

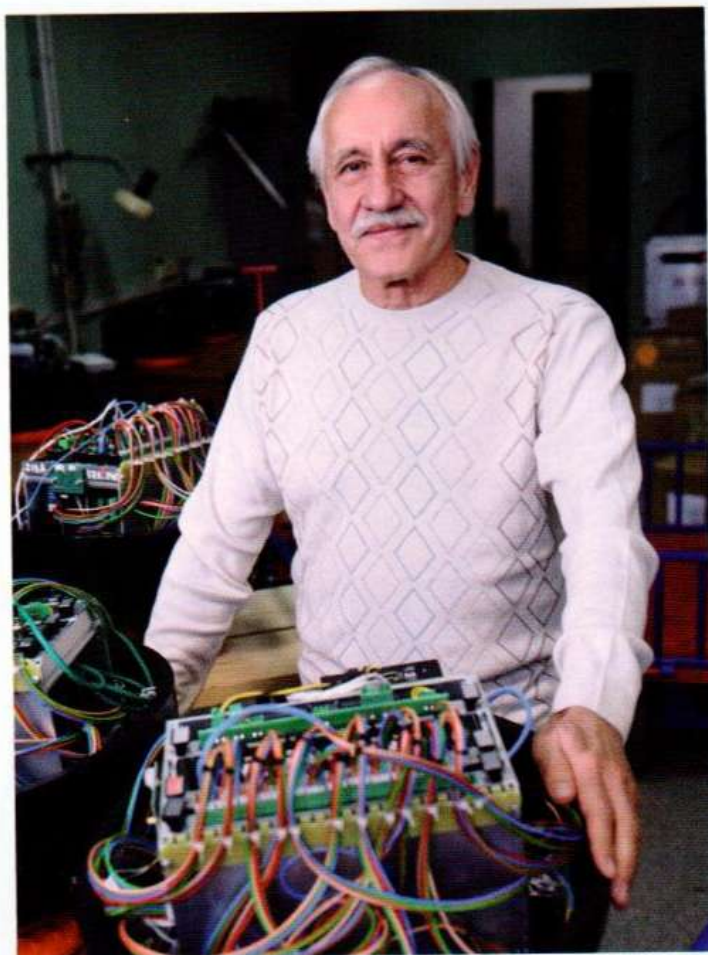
НЕУТРИННЫЕ ОЧКИ ДЛЯ КОСМОСА





В эти дни на Байкале происходит историческое событие — запускается крупнейший подводный эксперимент по исследованию нейтрино, который специалисты называют окном в космос. О том, чем уникален этот эксперимент и каких от него стоит ожидать сюрпризов, — наш разговор с **Жаном Магисовичем Джилкибаевым**, доктором физико-математических наук, ведущим научным сотрудником лаборатории нейтринной астрофизики высоких энергий Института ядерных исследований РАН.

Слева:
установка гирлянды
оптических модулей.
Вверху:
фотография лагеря
с высоты птичьего полета.



Доктор физико-математических наук Ж.М. Джилкибаев

— Жан Магисович, как я понимаю, вы всю свою научную жизнь работаете в этой лаборатории?

— Да, практически сразу после института я пришел сюда стажером, потом стал аспирантом. Всю жизнь работаю в этом институте, а в байкальском эксперименте с 1981 г., то есть почти 40 лет.

Наш Институт ядерных исследований, что понятно уже по названию, изучает проблемы ядерной физики, элементарных частиц, есть также подразделения, которые занимаются астрофизикой, связанной с изучением нейтрино. Наша лаборатория нейтринной астрофизики высоких энергий как раз специализируется на такой работе. Нейтрино — это элементарная частица, которая слабо взаимодействует с веществом, но активно образуется в ядерных процессах и благодаря своим характеристикам позволяет исследовать космос.

— Почему именно нейтрино так удобно для исследования космоса?

— Дело в том, что нейтрино рождается во всех высокоэнергичных процессах: это взрывы сверхновых, слияние нейтронных звезд и черных дыр, процессы в активных ядрах галактик. Но самое удивительное, что, рождаясь, оно практически не взаимодействует, а сразу улетает в пространство и летит, не отклоняясь и не поглощаясь, и таким образом приносит нам информацию о тех

процессах, которые происходят в разных объектах во Вселенной. Никакая другая частица не обладает такими характеристиками. Но есть и трудности: нейтрино очень сложно зарегистрировать, нужна большая масса вещества, большая мишень, чтобы нейтрино вступило во взаимодействие и по его результату можно было бы судить о том, какие характеристики оно имело — энергию, направление и т.д.

