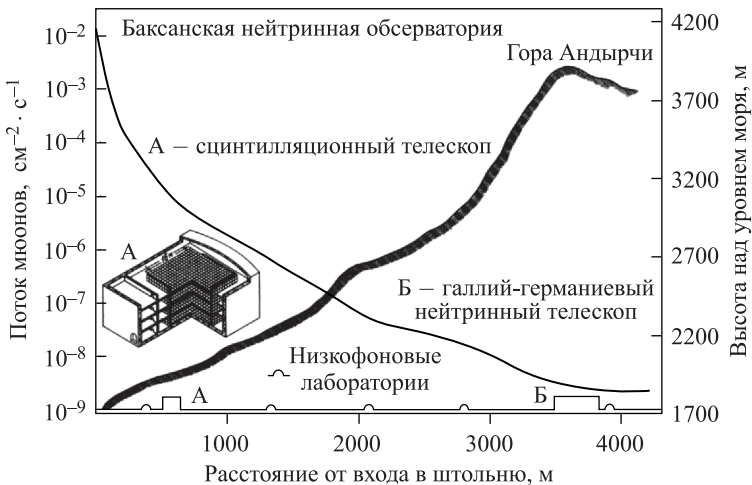


Рис. 4. Схематический разрез склона горы Андырчи вдоль штольни (правая шкала). Величина потока мюонов в подземной лаборатории в зависимости от глубины расположения (левая шкала)

БАКСАНСКИЙ ПОДЗЕМНЫЙ СЦИНТИЛЛЯЦИОННЫЙ ТЕЛЕСКОП

БПСТ — многоцелевая подземная установка, предназначенная для решения большого круга задач астрофизики, физики элементарных частиц и космических лучей, была введена в строй в 1978 г. [14]. Телескоп расположен в горной выработке объемом 12000 м^3 на расстоянии 550 м от начала горизонтального тоннеля. На рис. 5 приведена фотография подземного помещения БПСТ на одном из этапов строительства.

Установка представляет собой четырехэтажное здание с площадью основания $16,7 \times 16,7 \text{ м}$ и высотой 11,1 м. В состав телескопа входят шесть внешних и два внутренних регистрирующих слоя (четыре горизонтальных и четыре вертикальных), изготовленных из ТСД. Общее количество детекторов — 3180. Полная масса сцинтиллятора в них составляет $\sim 330 \text{ т}$. Вид одной из четырех горизонтальных плоскостей БПСТ представлен на рис. 6.

Относительно небольшая толща горы над местом расположения телескопа снизила фон атмосферных КЛ в $\sim 3,6 \cdot 10^3$ раз (темп счета одиночных мюонов с энергией больше 0,2 ТэВ составляет 12 с^{-1}). С одной стороны, этого оказывается достаточно для решения задачи регистрации редких процессов (измерение потока мюонов, рожденных нейтрино высоких энергий; поиск нейтринных всплесков, сопровождающих коллапс звезд в Галактике). С другой стороны, остаточная интенсивность КЛ позволяет с хорошей статистической обеспеченностью решать большой круг задач в области физики КЛ (анизотропия лучей с энергией больше 10^{12} эВ , химический состав первич-

