



НАУКА И ЖИЗНЬ

ISSN 0028-1263

10

2024

● Возможно, научившись использовать нейтрино, человечество выйдет на иной цивилизационный уровень

● Весь наш мир питается от «солнечной батарейки». И водные глубины тоже? ● «Хорошее лекарство горчит» — расхожая фраза с серьёзной перспективой ● Грибная кулинария: специалист-миколог призывает дерзать.



В Н О М Е Р Е :

Заповедные новости	2	Ч. ХИНТОН — Множество измерений (перевёл эссе с английского А. Первушин)	113
Н. КОРОВЧИНСКИЙ, докт. биол. наук — Там, где раки зимуют (беседу ведёт Н. Лескова)	6	Маленькие хитрости	124
		Ответы на кроссворд с фрагментами	125
		Кроссворд с фрагментами	126
		Л. АШКИНАЗИ, Н. СЪЯНОВА — Что видим? Нечто странное! Ответов больше, чем вопросов	128
		А. ИВОЙЛОВ — Из грибов и с грибами	132

НА ОБЛОЖКЕ:

1-я стр. — Баксанская нейтринная обсерватория Института ядерных исследований РАН. Научный сотрудник лаборатории ГНТ (галлий-германиевого нейтринного телескопа) Александр Шихин рассказывает корреспонденту журнала «Наука и жизнь» Наталии Лесковой об устройстве детектора для регистрации геонейтрино, рождающихся в недрах Земли. Снимок показывает основные элементы конструкции прототипов детектора геонейтрино. Подробности для любознательных: на переднем плане — акриловый шар объёмом 5 м³ в нержавеющей каркасе для второго прототипа; шар заполняется жидким органическим сцинтиллятором, на каркасе будут установлены 54 фотоумножителя. На заднем плане — резервуар из нержавеющей стали объёмом 50 м³, внутри которого размещается акриловый шар. Резервуар заполняется высокоочищенной водой. На дальнем плане виден полипропиленовый резервуар объёмом 12 м³ — первый прототип детектора геонейтрино аналогичной конструкции. Фото Андрея Афанасьева. (Репортаж «Новая физика рождается под землёй» см. на стр. 22.)

Внизу: Гиднеллум Пека, он же «зуб дьявола», «кровавый зуб» и иже с ним, но он же и «клубника со сливками». Фото Наталья Есипович. О находке редкого гриба — в статье на стр. 64.

4-я обл. — Подмосковье, Рузский район, озеро Глубокое. Что там, под листьями кувшинок, в его глубине? Фото Андрея Афанасьева. (См. статью на стр. 6.)

Рефераты (подготовил Л. Ашкинази)	20
Н. ЛЕСКОВА — Новая физика рождается под землёй	22
В. ПЕТКОВ, докт. физ.-мат. наук — Зачем нам ловить нейтрино? (беседу ведёт Н. Лескова)	35
Бюро иностранной научно-технической информации	40
Д. ДОНСКОВ, канд. биол. наук — Лунный цветок	44
В. МАКСИМОВ, канд. филол. наук — Из истории фамилий	48
Д. САЛОВ — Время для нового подхода	52
И. ДРЕМУК, канд. биол. наук — 25 оттенков горечи	54
Н. ЕСИПОВИЧ — «Кровавый зуб»	64
Кунсткамера	67, 122
Н. ШЕВЫРЁВА — Осенние эфемероиды	68
О чём пишут научно-популярные журналы мира	76

«УМА ПАЛАТА»

Познавательный-развивающий раздел
для школьников

Р. СЕЙФУЛИНА, канд. биол. наук — Кто
в океане правит бал (81). А. МАРКЕВИЧ,
канд. биол. наук — Ихтиологическая
филателия (91).

Наука и жизнь сто лет назад	97
А. ПЕРВУШИН — Наука в фантастике: эпизоды истории. Странники вне измерений	98

Фото Андрея Лисинского



НАУКА И ЖИЗНЬ®

№ 10

О К Т Я Б Р Ь

2024

Журнал основан в 1890 году.

Издание возобновлено в октябре 1934 года.

ЕЖЕМЕСЯЧНЫЙ НАУЧНО-ПОПУЛЯРНЫЙ ЖУРНАЛ



◀ *Вход в подземный зал галлий-германиевого нейтринного телескопа.*

будущих лабораторий Баксанской нейтринной обсерватории на работу. Эта обсерватория стала первой и единственной в мире, где тоннель был проложен специально для научных целей. При входе в штольню даже красуется буква М — как в метро. А наверху появился населённый пункт для учёных и их семей — посёлок Нейтрино со своей инфраструктурой.

Грохочущие вагонетки исправно возят людей и сейчас. Прокатиться по этой необычной железной дороге — незабываемое приключение, особенно когда осознаёшь, что действительно въезжаешь внутрь горы, в настоящее научное подземное царство.

ВНУТРИ ГОРЫ

На самом деле БНО — целый комплекс наземных и подземных сооружений, обойти и объехать которые за один день проблематично. Каждое из них выполняет свои важные функции. Нам посчастливилось побывать в трёх таких лабораториях. Первая — знаменитый галлий-германиевый нейтринный телескоп (ГГНТ), цель которого — регистрировать нейтрино, идущие от нашего светила.

Задача нетривиальная, ведь нейтрино почти неуловимы и почти невесомы. Ключевое слово тут — «почти». Долгое время считалось, что нейтрино не имеют массы. И это утверждение соответствует Стандартной модели. Но потом оказалось, что всё совсем не так. «Взвесить» нейтрино и тем самым расширить Стандартную модель, шагнув в так называемую Новую физику, стало одной из самых амбициозных задач современной науки.

Александр Шихин, научный сотрудник лаборатории ГГНТ, показывает нам одну из комнат систем регистрации. Фактически это сердце лаборатории, в которой происходит счёт событий распада радиоактивного германия-71. Он образуется в галлиевой мишени под воздействием

НОВАЯ ФИЗИКА РОЖДАЕТСЯ ПОД ЗЕМЛЁЙ

Потоки нейтрино пронизывают нашу планету насквозь, оставаясь практически незамеченными. Чтобы зафиксировать следы редких взаимодействий неуловимой частицы с земным веществом, приборы для регистрации нейтрино размещают в толще воды, льда или в скальных породах. На страницах «Науки и жизни» опубликовано немало материалов о том, что такое нейтрино, как эту частицу предсказали теоретически, как открыли и как изучают. А сейчас предлагаем отправиться на экскурсию в недра горы, где расположена Баксанская нейтринная обсерватория Института ядерных исследований РАН (БНО ИЯИ РАН).