— Сегодня такие мишени научились создавать?

— Еще в 60-х гг. прошлого века советским физиком академиком М.А. Марковым был предложен метод регистрации нейтрино в больших водных объемах, в озерах или в океане. Чем это хорошо? Водный объем в естественной среде практически безграничен: не нужно строить шахты, производить выработки, как это делается сегодня в подземных экспериментах. Марков предложил регистрировать черенковское излучение мюонов, которые образуются в результате взаимодействия нейтрино. Этот изящный метод стал развиваться. Первый международный проект, который был предложен, — *DUMAND* (*Deep Underwater Muon And Neutrino Detector*) в Соединенных Штатах. Это была довольно широкая коллаборация, в которой участвовали в том числе физики из Советского Союза. Он предполагал строительство установки объемом порядка кубического километра около Гавайских островов, в океане. Кубический километр воды — это как раз та масса мишени, которая достаточна для регистрации нейтрино.

— Насколько я знаю, ваш байкальский эксперимент тоже был в числе первых?

— Наш байкальский эксперимент был предложен позже. Сначала мы успешно участвовали в эксперименте *DUMAND*, но когда произошли известные события в Афганистане, правительство США сказало своим физикам буквально следующее: «Мы, конечно, не вмешиваемся в ваши дела, вы свободные люди, но вы должны понимать, что если русские будут участвовать в эксперименте, то вы финансирования не получите». И наше участие пришлось свернуть.

— Вмешалась политика...

— Да, именно так. И тогда другой наш выдающийся физик, академик А.Е. Чудаков, предложил использовать Байкал как полигон для пилотного эксперимента.

— Почему именно Байкал?

— По ряду причин. Во-первых, это самый большой водоем пресной, прозрачной воды. Прозрачность Байкала уникальна для озер. Во-вторых, это самое глубокое озеро в мире. И еще одно свойство Байкала, которое очень помогает в такого рода экспериментах, — там имеется лед. С ледовой платформы можно легко монтировать всю установку, причем делать все соединения насухо, не под водой, в глубине, а на поверхности льда, потом

опускать установку под воду на нужную глубину. Это дешево и надежно. Этот метод мы реализовали на Байкале. В 1981 г. начались эксперименты, тогда же была образована лаборатория нейтринной астрофизики высоких энергий, ее возглавил член-корреспондент РАН Г.В. Домогацкий, который трудится на этом посту по сей день.

Начались исследования Байкала. Первые десять лет мы хотели понять и изучить, что же собой представляет Байкал, можно ли здесь реализовать эксперимент. Оказалось, можно. В 1993 г. мы начали монтировать первую установку для первого в мире глубоководного эксперимента. Установка называлась НТ-200, то есть нейтринный телескоп, содержащий примерно 200 оптических модулей. Телескоп этот мы строили в тяжелые для нашей страны годы — с 1993 по 1998 г. Мы успели подготовить оптический модуль и всю необходимую аппаратуру и в 1998 г. запустили в эксплуатацию первый в мире нейтринный телескоп.

— Получается, в прошлом году вы отметили 20-летний юбилей с начала его работы?

