

# Нейтрино: частица,

**которая  
водит всех за нос**

С помощью гигантских приборов ученые  
выслеживают легчайшие частицы  
материи Вселенной — нейтрино.  
И постепенно расшатывают устои физики.  
Что впереди? Возможно, мы на пороге  
новой эры в науке

Текст: Клаус Бахманн





В обширной шахте рядом с канадским городом Садбери, в двух километрах под землей астрофизики установили огромную ловушку для нейтрино. На этой круговой панораме пропорции установки искажены. Диаметр детектора в центре — 18 метров. Он снабжен тысячами световых сенсоров





Разыскивается нейтрино. Элементарная частица. Самая легкая в составе материи. Одна из самых распространенных во Вселенной. Размер — крошечный. Характер — эксцентричный. Крайне некоммуникабельна. Взаимодействия избегает. На контакт не идет. С легкостью перевоплощается, меняя три-четыре личности. Особая примета: в зеркальном отражении левая и правая стороны не перевернуты. Подозревается в нарушении общепринятых законов физики.

Нейтрино — в истории физики самая разыскиваемая элементарная частица. За ней охотятся повсюду. В Южной Корее, Китае, Японии, Германии, Канаде, США. Ловушки расставлены по всей планете. Все крупнейшие детекторы, которые должны ее уловить. Все изощреннее методы, призванные заставить ее выдать себя.

Физики ждут от нейтрино ответа на главные вопросы об устройстве Вселенной. Почему материи в космосе больше, чем антиматерии, хотя в момент Большого взрыва они должны были образоваться в равных пропорциях? Как возникли галактики и их скопления?

Роль этих эфемерных частиц в «жизнедеятельности» нашего мира трудно переоценить. «Если во Вселенной происходит что-то стоящее, в этом почти всегда замешаны нейтрино», — говорит Линдли Винслоу, специалист по физике из Массачусетского технологического института в американском Кембридже.

«Без нейтрино во Вселенной, скорее всего, не было бы ничего, кроме света. Ни материи, ни людей», — добавляет Манфред Линднер из Института ядерной физики Общества Макса Планка в немецком Гейдельберге.

История неуловимого нейтрино началась в минуту отчаяния. Не зная, как иначе объяснить загадочную потерю энергии при радиоактивном распаде, австрийский физик Вольфганг Паули в 1930 году сделал вывод о существовании еще не известной науке частицы.

Вскоре Паули стали терзать сомнения. «Сегодня я совершил ужасную вещь, совершенно недопустимую для физика-теоретика, — признавался он. — Я выдвинул гипотезу, которую никогда нельзя будет подтвердить или опровергнуть экспериментально». И действительно: как обнаружить элементарную частицу, которая намного легче других «кирпичиков» материи — электрона, протона, нейтрона — и к тому же не имеет электрического заряда.

К счастью, тут Паули ошибался. Физики смогли выследить призрачные частицы благодаря косвенным уликам — по эффектам, которые они вызывают. Когда нейтрино сталкивается с одним из составных элементов атома, могут возникать новые частицы, которые регистрирует детектор. Это похоже на игру в бильярд невидимым шаром. Мы знаем, что он есть, только потому, что от его удара разлетаются другие шары.