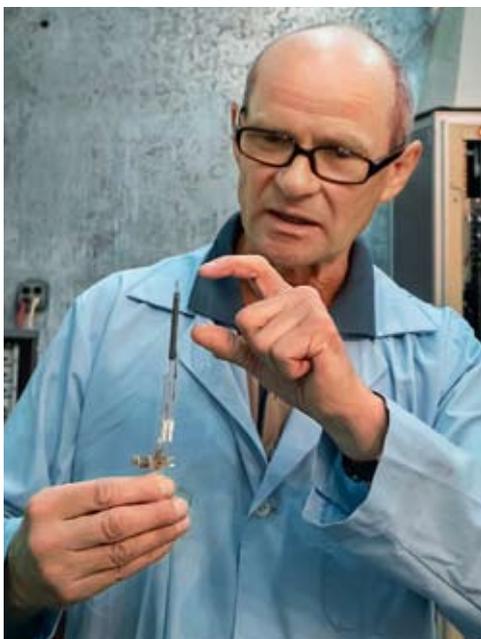
По земле и под землёй плутала Наталия ЛЕСКОВА в сопровождении фотографа Андрея Афанасьева.

Когда мы ехали из аэропорта «Минеральные воды» в Баксанское ущелье, таксист всю дорогу рассказывал удивительные истории — про «чёрного альпиниста» и про четырёхэтажный дом внутри горы, в котором живут какие-то странные люди. Последнее — чистая правда: такая гора действительно существует, только люди там не живут, а работают.

Ещё в 1970-е годы внутри горы Андырчи, что в Баксанском ущелье, московскими и бакинскими метростроевцами была прорублена штольня длиной четыре километра, проложены рельсы и пущены вагонетки, которые возили сотрудников



Главный зал комплекса галлий-германиевого нейтринного телескопа (ГГНТ).



В руках у Александра Александровича Шихина — низкофоновый миниатюрный пропорциональный счётчик.

нейтринного потока. «Нейтрино взаимодействует с веществом с помощью одного из четырёх фундаментальных видов взаимодействия — слабого, — объясняет Александр Шихин. — Оно характеризуется чрезвычайно малой вероятностью того, что нейтрино, пролетая вблизи ядра какого-нибудь элемента, будет захвачено этим ядром».

ЕДИНОГО НЕЙТРИНО РАДИ

Нейтрино рассеивается на электронах и может взаимодействовать с ядрами атомов, но вероятность этих процессов чрезвычайно мала. Зато через каждый квадратный сантиметр поверхности любого тела каждую секунду пролетает порядка 10^{12} нейтрино. Солнце излучает электронные нейтрино, и поэтому детектор настроен именно на взаимодействие с электронными нейтрино малых энергий. «Ближайшая к нам звезда имеет преимущество в этом смысле — она излучает основное количество нейтрино, которое достигает точки наблюдения, — говорит Александр Ши-



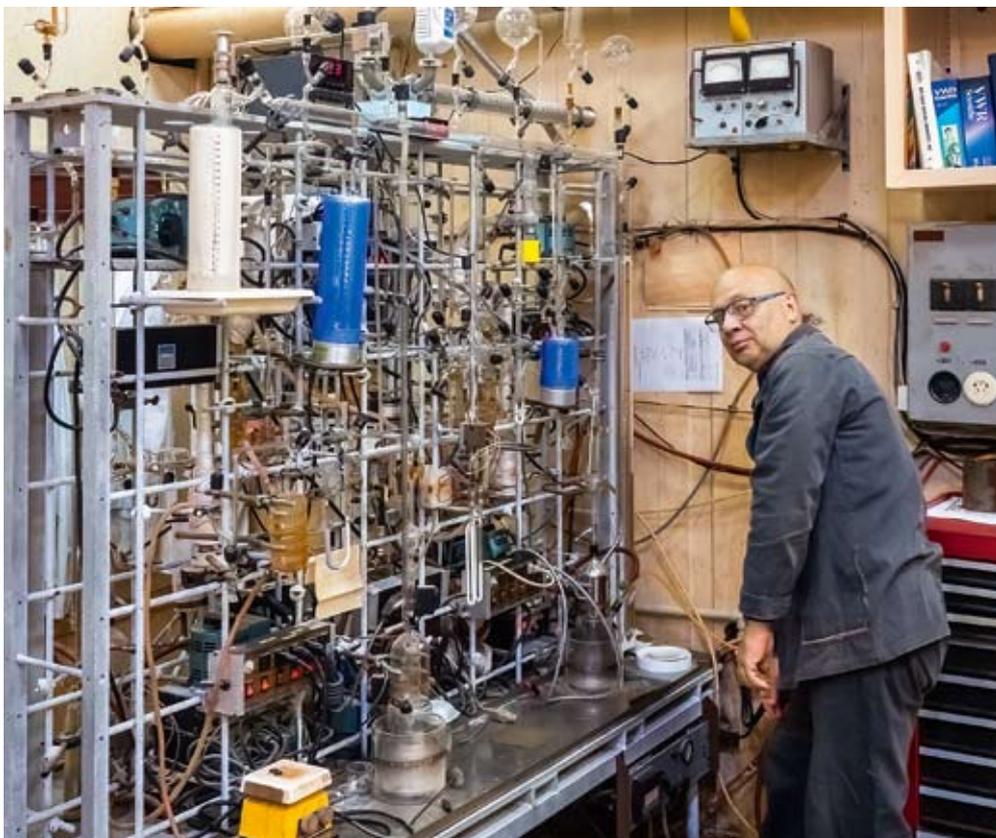
Как выглядят реакторы галлий-германиевого детектора нейтрино, показывает ведущий инженер-технолог Ольга Александровна Жорова.

хин. — За четыре недели экспозиции в 50 тоннах галлиевой мишени накапливается около полутора десятков атомов германия-71, которые образуются при взаимодействии нейтрино с ядром галлия-71 путём обратного бета-распада».

Эти атомы извлекаются из галлия с помощью радиохимических процедур и попадают на установку синтеза. На ней синтезируется рабочий газ моногерман (GeH_4). Он в смеси с высокочистым ксеноном закачивается в пропорциональный счётчик, в котором регистрируются распады германия-71. Счётчик — это газовый детектор объёмом всего $0,5 \text{ см}^3$.

Александр Шихин бережно достаёт из сейфа коробочку и показывает счётчик как великую драгоценность. Счётчик сделан из синтетического кварца. Всего один человек в мире умел делать эти счётчики — Виктор Эдуардович Янц, сотрудник Института ядерных исследований РАН. Но он уже ушёл из жизни, и теперь такие счётчики не умеет делать никто. «Тут,

кроме умения работать головой и руками, есть ещё дар божий, чутьё какое-то, — поясняет Александр. — Маленький объём, толщина стенок — всего 100 мкм. Катод счётчика — это углеродная плёнка, осаждённая методом разложения органического газа, например изобутана, на внутренней поверхности этой цилиндрической колбочки. Плёнка имеет толщину всего долю микрона. От катода счётчика делается электрический вывод в виде тонкой вольфрамовой проволоки. А анод представляет собой 10-микронную вольфрамовую проволоку, которая натянута строго по диаметру цилиндра. На концах цилиндр имеет сужение — чтобы компенсировать краевые эффекты, искажение электрического поля. Всё это должно быть выдержано в десятых долях миллиметра, а делается обычным стеклодувным способом и собирается руками. Мы бережём счётчики как зеницу ока». У этого чудо-изделия есть ещё одно свойство: очень низкий радиоактивный фон. →



Установка синтеза моногермания и заполнения пропорциональных счётчиков. За её работой наблюдает Илья Наумович Мирмов, старший научный сотрудник лаборатории ГГНТ.