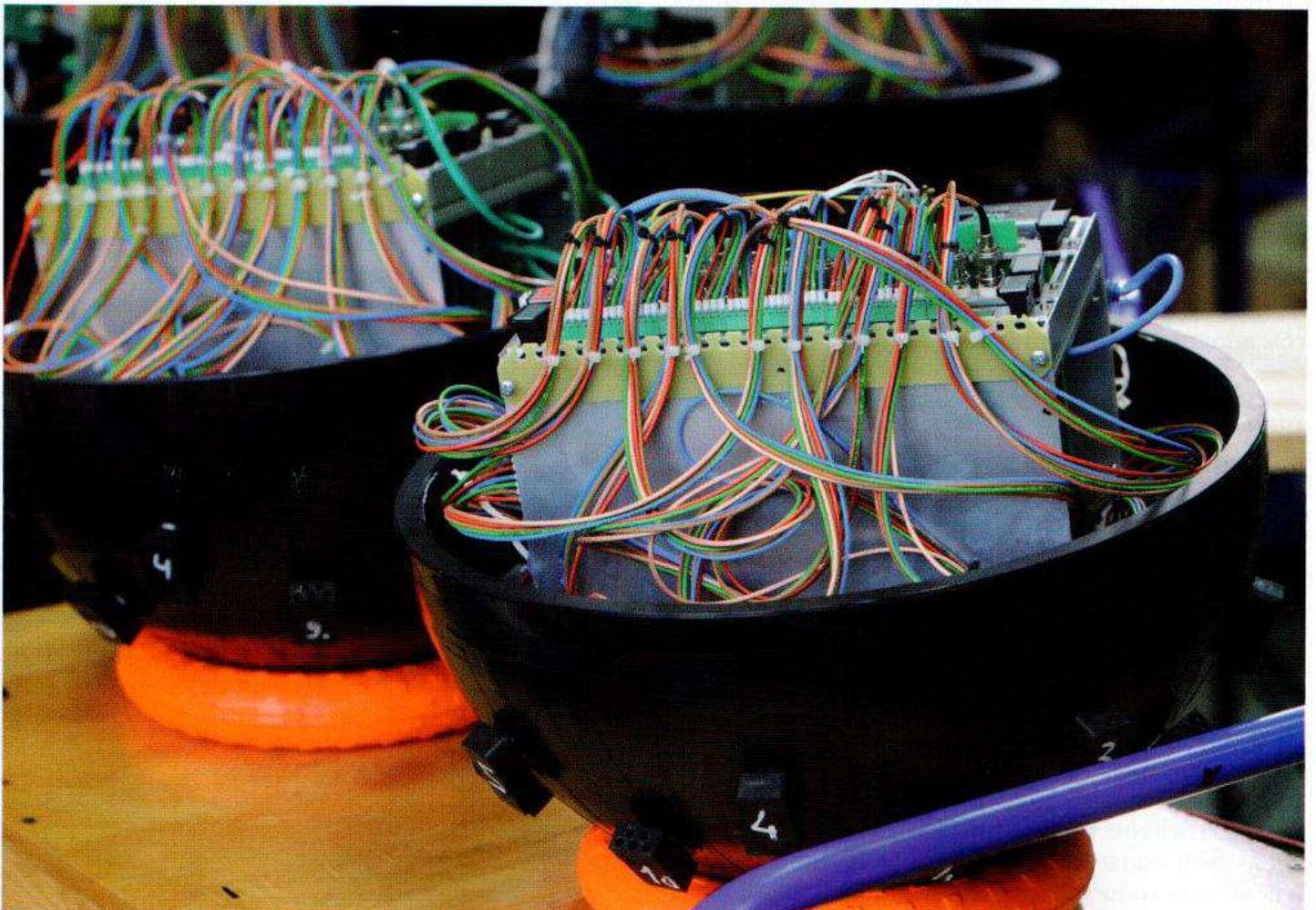
— Да, но это был первый шаг, позволивший нам проверить все методы, которые мы использовали, оценить фоновые условия, разработать способы отбора событий. Однако установка оказалась

маленькой. Она имела размер значительно меньше кубического километра, необходимого для регистрации нейтрино астрофизической природы. Поэтому следующий шаг — создание километрового детектора на Байкале. К 2011 г. мы разработали проект и приступили к созданию этой установки совместно с учеными из Объединенного института ядерных исследований в Дубне. Сейчас мы находимся на стадии создания детектора и уже к 2021 г. должны построить установку, которая будет регистрировать астрофизические нейтрино — то, что представляет для нас наибольший интерес.

— Все это дает только фундаментальные знания или имеет практический выход?

— Сейчас говорить о практическом выходе трудно, однако уже на этом этапе можно вести такие важные практические исследования, как, например, сканирование Земли. Это дает возможность определять ее состав, видеть полезные ископаемые, отслеживать экологическую обстановку. Такая сеть нейтринных детекторов может иметь важное прикладное значение.

— Мы находимся, как я понимаю, в производственном цеху, где создаются важные части этой установки. А что это за «головы», набитые электронными «мозгами», находятся рядом с вами?