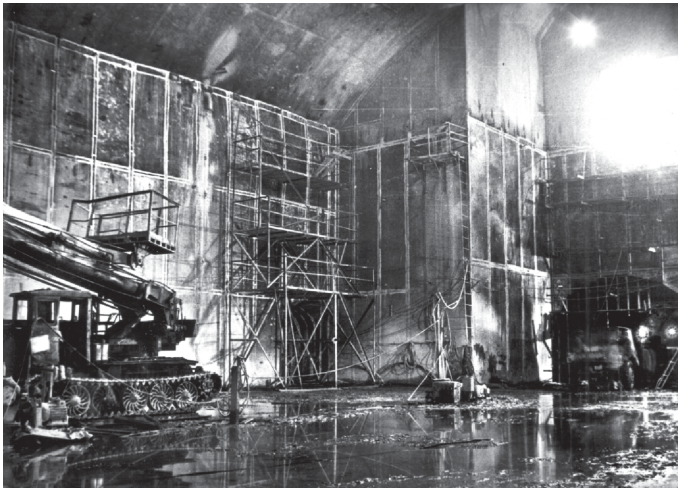


Рис. 5. Подземное помещение БПСТ на одном из этапов строительства



Рис. 6. Вид одной из горизонтальных плоскостей БПСТ

ных КЛ с энергией в диапазоне 10^{12} – 10^{16} эВ, взаимодействие с веществом мюонов с энергией больше 1 ТэВ и др.).

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТОВ БПСТ

На телескопе получен целый ряд важных результатов. Приведем некоторые из них.

1) Измерен поток мюонов, рожденных атмосферными нейтрино космических лучей ($I_{\mu}^{\nu} \approx (2,45-2,75) \cdot 10^{-13} \text{ см}^{-2} \cdot \text{с}^{-1} \cdot \text{ср}^{-1}$) [15].

2) Получены одни из первых ограничений на параметры осцилляций атмосферных нейтрино [16].

3) Получены ограничения на поток нейтрино высоких энергий от локальных источников из плоскости Галактики.

4) Получено наилучшее в мире ограничение на поток медленных тяжелых магнитных монополей [17].

5) Измерены амплитуда $((12,3 \pm 2,0) \cdot 10^{-4})$ и фаза $(1,6 \pm 0,8)$ первой гармоники анизотропии КЛ в звездном времени [11].

6) В течение 34 лет ведется служба наблюдения за нейтринными всплесками от гравитационного коллапса звезд в Галактике. Получены ограничения на частоту вспышек f и средний интервал между вспышками сверхновых T (на 90 %-м доверительном уровне) ($f < 0,074 \text{ год}^{-1}$, $T > 13,5 \text{ лет}$) [18].

7) Одновременно с установками, находящимися в США, Италии, Японии, зарегистрирован поток нейтрино от коллапса звезды SN 1987A в Большом Магеллановом Облаке [19].

НИЗКОФОНОВЫЕ ЛАБОРАТОРИИ

Для решения ряда задач, в которых исследуются чрезвычайно редкие реакции и распады с энерговыделением, не превышающим ~ 4 МэВ, требуются условия, в которых не только фон КЛ снижен до максимально возможного уровня, но и одновременно до предела снижен фон ионизирующих излучений от распада естественных радиоактивных элементов в окружающей среде. Результат достигается экранированием экспериментальной подземной установки комбинированным слоем высокочистых защитных материалов, поглощающих эти излучения, и использованием высокочистых материалов в конструкции самой установки. К данному направлению исследований относятся задачи поиска различных мод двойного бета-распада ряда изотопов, поиск частиц-кандидатов на «темную» массу Вселенной, проверка закона сохранения электрического заряда и др. В Обсерватории эти исследования проводятся в трех специально созданных подземных низкофоновых лабораторных помещениях (камерах): 1) низкофоновой камере (НИКА) на расстоянии 385 м от входа; 2) камере прецизионных измерений (КАПРИЗ) на расстоянии 620 м от входа; 3) низкофоновой лаборатории глубокого заложения на расстоянии 3670 м от входа [20]. Поток КЛ в помещениях снижен в $\sim 2 \cdot 10^3$; $\sim 8 \cdot 10^3$; $\sim 1 \cdot 10^7$ раз соответственно. Вид лаборатории НЛГЗ-4900 представлен на рис. 7.