Время измерения распада радиоактивного германия длится пять месяцев. Его извлечение из мишени идёт сутки. А период полураспада германия-71 — одиннадцать дней. В счётчик попадает всего 5—8 атомов радиоактивного германия, и его распад происходит внутри замкнутого объёма. «Мы должны посчитать эти распады безошибочно, — поясняет Александр. — Потеря одного атома или „присчёт“ лишнего фонового события — это сразу более 10% ошибки. Мы их считаем поштучно. И это тоже своего рода искусство».

ПРОБЛЕМА СОЛНЕЧНЫХ НЕЙТРИНО

Первые три десятка лет здесь занимались изучением потока нейтрино от Солнца и решением проблемы солнечных нейтрино, которая все эти годы сущест-

вовала. Эта проблема заключается в том, что нейтрино регистрируется примерно в два-три раза меньше, чем предсказывается теоретической моделью Солнца. И только с годами стало понятно, что существуют несколько видов нейтрино, и всем им присуще свойство осцилляций — превращения одного вида нейтрино в другие, пока они летят к нам. Видимо, осцилляции нейтрино существуют, чтобы совсем запутать учёных. Регистрируя только электронные нейтрино, здесь не могли зарегистрировать другие их виды. Вот почему их вроде бы было меньше.

После того, как с нейтринным потоком от Солнца и с осцилляциями всё стало более или менее ясно, учёные перешли на более углублённое изучение свойств самих нейтрино. Несмотря на всю свою «элементарность», они обладают богатыми внутренними свойствами. Это много-



А. А. Шихин работает со счётчиками системы регистрации ГГНТ, они — на фото справа, где сверху виден колодец в кристалле NaI(Tl) антисовпадетельной защиты. (На верхнем снимке счётчики загораживают крышка.)

компонентная частица, которая состоит из нескольких волновых составляющих, и эти составляющие взаимодействуют между собой, что в случае наличия массы покоя и приводит к осцилляциям.

«Любой процесс, который происходит при рождении и смерти элементарных частиц, идёт с участием нейтрино, — говорит Александр Шихин. — Существует закон сохранения лептонного числа (нейтрино относится к лептонам и обладает так называемым лептонным числом. — **Прим. ред.**) Если в каком-то процессе рождается электрон, ему соответствует рождение электронного антинейтрино, чтобы лептонное число в системе не изменилось. Рождению мюона соответствует рождение мюонного антинейтрино.



В нашем детекторе происходит обратный бета-распад. Нейтрино захватывается ядром галлия, при этом рождается атом германия и электрон. И так во всех процессах».

Сколько же «весит» нейтрино? Предполагается, что масса покоя электронного нейтрино чрезвычайно мала. Она может составлять доли электрон-вольта и даже меньше. Идут споры, какова эта масса, но точной цифры пока не знает никто.

ЛУЧШИЙ ИЗ ЛУЧШИХ

Два года назад в лаборатории ГГНТ был осуществлён уникальный эксперимент BEST (Baksan Experiment on Sterile Transitions) по обнаружению так называемых стерильных нейтрино, подготовка и проведение которого заняли двенадцать лет.

В мире было много экспериментов, направленных на поиск и изучение свойств самых разных нейтрино — электронных, мюонных, тау-нейтрино. Было проведено множество экспериментов по изучению

осцилляций нейтрино. Некоторые из них показали аномальные результаты, говорящие о том, что часть нейтрино теряется на пути к детектору.

«Мы провели на нашем детекторе несколько калибровочных экспериментов, когда детектор облучается не только потоком нейтрино от Солнца, но и искусственным источником нейтрино очень высокой интенсивности, — говорит Александр Шихин. — Таких экспериментов до определённого времени у нас было два: с использованием источников хром-51 и аргон-37. Интенсивность обоих была примерно 0,5 мегакюри. Для этого мы привозили сюда источник размером с два кулака, заполняли галлием под завязку один из детекторов и в его центр помещали искусственный источник нейтрино. Получалось, что на таком коротком расстоянии поток нейтрино от искусственного источника в несколько тысяч раз превосходит поток нейтрино от Солнца. И мы, регистрируя эти нейтрино и зная интенсивность источника, можем выполнить калибровку

детектора. Первый эксперимент показал, что всё хорошо, а на втором мы „улетели“ на две с лишним сигмы вниз — сильно недосчитались нейтрино».

Более двух сигм — это серьёзно. Физики из БНО взяли на себя смелость опубликовать этот результат так, как он есть. После чего выяснилось, что конкурирующая зарубежная группа, также дважды выполнив такой эксперимент, получила аналогичный результат. Но они не решились сразу же его опубликовать.

Возникла ещё одна загадка — галлиевая аномалия, когда поток нейтрино от искусственного источника даёт меньший поток, чем предсказывают все расчёты. Одновременно развивалась теория осцилляций, но галлиевая аномалия не укладывалась в этот эффект.

«Тогда нами был придуман и выполнен эксперимент BEST, в котором галлиевая мишень делилась на две концентрические части, — объясняет Александр Шихин. — Искусственный источник нейтрино интенсивностью 3,4 мегакюри помещался в центр мишени. При этом нейтрино от источника пролетали в галлии одинаковое расстояние в обеих частях мишени. В таких условиях при отсутствии осцилляций на столь малой дистанции можно было ожидать образования одинакового количества германия-71 в обеих частях галлиевой мишени».

«При планировании эксперимента рассматривались разные сценарии, — рассказывает Александр Шихин. — Но полученный результат не вписался ни в один из них. Он просто парадоксальный. Мы рассчитывали, что в какой-то части мишени может быть больше, в какой-то меньше взаимодействий, и это нас выводило на параметры осцилляций. Исходя из аномальных результатов ряда экспериментов мы полагали, что масса покоя нейтрино может быть порядка электрон-вольта, что в случае осцилляций на расстоянии около

одного метра соответствует стерильному переходу, то есть предсказывает, что существует ещё один, четвёртый тип нейтрино, который никакими остальными способами, кроме гравитационного, не взаимодействует с веществом. Однако в итоге была подтверждена галлиевая аномалия — число атомов германия-71 в обеих частях мишени оказалось практически одинаковым, но подавленным более чем на 20%, что не позволяет сделать однозначный вывод относительно параметра массы стерильного перехода, точнее его верхнего предела».

Сейчас считается, что стерильные нейтрино, если они будут открыты, могут претендовать на роль тёмной материи. «Обнаружение новой элементарной частицы — это фундаментальное открытие, которое бывает раз в десятки лет, а может, и реже, — говорит Александр Шихин. — Мы опубликовали результаты в ведущих научных журналах*. Могу сказать, что реакция на наш результат очень осторожная и сдержанная. Нам не поверили — посчитали, что мы где-то что-то упустили. Мы говорим — нет, мы всё проверили. Вышел пресс-релиз американского Министерства энергетики, где в преамбуле отмечено, что русская команда учёных открыла новую элементарную частицу — стерильное нейтрино, но по тексту ниже есть оговорка: „возможно“».