Глубоководные модули управления работой телескопа



Вид ледового лагеря во время зимней экспедиции ИЯИ РАН на озеро Байкал

— Нужно пояснить, как устроен нейтринный телескоп и чем он отличается от оптического. Нейтринный телескоп — это набор приборов, которые регистрируют свет. И по этому свету, который регистрируется под водой, мы определяем, откуда пришла частица, ее энергию и прочие характеристики. Основной ключевой элемент — большой фотоэлектронный умножитель, информация с которого должна идти дальше, где-то аккумулироваться, оцифровываться и передаваться на берег. И вот в этих шарах, которые вы сравнили с головами, как раз находится электронное оборудование, собирающее данные с каждого фотоумножителя и определяющее форму сигнала, чтобы потом его оцифровать и передать на берег по подводному кабелю. Так что ваше сравнение с электронным мозгом вполне обоснованно.

— Такие шары под водой, видимо, закрыты?

— Конечно, они будут герметично закрыты, мало того — из них откачивается воздух, чтобы они плотно прижимались друг к другу. А здесь находятся выходы, куда подсоединяются кабели оптических модулей. Это базовый элемент во всей этой установке, и весь эксперимент зависит от того, как работают эти приборы. Здесь же у нас находится опытный стенд, на котором мы проводим долговременное тестирование установки. Наша установка состоит из нескольких подустановок — независимых детекторов меньшего объема. У телескопа будет 12 таких детекторов. В настоящее время на Байкале функционируют три детектора, и каждый последующий год мы планируем делать еще по два. На этом стенде происходит тестирование всей этой сложной электроники на надежность, и если что-то не работает, заменяется. Сейчас тестирование закончено, мы начали паковать электронику для отправки на Байкал.

— Я вижу, у вас уже стоят наготове металлические емкости. Сидите на чемоданах?

— Да, у нас уже практически все готово, мы немного спешим, потому что Байкал замерз, а это значит — шлагбаум поднялся, мы можем выезжать.

— Как вы будете их доставлять, самолетом?

— Автотранспортом. На берегу озера есть город Байкальск, и там у нас находится база, куда мы завозим все наше оборудование, а потом уже или по льду, или по железной дороге доставляем его в береговой центр и начинаем развертывание.

— На какую глубину вы будете все это опускать?

— Глубина Байкала в этом месте — 1366 м. Она формируется иловыми осадками, поэтому там очень ровное, практически плоское дно. Водолазы у нас опускаются только до 30 м, на первом шаге. Если что-то нужно отремонтировать, мы поднимаем установку. Водолаз заныряет, цепляет гирлянду, состоящую из таких «голов», потом мы ее при помощи лебедок поднимаем на поверхность, ремонтируем и снова монтируем. А чтобы на глубине установка не качалась, мы ставим специальные якоря.

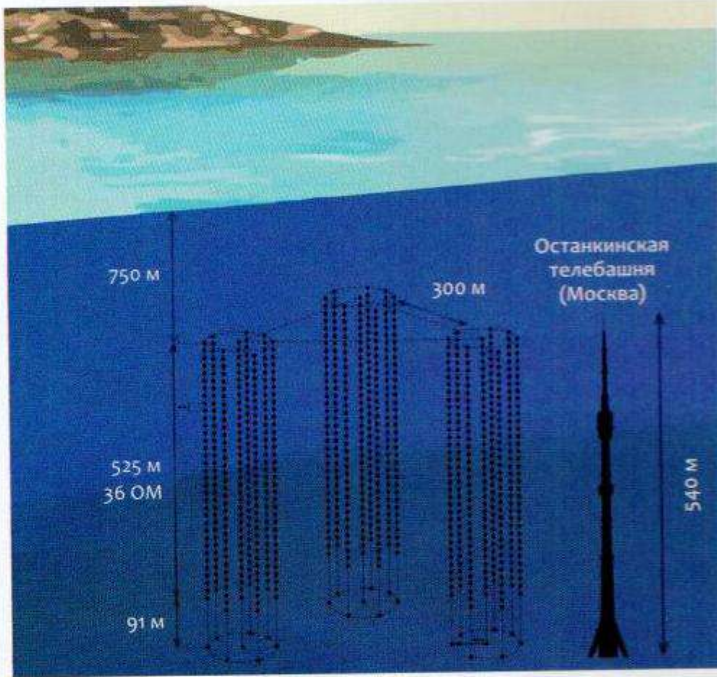
— Не обрастает ли она микроорганизмами?

— Нет, вода в Байкале очень чистая. Кстати, это еще одна из наших важных прикладных задач — мониторинг экологического состояния Байкала, наблюдение за его подводными обитателями. По этой части мы активно сотрудничаем с биологами и экологами.