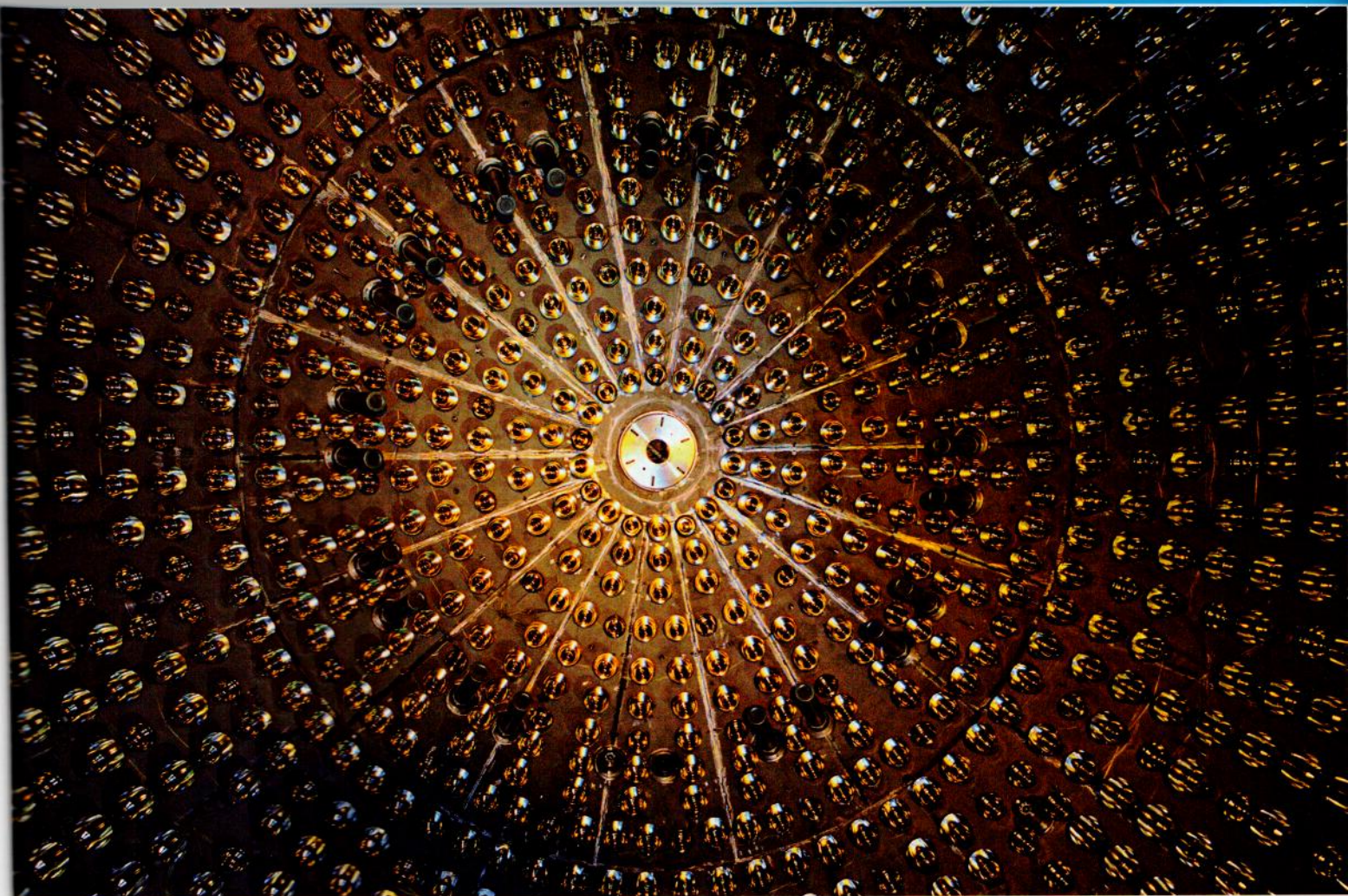
Современная модель Вселенной построена физиками из множества частей. И ней-

#### «БОРЕКСИНО»

Когда нейтрино сталкивается с электронами атомов органической жидкости, заполняющей стальной шар, возникает вспышка. Ее улавливают так называемые фотоумножители. С помощью этой установки высотой 18 и диаметром 19 метров ученые ловят прежде всего солнечные нейтрино. Перед строительством «Борексино» они протестировали технологию на уменьшенных прототипах







В итальянской подземной лаборатории Гран-Сассо более 2000 электронных «глаз» следят за происходящим в глубине детектора «Борексина»

трино — важная деталь пазла. Но парадоксальные свойства этой частицы намекают и на существование физических законов, выходящих за пределы имеющихся научных знаний. Это еще одна причина, по которой ученые охотятся на нее с таким азартом.

Поймать нейтрино — задача непростая. Хотя это вторая по распространенности элементарная частица во Вселенной после фотонов. Вездесущая, но малоcontactная. Обнаружить ее мешает в том числе поток частиц, постоянно бомбардирующих Землю из космоса и атмосферы. Вот почему охотники за нейтрино устраивают свои засады в толще скал, которые служат щитом от помех.

### Гран-Сассо, зал С Чудесное превращение

Автомобильная трасса A24, ведущая в сторону Рима, за 30 километров до Л'Аквилы ныряет в десятикилометровый туннель под горным массивом Гран-Сассо. Внутри горы через 3,5 километра — съезд в сторону, перегороженный шлагбаумом и пятиметровыми металлическими воротами. За ними — коридор с важными шероховатыми стенами, ведущий в разветвленную систему подземных залов и галерей.