ДОМ ВНУТРИ ГОРЫ

Ещё одна грандиозная установка Баксанской нейтринной обсерватории, тот самый четырёхэтажный дом внутри горы, о котором в народе ходят легенды, — это Баксанский подземный сцинтилляционный телескоп (БПСТ ИЯИ РАН). Он действительно расположился на четырёх этажах одного большого помещения, соединённых лестницами, как обычный жилой дом. На лестничных клетках — обычная инфраструктура: кухня, диван, и даже «красный» уголок с небольшим бюстом Ленина, установленным тут ещё в советское время.

Детектор представляет собой параллелепипед, собранный из сцинтилляционных счётчиков. Основание детектора 16 на 16 метров, высота — 11 метров. В отличие



Установка эксперимента BEST. Слева — ёмкость для облучения галлия, в центре виден массогабаритный макет источника нейтрино на основе изотопа Cr-51 интенсивностью 3,4 МКи.

* Barinov V. V. et al. Search for electron-neutrino transitions to sterile states in the BEST experiment. Phys. Rev. C. V. 105, 065502 (2022); Barinov V. V. et al. Results from the Baksan Experiment on Sterile Transitions (BEST). Phys. Rev. Lett. V. 128, 232501 (2022).

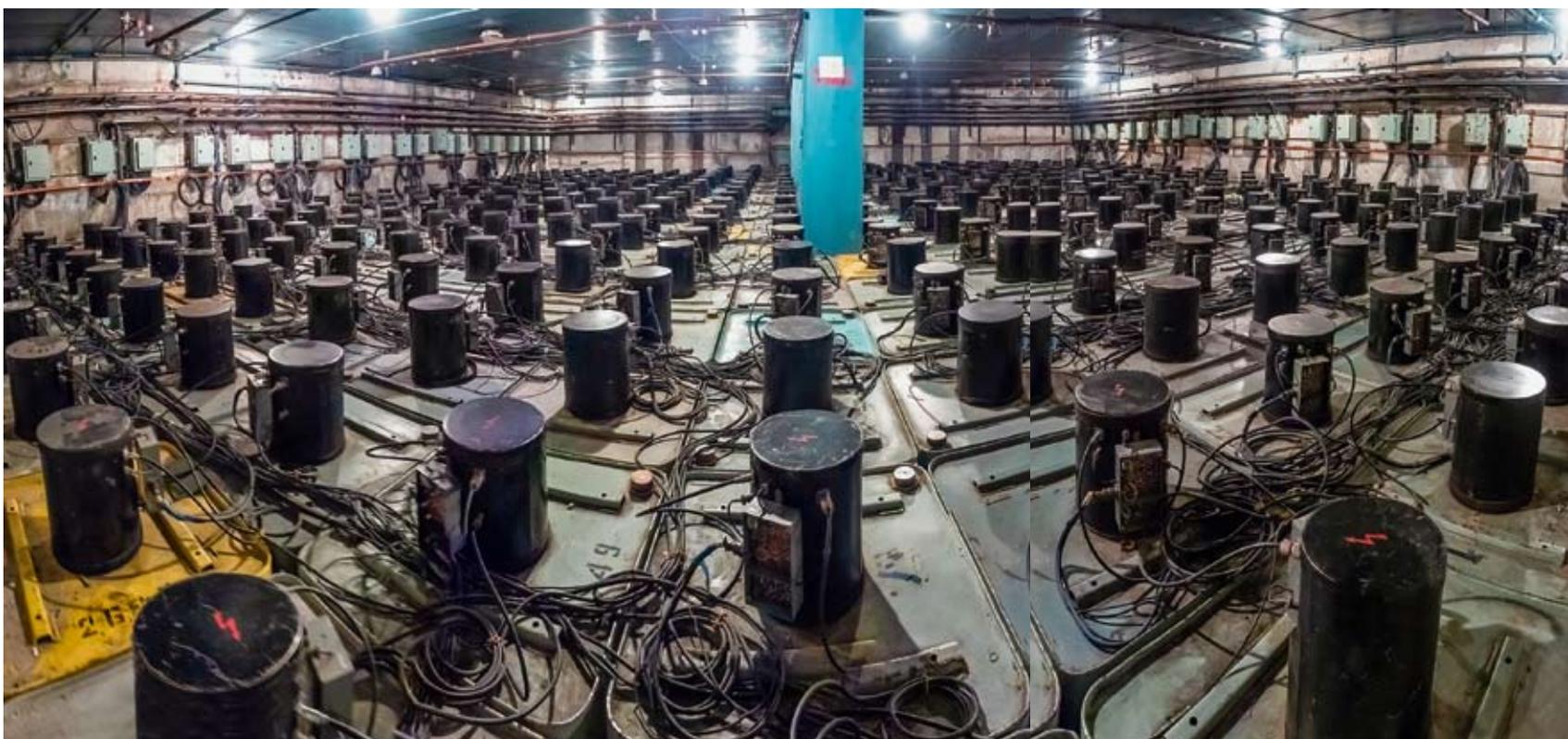


Вертикальная плоскость Баксанского подземного сцинтилляционного телескопа (БПСТ).

от обычного параллелепипеда внутри детектора имеются две дополнительные горизонтальные плоскости из счётчиков, расположенные равноудалённо друг от друга и других двух плоскостей.

Оказывается, по сравнению с более современными детекторами он ещё не очень большой. Здесь масса мишени 330 тонн, а есть детекторы, в которых

Горизонтальная плоскость БПСТ. Баки со сцинтиллятором, сверху — кожухи для фотоэлектронных умножителей и соответствующей электроники.



Среда — «ремонтный день» на БПСТ. Проверкой аппаратуры занят Рустам Маулитович Гулиев, старший инженер лаборатории ПСТ.

Частота регистрации астрофизических мюонных нейтрино составляет в среднем одно событие в неделю. Хотя их и называют астрофизическими, большинство таких нейтрино рождаются в атмосфере Южного полушария Земли от частиц

активная масса измеряется кило- и мегатоннами. Очень важно, что он находится под землёй: ведь нейтрино — единственная частица, проходящая сквозь нашу планету, и Земля играет роль фильтра.

ПРОХОДЯЩИЕ СКВОЗЬ ЗЕМЛЮ

А ещё важно, что здесь изучают не только нейтрино, но и мюоны, летящие от космических источников. Поэтому надо было подобрать такую глубину расположения лаборатории (550 метров от входа в штольню, 350 метров грунта «над головой»), чтобы можно было одновременно изучать мюоны космических лучей и искать нейтрино с нижней полусферы Земли, исходя из возможностей аппаратуры 1960—1970-х годов. Если на поверхности на один квадратный метр падает около сотни мюонов в секунду, то здесь, под землёй — в среднем один мюон в минуту, поэтому жёсткая (мюонная) компонента космических лучей сверху не мешает поиску астрофизических мюонных нейтрино.