За годы существования и развития комплекса низкофоновых лабораторий был выполнен ряд методических и исследовательских работ. Некоторые



Рис. 7. Вид лаборатории НЛГЗ-4900

из них: 1) проведено исследование распределения космогенных радиоактивных изотопов в образцах лунного грунта, доставленного космическими аппаратами «Луна-16, -20, -24»; 2) измерено содержание космогенного изотопа ^{81}Kr в атмосферном криптоне и образцах, облученных на реакторе и ускорителе; получено подтверждение гипотезы о постоянстве средней интенсивности космических лучей на протяжении последних нескольких сот тысяч лет [21]; 3) проведен поиск 2β -распада изотопов ^{150}Nd и ^{100}Mo , для последнего изотопа впервые в мире был обнаружен ($2\beta 2\nu$)-распад [22]; 4) на различных газовых детекторах с возрастающей чувствительностью проведен ряд экспериментов по поиску 2β -распада изотопа ^{136}Xe [23]; 5) на различных газовых детекторах выполнен поиск $2K$ -захвата ^{78}Kr [24] и ^{124}Xe , а также $2\beta^+$ - и $e\beta^+$ -распадов ^{78}Kr ; 6) выполнен совместный (Испания–Россия–США) эксперимент IGEX по поиску 2β -распада ^{76}Ge [25]; 7) проведен один из первых экспериментов по поиску сигнала от WIMP на Ge-детекторах; 8) ведется поиск гипотетических частиц — аксионов, которые могут рождаться в ядерных реакциях на Солнце [26].

ГАЛЛИЙ-ГЕРМАНИЕВЫЙ НЕЙТРИННЫЙ ТЕЛЕСКОП

Галлий-германиевый нейтринный телескоп (ГГНТ) предназначен для проведения измерений потока солнечных нейтрино. Данные о потоке содержат уникальную информацию о протекании термоядерных реакций в центральных областях Солнца и о свойствах нейтрино. Исследования на ГГНТ проводятся с 1986 г. в рамках российско-американского эксперимента SAGE [27].

Принцип работы телескопа основан на реакции захвата нейтрино (ν_e) ядром ^{71}Ga с образованием ядра ^{71}Ge и электрона (e^-): $^{71}\text{Ga}(\nu_e, e^-) ^{71}\text{Ge}$. Достоинством данного метода детектирования, предложенного в 1965 г. В. А. Кузьминым, является низкий энергетический порог реакции, который составляет 0,233 МэВ. Благодаря этому галлиевый нейтринный телескоп имеет возможность регистрировать pp -нейтрино, дающие наибольший вклад в полный поток солнечных нейтрино.

Изотоп ^{71}Ge является радиоактивным. Он распадается путем электронного захвата с периодом полураспада $T_{1/2} = 11,4$ сут. Распады атомов ^{71}Ge могут быть зарегистрированы, и таким образом может быть определено число произошедших реакций и рассчитан поток нейтрино.

Подземный комплекс лаборатории ГГНТ расположен на расстоянии 3,5 км от входа в штольню. Общий вид реакторного зала ГГНТ приведен на рис. 8.

В телескопе в качестве мишени используется около 50 т расплавленного металлического галлия, находящегося в 7 химических реакторах. Для извлечения единичных атомов ^{71}Ge из мишени была разработана уникальная



Рис. 8. Общий вид реакторного зала ГПНТ

технология, которая является одним из основных технологических процессов телескопа. Периодичность извлечения составляет ~ 30 сут.

Регистрация редких распадов атомов ^{71}Ge в пропорциональном счетчике продолжается в течение ~ 4 мес, затем не менее 2 мес измеряется фон. Полный цикл операций облучения мишени, извлечения продуктов и счета распадов атомов ^{71}Ge называется *ран*.

РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТА SAGE

За период с января 1990 г. по декабрь 2016 г. в итоговую информацию эксперимента SAGE вошли данные 259 завершенных ранов [28]. Объединенный результат этих данных составляет $(64,7 + 3,5 / - 3,7)$ SNU, что соответствует 51 % от величины $(127,9 + 8,1 / - 8,2)$ SNU, предсказанной по Стандартной Солнечной модели (CCM) BPS08 без учета осцилляций ($1 \text{ SNU} = 1$ взаимодействие в 1 с в мишени, содержащей 10^{36} атомов изотопа, взаимодействующего с нейтрино).