При строительстве шоссе инженеры проложили несколько дополнительных шахт в скальной толще. Они разрослись в крупнейшую в мире подземную лабораторию. Теперь здесь генеральный штаб охотников за нейтрино. На электронном табло под потолком коридора горят красные буквы INFN. За этой аббревиатурой скрывается Национальный институт ядерной физики, в состав которого входит лаборатория Гран-Сассо.

Детектор «Борексина» в зале С похож на огромный термос. Без малого 18 метров в высоту, почти 19 — в ширину. Чтобы осмотреть со всех сторон этот стальной бак в коконе из серебристого изолирующего материала, нужно протискиваться, прижимаясь к скальной стене.

«Борексина» сконструирован по принципу луковицы. Внутри гигантского резервуара, наполненного водой, подвешен стальной шар диаметром 14 метров. Внутри самого шара — примерно 1300 тонн так называемой сцинтиллирующей жидкости, органической субстанции, которая испускает слабые вспышки света при столкновении проходящих через нее нейтрино с электронами атомов. За происходящим следят 2212 фотоэлектронных умножителей. Они улавливают вспышки и преобразуют их в электрические сигналы. ►►

60 миллиардов нейтрино каждую секунду пронизывают пространство размером с ноготь



►►► Детектор предназначен прежде всего для регистрации солнечных нейтрино. Они образуются на Солнце в несметном количестве в процессе ядерного синтеза. Примерно 60 миллиардов таких частиц каждую секунду пронизывают пространство размером с ноготь большого пальца. Луна, заслоняющая нашу планету от Солнца в темное время суток, для них не помеха. Они проходят сквозь нее беспрепятственно, как солнечный луч через стекло.

Благодаря «Борексину» и другим экспериментам ученые установили, что нейтрино обладают удивительным свойством — они могут видоизменяться прямо в полете. Существует как минимум три типа этих частиц: электронные, мюонные и тау-нейтрино. Причем они с легкостью переходят из одной ипостаси в другую. И отличить их можно только по массе.

Идея изменчивости нейтрино впервые возникла у итальянского физика Бруно Понтекорво в 1957 году. Тогда это была чистая теория. Ученые только-только доказали, что нейтрино вообще существуют. Об экспериментальном подтверждении нечего было и думать.

Когда в 1960-е впервые удалось массово зарегистрировать солнечные нейтрино, исследователи обнаружили в своем «улове» лишь треть расчетного числа частиц. Куда делись остальные?

Ответить на этот вопрос удалось только в двухтысячные. По пути к Земле электронные нейтрино, рожденные в раскаленном сердце Солнца, превращаются в мюонные и тау-нейтрино. Детекторы, которые используют для регистрации этих загадочных частиц, поначалу улавливали только электронные нейтрино, пропуская остальные. Отсюда и «недостача». Детекторы следующего поколения помогли обнаружить и два других типа частиц, исходящих от Солнца.

Раз нейтрино могут переходить из одного состояния в другое, значит у них должна быть масса. Какой сюрприз для ученых! Долгое время считалось аксиомой, что эти элементарные частицы вообще невесомы. Все остальное противоречило Стандартной модели физики. А ее выстраивали десятки лет по кирпичику, как большое здание, вместившее в себя объяснение всех явлений материального мира. Но нейтрино существуют в другом, странном мире квантов, где царят свои законы. Там превращение одной частицы в другую — обычное дело.

По большому счету нейтрино — это всегда «смесь» электронного, мюонного и тау-нейтрино. В квантовой физике такое явление

называют «суперпозицией» — наложением взаимоисключающих состояний. В случае нейтрино эти состояния постоянно сменяют друг друга. Частица стартует на Солнце в форме электронного нейтрино. Но на Землю может прибыть уже в виде мюонного. Ситуацию усложняет еще и то, что превращение не запрограммировано, а лишь возможно.

С помощью детектора «Борексина», который умеет точно подсчитывать солнечные нейтрино, ученые подобрали ключ к загадке изменчивости эфемерных частиц.

Теперь перед ними уже следующая цель. «Есть признаки существования еще одной, четвертой разновидности нейтрино, которая возникает на краткий миг, когда новорожденная частица преодолевает свои первые десять-сто метров», — говорит Манфред Линднер из Гейдельбергского института ядерной физики Общества Макса Планка.

В этом состоянии нейтрино называют «стерильными». Потому что они почти не вступают во взаимодействие с другим веществом. Если существование такой разновидности нейтрино подтвердится, это станет научной сенсацией. Неудивительно, что ученые охотятся за ними по всему миру. В Гран-Сассо для выявления абсолютно «неконтактной» частицы собираются использовать особый материал.