Махти Масхутович Кочкаров, начальник ПСТ. В руках — фотоэлектронный умножитель (ФЭУ).

Одна из плоскостей установки «Ковёр-2» с детекторами мюонов на основе пластического сцинтиллятора.

высоких энергий, прилетающих на нашу планету.

«Детектор состоит из модулей — стандартных сцинтилляционных счётчиков, — говорит Махти Кочкаров, начальник установки, младший научный сотрудник БНО. — Когда через счётчик проходит заряженная частица, её след превращается в электрический сигнал благодаря сцинтилляции». Сцинтилляция — это процесс появления фотонов в среде, через которую пролетает заряженная частица. Учёные получают сигнал с каждого из модулей, затем по последовательности этих сигналов строят траекторию. Мы видим траектории пролетающих мюонов.

КОГДА ЗВЕЗДА УМИРАЕТ

Также одна из важнейших задач БПСТ — регистрация коллапсных нейтрино. Что это такое? Когда масса звезды превышает 3,5 массы Солнца, то в конце своей жизни она испытывает коллапс — умирает. Коллапс — это схлопывание, взрыв наоборот. В молодых звёздах благодаря термоядерным реакциям излучается свет, который не даёт гравитации сжать их. По мере старения звезды в её ядре становится меньше термоядерного топлива, и излучаемого света уже недостаточно для поддержания внешней оболочки звезды. Падающая на ядро оболочка вызывает его разогрев — начинается процесс нейтронизации, когда электроны в ядре звезды захватываются протонами, и при этом образуются нейтроны и нейтрино (не путайте их друг с другом — это разные частицы).

Этот процесс приводит к образованию либо нейтронного ядра, либо чёрной дыры. Какое ядро получится в итоге, зависит от массы звезды. Процесс схлопывания (коллапса) ядра сопровождается образованием большого количества нейтрино, а излучение очень кратковременное — оно длится примерно 15 секунд. Когда падающая оболочка встречается с очень твёрдой оболочкой образовавшегося ядра, происходит



отскок — оболочка, получив обратный импульс, устремляется в космос, и это действие сопровождается излучением большого количества света. Вспыхивает сверхновая. Настоящее светопреставление! Ранее малозаметная на ночном небе звезда может быть видна невооружённым глазом даже днём, если звезда расположена близко.

В отличие от астрофизических мюонных нейтрино, коллапсные нейтрино имеют меньшие энергии — несколько десятков мегаэлектронвольт (МэВ). И за эти почти мгновенные 15 секунд излучения нейтрино учёным необходимо зарегистрировать

их, чтобы понять, как происходит коллапс, какие реакции протекают при экстремальных условиях, «пролить свет» на неизвестные ранее тайны природы.

Проблема в том, что в радиусе чувствительности всех детекторов нейтрино, построенных человечеством на данный момент, такое событие удалось обнаружить лишь 23 февраля 1987 года. И только четыре детектора нейтрино смогли зарегистрировать сигналы погибающей звезды из соседней галактики Большое Магелланово Облако: IMB (США), Kamiokande (Япония), LSD (Италия, СССР) и БПСТ (СССР).

НА «КОВРЕ», НО НЕ САМОЛЁТЕ

Третья установка, на которой удалось побывать в этот день, находится уже на поверхности и называется «Ковёр». Изначально она представляла собой точную копию одной плоскости БПСТ. «Ковёр» — потому что детекторы расположены гораздо плотнее друг к другу, чем в традиционных установках. Помимо центральной части «Ковра», занимающей 200 м², здесь имеются выносные пункты — они похожи на небольшие домики, где живут туристы. На самом деле там «живёт» научная аппаратура. Это важно для расширения возможностей установки, чтобы

ЗАЧЕМ НАМ ЛОВИТЬ НЕЙТРИНО?

Объясняет Валерий Борисович ПЕТКОВ, доктор физико-математических наук, заведующий Баксанской нейтринной обсерваторией Института ядерных исследований РАН.

Беседу ведёт Наталия Лескова.

— Валерий Борисович, вы работаете здесь, в Баксанской нейтринной обсерватории, можно сказать, всю свою научную жизнь...

— В первый раз я приехал на практику, это был 1979 год. Представьте себе студента, который оказался там, где проводится гигантский эксперимент, — это вам не лабораторная работа. Сразу множество задач, абсолютно новая область — конечно, такое захватывает. Тем более я заканчивал кафедру теоретической и ядерной физики, а тут — такой мощный эксперимент. Попал я сюда по совету моего тогдашнего научного руководителя Григория Моисеевича Верешкова, и это оказалось действительно интересно. В 1980-м, окончив физический факультет Ростовского университета, я начал тут работать. Конечно, и в Ростовском университете учёные занимались современной физикой по целому ряду направлений — лазерная физика, радиофизика, физика полупроводников. Но Баксанский подземный сцинтилляционный телескоп — БПСТ — был первой в мире подобной установкой по объёму, да и вообще обсерватория была и остаётся единственной в мире, для создания которой специально прокладывали тоннель в горе. Первое нейтрино из нижней полусферы Земли зарегистрировали здесь в 1978 году, с тех пор идёт регистрация нейтринных событий. Установку «Ковёр» запустили в 1973 году. «Ковёр» замечателен тем, что представляет собой точную копию одного из слоёв БПСТ, там разрабатывали методику проведения экспериментов на БПСТ. А затем началась регистрация широких атмосферных ливней космических лучей — ШАЛ — с энергиями больше 100 ТэВ. В целом установка оказалась очень полезна, и это было даже неожиданно.

— А что было неожиданным?

— Обычно, когда хотят изучать ливни от частиц больших энергий, то располагают много детекторов на достаточно большой площади, хотя бы на десяти тысячах квадратных метров. А тут ливневая установка в целом небольшой площади, но зато состоящая из центральной части с непрерывной площадью регистрации, примерно в 200 квадратных метров, и шести выносных пунктов регистрации вокруг. И выясняется, что она может дать уникальные данные о сечении генерации струй частиц с большими поперечными импульсами. Позднее такие данные были получены на ускорителях, но сначала — здесь, именно благодаря такой структуре установки. Затем проводилось изучение структуры центральной области ливня, был измерен спектр центральных плотностей ШАЛ. Это то, что разреженные установки дать не могли. Они не плохие, просто у каждой своя область изучения. Потом мы стали установку развивать, поставили мюонный детектор, 175 квадратных метров, который назвали «Ковёр-2».



Установка «Ковёр-2», выносные пункты детектора широких атмосферных ливней.

регистировать на большей площади широкие атмосферные ливни (ШАЛ) от космических лучей с энергиями больше 100 тераэлектронвольт.