На основе данного результата SAGE, а также результатов экспериментов SNO, Homestake и KamLAND получена оценка: 1) величины потока *pp*-нейтрино, достигающих Земли в своем первоначальном электронном аромате $((3,40 + 0,46 / - 0,47) \cdot 10^{10} \text{ см}^{-2} \cdot \text{с}^{-1})$; 2) полного потока нейтрино от *pp*-реакций в Солнце, достигающих Земли в виде различных ароматных состояний, возникающих как результат осцилляций $((6,0 \pm 0,8) \cdot 10^{10} \text{ см}^{-2} \cdot \text{с}^{-1})$.

Экспериментально полученная величина полного потока нейтрино хорошо согласуется с величиной потока, предсказываемой CCM, — $(5,95 \pm 0,06) \cdot 10^{10} \text{ см}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$.

КАЛИБРОВОЧНЫЙ ЭКСПЕРИМЕНТ С ИСТОЧНИКОМ ^{51}Cr

Убедительным подтверждением достоверности результатов, получаемых в эксперименте SAGE, прямой проверкой методики извлечения продуктов реакции и расчетов выхода реакции стал эксперимент с использованием искусственного источника нейтрино ^{51}Cr интенсивностью $1,91 \cdot 10^{16} \text{ с}^{-1}$ (517 кКи), испускающего нейтрино с энергией ~ 750 кэВ (90 %) и ~ 430 кэВ (10 %).

Результат данного эксперимента, выраженный как отношение измеренной скорости образования ^{71}Ge к ожидаемой скорости от источника известной мощности, составил $0,95 \pm 0,12$ [29]. Полученный результат является прямым доказательством надежности измерений потока солнечных нейтрино, проводимых в эксперименте SAGE.

Другой калибровочный эксперимент был проведен с искусственным источником ^{37}Ar , испускающим нейтрино с энергией 811 кэВ и интенсивностью $1,51 \cdot 10^{16} \text{ с}^{-1}$ [30].

ЭКСПЕРИМЕНТ BEST

В ИЯИ РАН разработан проект эксперимента BEST (Baksan Experiment on Sterile Transitions) по поиску стерильных нейтрино, основанный на исследовании взаимодействия нейтрино от мощного компактного искусственного источника с ядрами галлия мишени галлий-германиевого нейтринного телескопа. Исследования, направленные на поиск стерильных нейтрино, имеют потенциал открытия выдающегося значения и интенсивно ведутся сейчас во многих странах мира в условиях жесткой конкуренции [31]. В Обсерватории завершена подготовка детектора для эксперимента BEST, завершается проверка методики измерений. Ведется интенсивная работа по изготовлению мощного источника нейтрино.

УСТАНОВКА ОГРАН

На расстоянии 1350 м от входа в штольне «Главная» завершается создание оптоакустической гравитационной антенны (ОГРАН). В конструкцию ОГРАН заложены принципы, позволяющие без охлаждения вакуумированного акустического детектора массой ~ 1 т достичь чувствительности $\sim 10^{-18}$ по относительной деформации, достаточной для регистрации гравитационно-волнового излучения, порождаемого в моменты катастроф релятивистских астрофизических объектов в нашей Галактике и ее близкой окрестности (до 100 кпс).

Работы ведутся совместно ИЯИ РАН и ГАИШ МГУ. Окончание подготовительных работ запланировано на 2018 г.

ПОДЗЕМНЫЙ КОМПЛЕКС ГЕОФИЗИЧЕСКИХ УСТАНОВОК

Параметры окружающей среды в подземном комплексе помещений отличаются высокой стабильностью. Уровни вибрационных и акустических шумов многократно снижены по сравнению с поверхностью. Это создает чрезвычайно удобные условия для проведения различного рода геофизических измерений и обеспечивает их высокую чувствительность. Ценность таких исследований заключена не только в фундаментальной составляющей. Получаемые данные позволяют отслеживать обстановку в глубинных слоях Земли в окрестностях спящего вулкана Эльбрус и прогнозировать возможные изменения его состояния.