В проекте принимают участие и российские ядерщики. Они извлекли из выработавших ресурс топливных стержней для ядерного реактора высокоактивный изотоп элемента церия. Этот редкоземельный металл образуется при распаде ядра урана. Исследователи планируют разместить 30 граммов церия в узком туннеле прямо под резервуаром «Борексина». Период полураспада церия точно известен. По нему можно вычислить, сколько электронных антинейтрино излучает радиоактивный образец. «Борексина» проведет подсчет и определит, произошел ли на первых метрах полета переход частиц в загадочное четвертое состояние. Для эксперимента уже все готово. Осталось лишь доставить в Италию церий с Южного Урала.

### Гран-Сассо, зал А В поисках «сверхредкого события»

Толстый десятиметровый серо-бежевый цилиндр венчает прямоугольная надстройка. Отсюда, из «чистой комнаты», у исследователей есть доступ к сердцу аппарата GERDA — германиевого детекторного приемника. Внутри аппарата — 35,6 килограмма чистейшего германия, обогащенного изотопом с массовым числом 76. Матово-серебристые кристаллы этого полупроводникового материала

Чтобы остановить нейтрино, требуется слой воды толщиной около 100 световых лет





подвешены на высоте шести метров от пола лаборатории в криостате объемом 64 кубометра. Он в полтора раза больше заправочной цистерны. И весь заполнен жидким инертным газом аргоном, охлажденным до минус 183 градусов Цельсия.

Бернхард Швингенхойер из Гейдельбергского института ядерной физики Общества Макса Планка — в полном снаряжении: защитный комбинезон, бахилы, медицинская маска, хирургическая шапочка. Главное — не занести в аппарат ни малейшей дозы радиации с одежды или волос. А если бы туда упал, к примеру, банан? Это стало бы настоящей катастрофой, ведь калий в его составе распадается со скоростью 15 атомов в секунду. Как при таком адском фейерверке выследить неуловимые нейтрино? Защита от радиации — на первом месте с самого начала эксперимента. Для стального бака и медных креплений аппа-

рата GERDA ученые после тщательного тестирования отобрали наименее радиоактивные образцы металла.

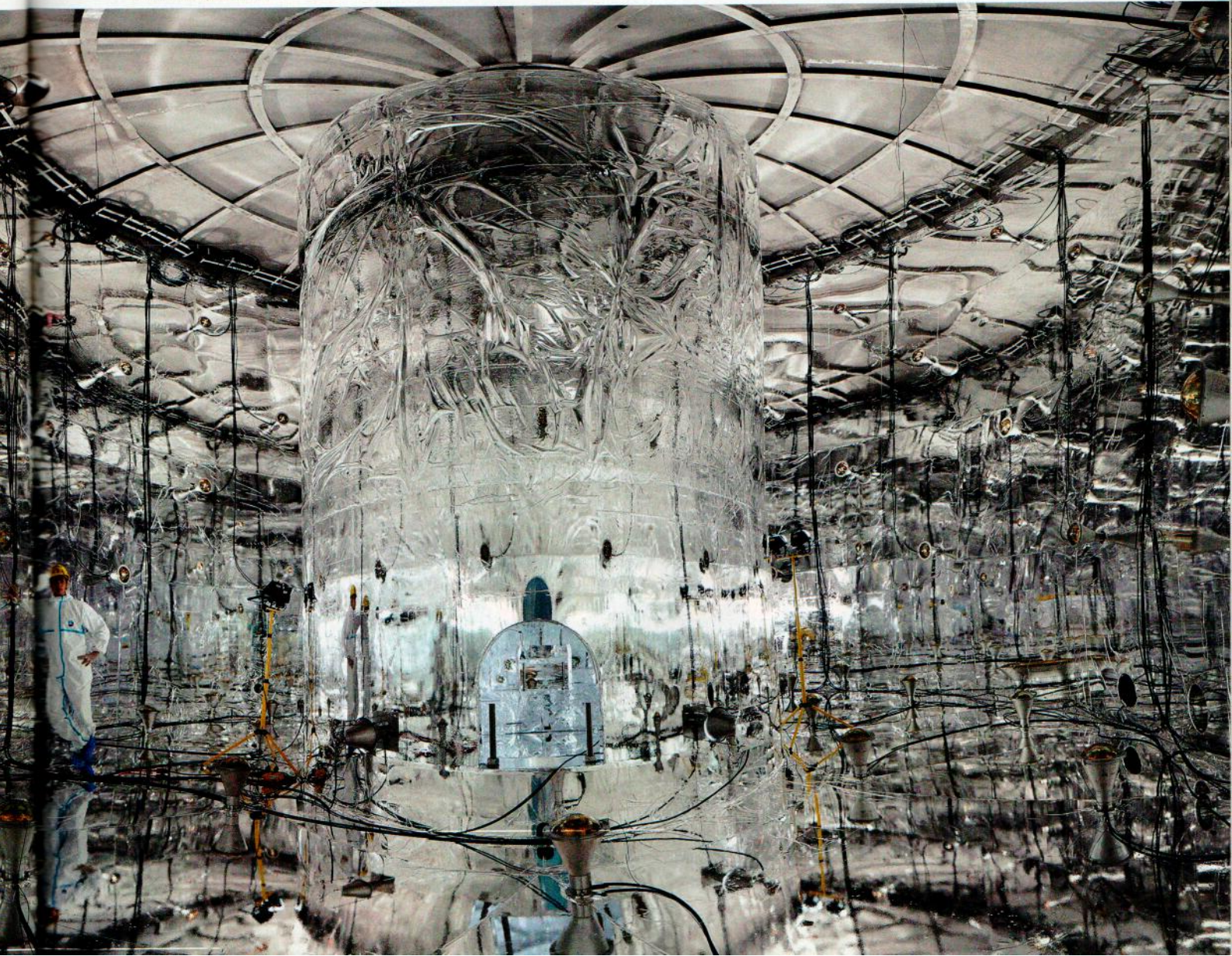
GERDA поможет им изучить одно удивительное свойство нейтрино. «Суть в том, что эта частица является собственной античастицей», — говорит Бернхард Швингенхойер.