Широкие атмосферные ливни от космических лучей — это совсем не то же самое, что сильный дождь на Земле: это лавина частиц — мезонов, мюонов, гамма-квантов, электронов... Они возникают в атмосфере Земли, когда частица космических лучей с очень большой энергией попадает туда и взаимодействует с каким-либо атомом. При этом рождается большое количество так называемых вторичных частиц. Совсем недавно на этой установке был зарегистрирован широкий атмосферный ливень, который, по оценкам, мог быть вызван гамма-квантом с рекордной энергией 230 тераэлектронвольт. До сих пор такого никто не регистрировал. Теоретические модели говорят, что таких гамма-квантов быть не должно: источники, которые могут их дать, находятся на расстоянии, с которого гамма-квант долететь не может. Так как же и откуда он прилетел? «Всё это

требует дальнейших проверок и исследований», — говорит Альберт Гангапшев, заместитель директора БНО ИЯИ РАН по науке. — Возможно, это та самая Новая физика, которую так долго и упорно ищут учёные».

...С Баксанского нейтринного телескопа мы возвращались, как из путешествия на другую планету. Вот кипит пенными струями мощная водная артерия этих мест — река Баксан, вот стоят в белых шапках могучие горы, вот пасутся на лугу лошадки и коровы... И среди этого пасторального пейзажа прячется целый комплекс сложнейших научных установок, каждая из которых — гордость отечественной науки, а люди, здесь работающие, — настоящие «горные короли».

Только вот живётся им совсем не по-королевски. За рамками рассказа о научных экспериментах они говорили о том, как тяжело выживать сегодня фундаментальной науке, не дающей быстрого экономического эффекта. Как уходят «старички», проработавшие здесь всю жизнь, и как трудно удерживать в науке молодёжь. И я думала: как хотелось бы, чтобы слово «учёный» сохранило уважительный смысл, а наука не растеряла свой авторитет — ведь без этого невозможно развитие страны.



Валерий Борисович Петков.

Фото Андрея Афанасьева

Сейчас у нас мюонный детектор — уже 410 квадратных метров. Вокруг большое количество выносных пунктов регистрации, для того чтобы использовать преимущества обоих подходов.

На первом месте сейчас у нас гамма-астрономия. Есть такие удивительные объекты — гамма-всплески. У нас, например, было зарегистрировано совершенно уникальное событие от гамма-всплеска GRB 221009A в 2022 году. А 9 октября 2022 года зарегистрировали на спутниках всплеск гамма-излучения, следом установка LHAASO в Китае — она гораздо больше, чувствительность выше — зарегистрировала тысячи фотонов с энергиями до 18 ТэВ в первые 2000 секунд после начала всплеска. Но затем мы зарегистрировали единственное событие с рекордной энергией от этого направления через 4536 секунд после начала всплеска. Сейчас заканчивается его обработка, потребовалось много времени, чтобы провести моделирование. Если это гамма-квант с энергией 230 ТэВ — никто такого не регистрировал, только мы.

Этот гамма-всплеск произошёл на очень большом расстоянии, 720 мегапарсек, далеко за пределами нашей Галактики. Гамма-кванты таких энергий не должны были дойти оттуда до Земли, из-за микроволнового фона такие частицы должны были поглотиться.

— Но они всё же дошли?

— Мы оцениваем вероятность того, что это всё-таки случайное совпадение и к нам пришёл гамма-квант из другого объекта, смотрим, есть ли вблизи другие галактические источники. Можно предположить, что на самом деле пришёл высокоэнергичный первичный протон, а не гамма-квант, но всё-таки наиболее вероятно, что это именно гамма-квант. Мы разделяем первичные протоны и более тяжёлые ядра от гамма-квантов по числу мюонов в мюонном детекторе. Сейчас работа по оценкам вероятности у нас заканчивается, готовится статья на эту тему. Мы не можем сказать, что гамма-квант обязательно из той или иной области, но указываем вероятность. Если событие произошло от гамма-кванта, пришедшего с таких больших расстояний, это сразу даёт шанс для выхода за преде-

лы Стандартной модели. То, что теоретики любят называть «новой физикой».

— Почему именно вам удалось увидеть это событие?

— Тут интересный момент. Как с обычными оптическими телескопами: есть двадцатиметровые, есть полуметровые, двухметровые — и все работают, у каждого своя область применения. Так и здесь: такие установки, как наша, могут видеть уникальные события. Конкурировать с более крупными установками при изучении постоянных источников нам довольно сложно. Большая установка, например, перебьёт нас статистикой, количеством регистраций. А при изучении транзиентов, то есть вспышечных событий, важно, кто успел увидеть и в какой фазе. Вывод простой: нужно наблюдать на всех установках. Чем больше у нас будет разных установок, тем большая вероятность увидеть редкие события.

— Когда строилась Баксанская нейтринная обсерватория, стояла конкретная задача ловить нейтрино. Что с тех пор удалось понять про нейтрино?

— Вы были на БПСТ. Замечательная установка — очень старая, официально введена в строй в 1977 году. При этом до сих пор прекрасно работает, потому что изначально строилась как универсальная, многозадачная. Собственно, идея сделать такую установку принадлежит Александру Евгеньевичу Чудакову. Выдающийся физик, был руководителем всей нашей команды. Он придумал установку, которая проработала столько лет и способна работать по сей день. Для каких-то задач, конечно, не хватает массы, размера. Раньше, когда это начиналось, не было больших установок. БПСТ был первым. Но по задачам изучения мюонных групп мы продолжаем работать, а установок с такой структурой больше нет.

Когда делают специализированные установки под какую-то задачу, всё получается иначе. На Западе такой стиль: построили установку, быстро померили что-то, разобрали. Была, например, в лаборатории Гран-Сассо в Италии хорошая установка MACRO. Проработала недолго. При этом идея итальянской лаборатории была взята у нас. Мы работаем, сколько

возможно, стараемся всё выжать из установок, и я считаю, что это хорошо. Ломать, как говорится, не строить. Кроме того, Баксанская нейтринная обсерватория была первой для таких задач в области так называемой подземной физики.

— Остальные обсерватории использовали уже имеющиеся шахты?

— Да, у нас тоннель был пробит специально для науки, СССР мог себе это позволить, а там использовались автомобильные тоннели, где делали ответвления. Даже сейчас, в наше непростое для науки время, потенциал у нашей обсерватории большой. Если говорить об обсерватории в целом, то это уникальный комплекс подземных и наземных установок, предназначенный для решения задач широкой области исследований.

Если брать БПСТ и нейтринную физику, то работы ведутся до сих пор. Первое — изучение мюонных нейтрино из нижней полусферы. Эти нейтрино проходят через Землю практически без поглощения и рождаются под БПСТ мюон при взаимодействии с грунтом. Используя времяпролётную методику, мы можем выделить мюоны, приходящие снизу. Это мюоны от нейтрино, так как другие частицы не могут пройти такую большую толщу вещества. За всё время работы БПСТ накоплен банк нейтринных событий. По сравнению с черенковскими телескопами в воде или во льду, у нас маленький объём и маленькая площадь установки, поэтому мы работаем в области малых энергий: пороговая энергия мюонных нейтрино — один ГэВ. А там начинают работать с больших энергий, и статистика больше. Но за время, когда тех установок ещё не было, наблюдали много интересного, и мы продолжаем своё дело. Оно важно и с точки зрения астрофизики.