В настоящее время в штольнях развернут ряд геофизических установок:

1) на расстоянии 530–610 м от входа в штольне «Главная» размещен высокочувствительный деформограф ГАИШ МГУ на основе большебазового лазерного интерферометра [32];

2) на расстоянии 1520 м от входа в штольне «Главная» размещен ближний геофизический комплекс ИФЗ им. О. Ю. Шмидта (наклонометры, магнитометры);

3) на расстоянии 4000 м от входа в штольне «Вспомогательная» расположен дальний геофизический комплекс ИФЗ им. О. Ю. Шмидта и КБГУ (наклонометры, магнитометры, гравиметр, термометры) и сейсмостанции Геофизической службы РАН.

ПРОЕКТ БАКСАНСКОГО ПОДЗЕМНОГО СЦИНТИЛЛЯЦИОННОГО ДЕТЕКТОРА БОЛЬШОГО ОБЪЕМА

Предлагается создать в БНО ИЯИ РАН многоцелевой нейтринный детектор большого объема на основе жидкого сцинтиллятора с массой мишени 10 кт, предназначенный для регистрации нейтрино и антинейтрино от Солнца, Земли и астрофизических источников. Планируется, что детектор будет расположен в подземной выработке на глубине около 5000 м водного эквивалента. Географические особенности расположения Обсерватории позволяют существенно подавить фон, связанный с потоками антинейтрино от работающих реакторов АЭС, и, в то же время, зарегистрировать потоки антинейтрино, несущие информацию о строении и составе земной коры в данном регионе.

В целом работы на всех установках Баксанской нейтринной обсерватории ИЯИ РАН проводятся в тесном сотрудничестве с рядом отечественных и зарубежных научных организаций. Это Кабардино-Балкарский государственный университет, Южный Федеральный университет, Харьковский национальный университет, МИФИ, НИИЯФ МГУ, ГАИШ МГУ, ИФЗ им. О. Ю. Шмидта,

ИЗМИРАН, Полярный геофизический институт РАН (Апатиты), Геофизическая служба РАН, Институт астрономии РАН, ОИЯИ, международные коллаборации GERDA, LEGEND, AMoRE, EMMA, польский Институт ядерных проблем (лаборатория космических лучей, г.Лодзь) и др. Это значительно повышает эффективность использования уникального для нашей страны специализированного низкофонового подземного комплекса установок БНО ИЯИ РАН и подтверждает его высокий научный потенциал для проведения исследований при решении широкого круга различных задач современной науки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Поманский А. А. // АЭ. 1978. Т. 44. С. 376–383.
2. Kuz'minov V. V. // Eur. Phys. J. Plus. 2012. V. 127. P. 113
3. Алексеев Е. Н., Алексеев В. В., Воеводский А. В., Глемба П. Я., Дадькин В. Л., Догужаев В. А., Кузнецов В. А., Лидванский А. С., Марков В. Я., Марков Ю. Я., Сборщиков В. Г., Степанов В. И., Парамонов В. И., Поманский А. А., Татьяна Б. Б., Тизенгаузен В. А., Христиансен Г. Б., Цябук А. Л., Чудаков А. Е. // Изв. АН СССР. Сер. физ. 1974. Т. 38. С. 1097–1100.
4. Chudakov A. E., Dzhabbaev D. D., Lidvansky A. S., Tizengauzen V. A., Sulakov V. P., Navarra G. // Proc. of the 16th ICRC. Kyoto, 1979. V. 8. P. 222–226.
5. Alexeenko V. V., Khaerdinov N. S., Lidvansky A. S., Petkov V. B. // Phys. Lett. A. 2002. V. 301. P. 299–306.
6. Alexeenko V. V., Chernyaev A. B., Chudakov A. E., Khaerdinov N. S., Semenov A. M., Voevodsky A. V. // Proc. of the 23rd ICRC. Calgary, 1993. V. 3. P. 163–166.
7. Alexeyenko V. V., Chudakov A. E., Gulieva E. N., Sborshikov V. G. // Proc. of the 17th ICRC. Paris, 1981. V. 2. P. 146–149.
8. Alexeenko V. V., Andreyev Yu. M., Chudakov A. E., Lidvansky A. S., Ozrokov S. S., Sklyarov V. V., Tizengauzen V. A., Osborn S. L. // Proc. of the 22nd ICRC. Dublin, 1991. V. 1. P. 293–295.
9. Dzhabbaev D. D., Kudzhaev A. U., Alexeenko V. V., Klimenko N. F., Lidvansky A. S., Mikhailova O. I., Petkov V. B., Stenkin Yu. V., Tsybuk A. L., Chernyaev A. B. // Bull. Russ. Acad. Sci.: Phys. 2009. V. 73, No. 5. P. 642–644.
10. Алексеев Е. Н., Алексеев В. В., Бакатанов В. Н., Бозиев С. Н., Воеводский А. В., Волченко В. И., Гуренцов В. И., Дударевич А., Карпов С. Н., Коновалов Ю. Н., Клименко Н. Ф., Короткий Г. Д., Козьяривский В. А., Малоличко Ю. В., Марчук Д. Л. (32 соавтора) // Изв. АН СССР. Сер. физ. 1993. Т. 57, вып. 4. С. 9.
11. Koz'yarivsky V. A., Lidvansky A. S., Petkov V. B., Tulupova T. I. arXiv:astro-ph/0406059v1. 2004.
12. Petkov V. B., Pozanenko A. S., Loz'nikov V. M., Gaponenko A. N., Andreev M. V., Sergeev A. V. // Astrophys. Space Sci. Trans. 2011. V. 7. P. 97–100.
13. Petkov V. B., Bugaev E. V., Klimai P. A., Andreev M. V., Volchenko V. I., Volchenko G. V., Gaponenko A. N., Guliev Zh. Sh., Dzaparova I. M., Smirnov D. V., Sergeev A. V., Chernyaev A. B., Yanin A. F. // Astron. Lett. 2008. V. 34, No. 8. P. 509–514.