В Стандартной физической модели нашего мира у каждой частицы есть противоположность — античастица. Они различаются лишь электрическим зарядом. А в остальном идентичны. Пример пары противоположностей — отрицательно заряженный электрон и положительно заряженный позитрон. Частице лучше не встречаться со своей античастицей. При контакте они мгновенно уничтожают друг друга. Остается лишь вспышка света.

Но нейтрино и тут отличились. Ведь они, объясняет Швингенхойер, единственные из всех элементарных частиц не несут ника- ▶▶▶

#### GERDA

Серебристая пленка, в которую закутан аппарат GERDA в подземной лаборатории Гран-Сассо, должна предотвратить потерю света при столкновении частиц. На этой экспериментальной установке ученые пытаются зарегистрировать редкий вид радиоактивного распада





# Досье частицы-невидимки

## ГДЕ РОЖДАЮТСЯ НЕЙТРИНО?

### СОЛНЦЕ

### ЯДЕРНЫЙ РЕАКТОР



Радиоактивные изотопы, образующиеся в ядерных реакторах, распадаются, испуская электроны и электронные антинейтрино. Бета-распад — так называют этот процесс физики. Небольшая доля высвободившейся в реакторе энергии улетучивается в форме нейтрино

Каждый раз, когда в недрах Солнца происходит слияние четырех ядер водорода в ядро гелия, выделяются электронное нейтрино. Сжигая сотни тонн водорода в секунду, наша звезда производит мириады эфемерных частиц — примерно  $1,8 \times 10^{38}$ /с

### ЧЕЛОВЕК + БАНАН



Человеческий организм содержит небольшое количество радиоактивных изотопов типа калия-40. При распаде они испускают электронные антинейтрино. У взрослого человека — со скоростью около 5000 частиц в секунду. Или больше, если съест богатый калием банан

## КАКИХ ВИДОВ БЫВАЕТ НЕЙТРИНО?

Есть три типа нейтрино: электронные, мюонные и тау-нейтрино. Они различаются массой, которая пока точно не определена. Как правило, тип нейтрино зависит от его происхождения



## ДИФРАКЦИЯ ЭЛЕКТРОНОВ



Некоторые детекторы нейтрино, например «Борексина», заполнены особой сцинтилирующей жидкостью. Нейтрино, сталкиваясь с электроном в атоме такой жидкости, вызывают явление, которое физики называют эластичной дифракцией электронов. Возникающие при этом слабые вспышки улавливаются датчиками. Преимущество этого метода: он позволяет выявлять все три типа нейтрино