— Например?

— Например, в 2021 году произошла вспышка блазара PKS 0735+17. Нейтринный телескоп IceCube в Антарктиде увидел оттуда сигнал. В тот же день событие из этой области было зафиксировано и на Байкальском телескопе с небольшим разрывом по времени. Нейтринный телескоп ANTARES в Средиземном море ничего не увидел, а прототип другого телескопа,

KM3NeT, увидел событие из этой же точки спустя длительное время. Если блазар активен, он может светить достаточно долго.

Мы стали смотреть наши данные, и за несколько дней до этого события, зарегистрированного IceCube, тоже увидели нейтрино из этой точки. И самое интересное — увидели как раз в момент вспышки гамма-излучения при этих же энергиях, порядка одного 1 ГэВ. Так что у каждой установки своя область, и все они важны.

— Допустим, увидели вы и другие учёные это событие — и что это изменило?

— Нам это даёт новые знания. Когда мы видим одновременно гамма и нейтрино, это означает, что процесс не электромагнитный, а ядерный. Когда протон сталкивается с протоном или ядрами вещества вокруг этого ускоряющего объекта, будут рождаться, в том числе, пи-мезоны. Если рождаются заряженные пи-мезоны, π^+ и π^- , то, вследствие изотопической инвариантности, должен быть и нейтральный пи-мезон (π^0). π^0 быстро распадается на два гамма-кванта, а π^+ и π^- при распаде дают нейтрино и мюоны. Когда мы видим, что и то и другое приходит от одного объекта, это означает, что там действительно идут ядерные процессы. Здесь мы видим ускорение именно таких частиц, как протоны, — ядерных заряженных частиц. Сейчас есть целое направление исследований, связанное с этим. Скажем, мы видим мощный источник гамма-излучения, а идут ли оттуда нейтрино? Уже обнаружены объекты, которые рассматриваются как источники нейтрино.

— Событий мало, зарегистрировать крайне трудно, все установки стоят огромных денег... Зачем люди так упорно гонятся за нейтрино? Для чего это важно человечеству?

— Большинству людей это не нужно, наверное. Но у некоторых всегда был интерес к познанию окружающего мира.

Тут надо разделять ускорительные эксперименты и астрофизические. Астрофизические — мы смотрим на окружающий мир. Что IceCube, что наш БПСТ можно сравнить с телескопами, которые смотрят в небо с помощью оптики, а кто-то наблю-

дает космос в рентгене. Точно так же эти установки «смотрят в нейтрино». Это чистое познание, на данном этапе говорить о практическом выходе смысла нет.

— **Но если попробовать заглянуть в будущее? Сверхбыстрые компьютеры, новые способы передачи информации, просвещение Земли?**

— Об этом уже много десятилетий говорят, но ничего этого пока нет.

— **Поговорят ещё пару десятилетий и сделают...**

— Может быть. Если мы научимся регистрировать заметную часть потока нейтрино, это можно будет использовать для передачи информации. Ведь нейтрино проходит через большую толщу вещества. Мы пока не умеем использовать нейтрино, но уже научились их эффективно ловить. Познание — главное, технологии — это следующий этап. Какая тут польза для народного хозяйства? На урожайности, наверное, это не скажется. Но что такое «полезно» для человечества? Посмотрим с другой стороны: нейтрино рождается на Солнце в результате ядерных реакций. Для того чтобы понять, как работает Солнце, надо строить большие установки. Может, мы научимся понимать это. И научимся использовать термоядерный синтез. Поэтому изучать надо обязательно. Есть такая точка зрения, и вполне возможно, она верна: когда мы научимся использовать нейтрино, мы выйдем на другой цивилизационный уровень.

— **Какие загадки нейтрино ещё не отгаданы?**

— Например, проблема существования стерильных нейтрино. Такой эксперимент у нас тоже проводился, эксперимент BEST. В нём идёт поиск перехода электронных нейтрино в стерильные. Если мы ставим источник электронных нейтрино и видим, что они исчезают, то мы фактически видим переход в стерильные состояния, которые вообще никак не взаимодействуют с веществом.

— **Непонятно, почему такое происходит?**

— Пока непонятно. Это ведь расширение Стандартной модели, как и наличие у нейтрино массы. Мы не знаем, какая масса нейтрино, но знаем — раз нейтрино

осциллируют, превращаются друг в друга, значит, у них есть масса, есть разность масс. А раз есть разность масс, значит, есть и масса. На данный момент эксперименты противоречивы. Чем это и интересно: идут измерения, дискуссии, люди спорят, пока все не придут к одной точке зрения, когда особенности разных экспериментов не будут поняты, ошибки разных экспериментов не исправлены, теоретические представления не приведены к общему знаменателю. Тогда мы сможем описать стерильные нейтрино. Сейчас это одно из интересных направлений, когда люди до хрипоты спорят на конференциях. Вот недавно была сессия Отделения физических наук в Дубне — заседания были весьма бурные.

Конечно, нам нужно проводить здесь, в Баксанской нейтринной обсерватории, следующий эксперимент BEST-2. Это предлагает научный руководитель нейтринных экспериментов с галлиевой мишенью академик Владимир Николаевич Гаврин. В эксперименте BEST использовался источник электронных нейтрино хром-51 с активностью 3,4 мегаюри, который был помещён в центре двухзонной галлиевой мишени. Сейчас понятно, что мишень должна быть трёхзонной и нужен другой, более мощный источник энергии нейтрино. В эксперименте BEST-2 планируется использовать монохроматический источник электронных нейтрино кобальт-58, при этом энергия нейтрино увеличивается в два раза. Этот эксперимент, на мой взгляд, нужно обязательно провести, сильно не затягивая, хотя организационно и финансово это непросто. Но у нас есть сейчас главное — научная инфраструктура для этого эксперимента.

Эксперимент с галлиевой мишенью длится десятилетия, все методики хорошо отработаны. Есть очень квалифицированные кадры, грамотные люди. Если не будет людей, вы можете вкладывать деньги, но ничего не получится. В общих чертах, нам нужен только источник. Когда на него будут деньги, когда его разработают, изготовят, доставят сюда, будут проведены измерения, тогда будет следующий шаг — измерение параметров осцилляций электронных нейтрино в стерильные.

Этот эксперимент может нам область разрешённых параметров существенно сузить. Это важный результат: для того, чтобы знать свойства нейтрино, нам нужно знать эти параметры.

Мой подход как руководителя Обсерватории сейчас такой: у нас есть возможности для экспериментов. Давайте исследуем всё, что можно исследовать. Когда уже всё налажено — это совсем другое дело, чем строить с нуля. Надо использовать всю имеющуюся инфраструктуру и разработанные методики для новых экспериментов. Например, можно с имеющейся двухзонной мишенью исследовать возможный переход антинейтрино в нейтрино, но для этого нужен антинейтринный источник тулий-170.