14. Alexeyev E. N., Alexeyenko V. V., Andreyev Yu. M., Bakatanov V. N., Butkevich A. V., Chudakov A. E., Galperin M. D., Gitelson A. A., Gurentsov V. I., Danshin A. E., Dogujaev V. A., Dadikin V. L., Elensky Ya. S., Kozyarivsky V. A., Kogai I. M. (36 coauthors) // Proc. of the 16th ICRC. Kyoto, 1979. V. 10. P. 276–281.
15. Boliev M. M., Butkevich A. V., Chudakov A. E., Makoev B. A., Mikheyev S. P., Zakideshev V. N. // Proc. of the 17th ICRC. Paris, 1981. V. 7. P. 106–109.
16. Болиев М. М., Буткевич А. В., Закидышев В. Н., Макоев Б. А., Михеев С. П., Чудиков А. Е. // ЯФ. 1981. Т. 34, вып. 5. С. 1418–1421.
17. Novoseltsev Yu. F., Boliev M. M., Butkevich A. V., Mikheev S. P., Petkov V. B. // Nucl. Phys. B. Proc. Suppl. 2006. V. 151, No. 1. P. 337–340.
18. Novoseltsev Yu. F., Boliev M. M., Dzaparova I. M., Kochkarov M. M., Novoseltseva R. V., Petkov V. B., Volchenko V. I., Volchenko G. V., Yanin A. F. // Proc. of Intern. Workshop on Quark Phase Transition in Compact Objects and Multimessenger Astronomy: Neutrino Signals, Supernovae and Gamma-Ray Bursts, Nizhny Arkhyz – Terskol, Oct. 7–14, 2015. Пятигорск: Изд-во «Снег», 2016. P. 76–84.
19. Alexeyev E. N., Alexeyeva L. N., Krivosheina I. V., Volchenko V. I. // Proc. of the 2nd Intern. Symp. UP-87. M., 1988. P. 85–93.
20. Gavriljuk Ju. M., Gangapshev A. M., Gezhaev A. M., Kazalov V. V., Kuzminov V. V., Panasenko S. I., Ratkevich S. S., Yakimenko S. P. // Nucl. Instr. Meth. A. 2013. V. 729. P. 576–580.
21. Kuzminov V. V., Potansky A. A. // Proc. of the 18th Intern. Cosmic Ray Conf., Bangalore, India, 1983. V. 2. P. 357–360.
22. Васильев С. И., Клименко А. А., Осетров С. Б., Поманский А. А., Смольников А. А. // Письма в ЖЭТФ. 1990. Т. 51. С. 550–554.
23. Gavriljuk Ju. M., Gangapshev A. M., Kazalov V. V., Kuzminov V. V., Panasenko S. I., Ratkevich S. S., Zhantudueva D. A., Yakimenko S. P. arXiv:1112.0859v2 [nucl-ex]. 2011.
24. Gavriljuk Yu. M., Gangapshev A. M., Kazalov V. V., Kuzminov V. V., Panasenko S. I., Ratkevich S. S. // Phys. Rev. C. 2013. V. 87. P. 035501.
25. Aalseth C. E., Avignone F. T., Brodzinski R. L., Collar J. I., Garcia E., Gonzales D., Hasenbalg F., Hensley W. K., Kirpichnikov I. V., Klimenko A. A., Miley H. S., Morales A., Morales J., Ortis de Solorzano A., Osetrov S. B. (27 coauthors) // Nucl. Phys. B. Proc. Suppl. 1996. V. 48. P. 223–225.
26. Gavriljuk Yu. M., Gangapshev A. N., Derbin A. V., Drachnev I. S., Kazalov V. V., Kobychhev V. V., Kuz'minov V. V., Muratova V. N., Panasenko S. I., Ratkevich S. S., Semenov D. A., Tekueva D. A., Unzhakov E. V., Yakimenko S. P. // JETP Lett. 2015. V. 101, No. 10. P. 664–669.
27. Abdurashitov J. N., Gavrin V. N., Girin S. V., Gorbachev V. V., Gurkina P. P., Ibragimova T. V., Kalikhov A. V., Khairnasov N. G., Knodel T. V., Mirmov I. N., Shikhin A. A., Veretenkin E. P., Vermul V. M., Yants V. E., Zatsepin G. T. (26 coauthors) // Phys. Rev. C. 1999. V. 60. P. 055801.
28. Gavrin V. N. // Phys. At. Nucl. 2013. V. 76, No. 10. P. 1238–1243.
29. Abdurashitov J. N., Gavrin V. N., Girin S. V., Gorbachev V. V., Gurkina P. P., Ibragimova T. V., Kalikhov A. V., Khairnasov N. G., Knodel T. V., Mirmov I. N., Shikhin A. A.,