— На какие вопросы вы хотите получить ответ в первую очередь? Что вас больше всего интересует в этом эксперименте?



Монтаж гирлянды оптических модулей первого в мире глубоководного нейтринного телескопа НТ-200 на Байкале



Конфигурация нейтринного телескопа Baikal-GVD в 2018 г. Нейтринный телескоп включает в себя три кластера, содержащих в общей сложности 864 фотодетекторов.

— Мы хотим выделить первое астрофизическое событие — найти в массиве всех этих данных событие, которое указывает на то, что это нейтрино пришло из космоса. Ведь известно, что у нас имеется фон и наша атмосфера тоже производит нейтрино благодаря тому, что космические лучи взаимодействуют с атмосферой. Такие нейтрино уже давно регистрируются, но нам важно научиться их дифференцировать. Увидеть настоящие космические события в нашем байкальском эксперименте — все равно что открыть окошко в космос.

— Но ведь уже существует аналогичный вашему международный эксперимент IceCube на Южном полюсе.

— Да, там оборудование заморожено в лед. Они, по существу, прошли тот же путь, что и мы, и хотя начинали позже нас на год или два, установку смогли поставить раньше. Запустили ее сразу после того, как прекратил работу эксперимент DUMAND, о котором я уже упоминал. Там возникли проблемы — затекало оборудование, кабели. И Конгресс США прекратил его финансирование, зато открыл финансирование эксперимента на Южном полюсе, и это оказалось весьма продуктивным, потому что лед очень прозрачный на глубине начиная с 1 тыс. м.

— И там удалось зарегистрировать космические нейтрино?

— Да, это произошло в 2013 г., когда у них объем в установке достиг кубического километра. Конечно, им сложнее проводить эксперимент, чем нам, поскольку вода и лед — это разные типы среды. Но каждый год они регистрируют по шесть-восемь нейтрино астрофизической природы. При этом

у них есть одна особенность: они не могут точно локализовать источник на небе, потому что во льду сильное рассеяние света.

— А вы сможете?

— А мы сможем. Мы будем знать с большой точностью, откуда пришла та или иная частица. Наши главные надежды связаны с тем, что наш эксперимент будет решать задачи нейтринной астрономии. Мы собираемся постепенно улучшать угловое разрешение и получать новые результаты. Знание, откуда пришло нейтрино, невероятно важно, оно дает нам новую информацию о природе разных объектов во Вселенной, которую нельзя получить другими способами. В настоящее время уже получены первые результаты исследований астрофизических объектов и протекающих в них процессов с помощью гравитационных антенн и детекторов электромагнитного излучения практически во всем диапазоне длин волн. Если исследования подобного рода будут дополнены регистрацией нейтрино, то будет реализован эффективный комплексный научный подход, мультимессенджер исследования, как сейчас модно говорить, что позволит существенно расширить горизонты наших знаний.

— Если помните, главный герой фантастического романа Станислава Лема «Солярис» Крис Кельвин рассматривает в микроскоп кровь Хари, которая ему постоянно является, и выясняет, что она состоит из нейтрино. Насколько фантастична идея таких существ, «замешенных» на нейтрино?

— Она грандиозно фантастична. Как я уже сказал, нейтрино практически не взаимодействуют с веществом, их нельзя удержать, поэтому они проходят весь космос, пронизывая, по существу, Вселенную и нас с вами. Вот мы сейчас сидим, а нейтрино бесконечно бегут сквозь нас, и мы этого никак не замечаем.

— Будем надеяться, когда-нибудь мы узнаем что-то такое, что нас сильно удивит.

— Да, мы на это надеемся, ведь это будет принципиально новый взгляд на космос, новое окно в астрофизический мир. Вот простой пример: если бы вы обладали нейтринным зрением, то видели бы Солнце круглые сутки, потому что Земля прозрачна. При этом мы бы не видели друг друга, и это очень плохо, потому что мы не нашли бы своих любимых, мы бы погибли. Но, с другой стороны, мир бы приобрел совсем другие очертания, изменился бы до неузнаваемости.

— Может быть, когда-нибудь удастся создать нейтринные очки?

— В принципе, наш байкальский телескоп — это и есть такие огромные нейтринные очки, с помощью которых мы будем пронзать космос совершенно другим, новым взглядом. ■

Беседовала Наталья Лескова