— **А ведь есть ещё и геонейтрино...**

— Это нейтрино, которые рождаются в радиоактивных распадах. Точно так же, как в ядерных реакторах, в Земле тоже есть радиоактивные элементы, и при бета-распаде, слабом распаде, будут рождаться нейтрино. В какой-то момент люди додумались, что такой поток можно измерить. Уже на многих установках это делают. Это трудно — энергии этих нейтрино очень маленькие, а фоны огромные. Видимо, лучший эксперимент, который был в этой области, — это эксперимент BOREXINO в лаборатории Гран-Сассо в Италии. Там не очень большой детектор, но там уникальная чистота сцинтиллятора.

— **Чем это интересно?**

— Подробное изучение потоков геонейтрино может изменить представление о Земле. Есть стандартные представления геофизиков, а есть модель гидридной Земли — гипотеза, выдвинутая советским геологом Владимиром Николаевичем Лариным в 1968 году. Ларин утверждал, что ядро Земли в значительной степени состоит из гидридов металлов. Долгое время считалось, что эта гипотеза неверна и не соответствует современным научным данным о тектонике плит. Но сейчас у нас в Институте есть группа, которая занимается этим вопросом, — её возглавляет Леонид Борисович Безруков. Чем эта модель ещё интересна: если в Земле много водорода и он выходит из Земли, взаимодействуя с другим веществом, то

возникает вопрос — а источники углеводородов возобновляемы?

— **Вот вам и практический выход!**

— Это серьёзный вопрос. Были случаи, когда вроде исчерпали месторождения нефти, прошли десятилетия — опять есть. Откуда? Есть стандартная модель Земли, но, может быть, всё иначе.

— **И модель Солнца нам неизвестна...**

— Модель Солнца — тоже интересная вещь. Леонид Борисович переработал данные эксперимента BOREXINO и фактически утверждает, что у нас есть поток калийных нейтрино от распада калия-40, — это подтверждает гидридную модель. А для того чтобы это согласовать, нужно, чтобы параметр металличности Солнца был меньше, чем в стандартной модели. Это значит, что Солнце молодое. Статистика маленькая, точность пока невысокая, но уже есть какой-то намёк, что это надо исследовать обязательно. Нам говорят — Солнцу 4,5 миллиарда лет, но оказывается, это может быть не так.

«Наука и жизнь»

об исследованиях нейтрино:

- Либанов М. **Нейтрино. Познание Вселенной продолжается.** — 2021, № 5.
Понятов А. **Нейтрино ловят на глубине.** — 2021, № 5.
Понятов А. **Космические нейтрино высоких энергий рождаются квазарами.** — 2021, № 4.
Понятов А. **Охота за стерильным нейтрино.** — 2019, № 9.
Понятов А. **«Оборотни» микромира.** — 2015, № 11.
Мухин К. **Нейтрино: вчера, сегодня, завтра.** — 2014, №№ 3, 4.
Киреев С. **Нейтрино на службе химии чистых веществ.** — 2011, № 3.
Транковский С. **Вселенная в рентгеновских лучах и потоках нейтрино.** — 2002, № 12.
Нозик В. **Нейтрино.** — 2000, №№ 2, 3.
Новиков И. **Гравитация, нейтрино и Вселенная.** — 1980, № 10.
Сворень Р. **Призрак на весах, или Рассказ о том, как взвешивали невесомое нейтрино.** — 1980, № 8.
Сворень Р. **Пробиться к центру Солнца.** — 1977, № 7.
Сворень Р. **Надежды связаны с нейтрино.** — 1975, № 4.
Герштейн С., Фоломешкин В. **Нейтрино и Солнце.** — 1972, № 4.
Понтекорво Б. **Нейтрино в лаборатории и во Вселенной.** — 1963, № 12.

**Книги и журналы «Наука и жизнь»
можно купить в наших магазинах на OZON и WILDBERRIES**



Книги издательства
«Наука и жизнь»



Свежий номер
журнала



Журналы и комплекты
прошлых лет

Покупайте журналы на маркетплейсах со скидкой и быстрой доставкой
в пункты выдачи в России, Беларуси и Казахстане

OZON



WILDBERRIES



Главный редактор Е. Л. ЛОЗОВСКАЯ.

Заместители главного редактора: М. А. АБАЕВ, Н. А. ДОМРИНА.

Зав. отделом корректуры и проверки Л. М. БЕЛЮСЕВА.

Редакторы: Л. В. БЕРСЕНЕВА, Н. К. ГЕЛЬМИЗА, Т. Ю. ЗИМИНА, З. М. КОРОТКОВА, А. А. ПОНЯТОВ,
Л. А. СИНИЦЫНА, К. В. СТАСЕВИЧ, Ю. М. ФРОЛОВ.

Дизайн и вёрстка: З. А. ФЛОРИНСКАЯ, Т. М. ЧЕРНИКОВА, Т. Б. КАРПУШИНА, М. М. СЛЮСАРЬ.

Заведующая редакцией: Н. В. КЛЕЙМЕНОВА.

Администратор сайта: Т. М. ВАГИНА. Информационное партнёрство: Е. С. ВЕЛИЧКИНА.

Служба распространения: Д. В. ЯНЧУК, тел. (495) 621-09-71. Служба рекламы: Т. В. ВРАЦКАЯ, тел. (915) 108-04-05.

Информация об условиях размещения рекламы: www.nkj.ru/advert/

Адрес редакции: 101000, Москва, ул. Мясницкая, д. 24/7, стр. 1. Телефон для справок: (495) 624-18-35.

Электронная почта: mail@nkj.ru. Электронная версия журнала: www.nkj.ru

- Ответственность за точность и содержание рекламных материалов несут рекламодатели
- Перепечатка материалов — только с разрешения редакции
- Рукописи не рецензируются и не возвращаются
- Выпуск издания осуществлён при финансовой поддержке Министерства цифрового развития, связи и массовых коммуникаций РФ

© «Наука и жизнь». 2024.

Учредитель: Автономная некоммерческая организация
«Редакция журнала «Наука и жизнь»».

Журнал зарегистрирован в Государственном комитете Российской Федерации
по печати 26 февраля 1999 г. Регистрационный № 01774.

Подписано к печати 25.09.2024. Печать офсетная. Тираж 18000 экз. Заказ № 240801.

Цена договорная. Отпечатано в ООО «Первый полиграфический комбинат».

Адрес: 143405, Московская область, Красногорский район, п/о «Красногорск-5», Ильинское шоссе, 4-й км.

**СОЛНЕЧНЫЕ
ДНИ В ОКТЯБРЕ!**

Только с 4 по 14 октября в любом
почтовом отделении России вы можете
подписаться на журнал «Наука и жизнь»
на первое полугодие 2025 года со скидкой*

15%

КАТАЛОГ АГЕНТСТВА ФГУП «Почта России»

П1467 — для индивидуальных подписчиков

П2831 — для организаций

*Скидка от цены на основную подписку на первое полугодие 2025 года.

Фото Андрея Лисинского

НАУКА И ЖИЗНЬ

10

2024

Подписные индексы:
П1467, П2831



4 607063

070016

24010