- Veretenkin E. P., Vermul V. M., Yants V. E., Zatsepin G. T. (26 coauthors) // Phys. Rev. C. 1999. V. 59. P. 2246.*
30. *Abdurashitov J. N., Gavrin V. N., Girin S. V., Gorbachev V. V., Gurkina P. P., Ibragimova T. V., Kalikhov A. V., Khairnasov N. G., Knodel T. V., Mirmov I. N., Shikhin A. A., Veretenkin E. P., Vermul V. M., Yants V. E., Zatsepin G. T. (26 coauthors) // Phys. Rev. C. 2006. V. 73. P. 045805.*
31. *Gavrin V., Cleveland B., Danshin S., Elliott S., Gorbachev V., Ibragimova T., Kalikhov A., Knodel T., Kozlova Yu., Malyshkin Yu., Matveev V., Mirmov I., Nico J., Robertson R. G. H., Shikhin A., Sinclair D., Veretenkin E., Wilkerson J. // Phys. Part. Nucl. 2015. V. 46. P. 131–137.*
32. *Milyukov V. K., Rudenko V. N., Klyachko B. S., Kart A. M., Myasnikov A. V. // Solid State Laser (Laser Optics'98): Proc. of the Intern. Soc. for Optical Engineering (SPIE). 1998. V. 368. P. 116–121.*