## ОБРАТНЫЙ БЕТА-РАСПАД

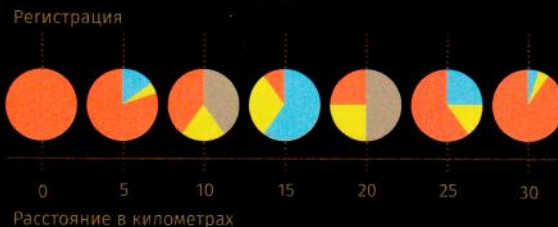


Когда нейтрино сталкивается с протоном в ядре атома жидкости, заполняющей детектор, протон превращается в нейтрон. Кроме того выделяется позитрон — античастица электрона. При контакте позитрон и электрон взаимно уничтожаются. Образовавшийся нейтрон движется в жидкости, пока его не уловит ядро другого атома. При этом испускается свет, который можно зарегистрировать. Такой метод подходит только для обнаружения электронных антинейтрино

## КАК УЧЕНЫЕ ИХ ЛОВЯТ?

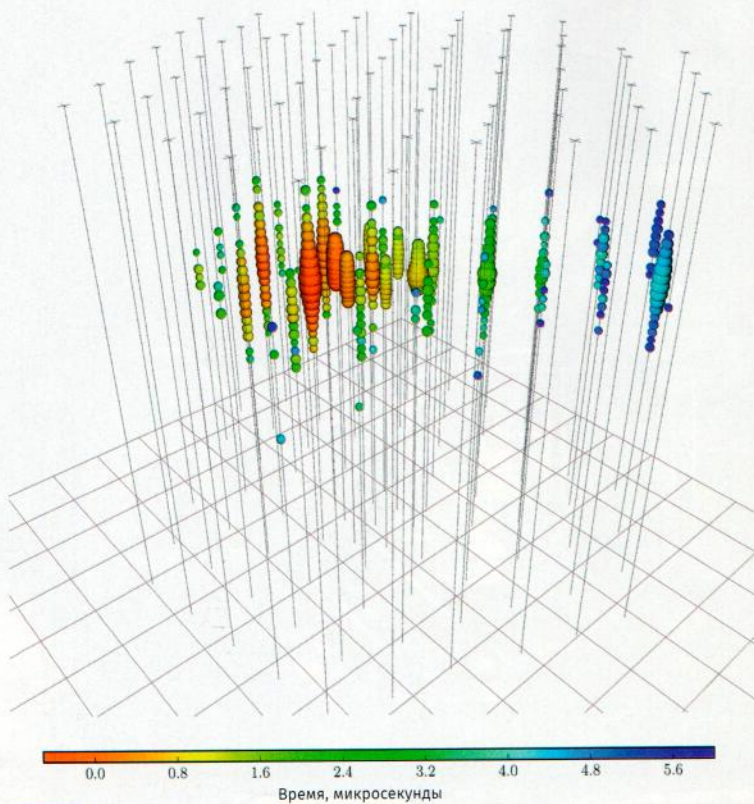
### ПРЕВРАЩЕНИЯ НЕЙТРИНО

Насколько вероятно зарегистрировать нейтрино конкретного типа с определенным энергетическим зарядом?



У нейтрино есть необычное свойство. В силу своей квантовой природы они умеют «перевоплощаться». Каждое нейтрино можно представить как гибрид трех частиц, постоянно сменяющих друг друга. При измерении регистрируется тот вариант, который превалирует в данный момент. Скорость перехода в другое состояние зависит от энергетического заряда частицы и среды, в которой она движется





#### ICESUBE

Глубоко в толще льда на Южном полюсе ученые построили «Ледяной куб» — нейтринную обсерваторию размером в кубический километр. При столкновении космического нейтрино с молекулой воды образуется заряженная частица, оставляющая световой след. По его цвету — от красного до синего — можно оценить энергию нейтрино. И создать «фоторобот» частицы-невидимки

кого электрического заряда — ни отрицательного, ни положительного.

Как же тогда изучить их феноменальное свойство? План ученых на первый взгляд может показаться абсурдным. Они отслеживают явление, при котором не наблюдаются ни нейтрино, ни антинейтрино, — радиоактивный распад. При нем выпущенное нейтрино тут же поглощается в ходе повторного распада того же атомного ядра. А в детекторе регистрируются лишь два испускаемых им электрона. Поскольку нейтрино тут проявляют лишь фоновую активность, физики называют это «событие» безнейтринным двойным бета-распадом. Если нейтрино действительно является собственной античастицей, такой распад возможен.

Проблема в том, что двойной бета-распад — крайне редкое явление. И эти единичные случаи нужно сначала зафиксировать. А затем отфильтровать из множества помех. Детектор собирает данные с 2015 года. И пока не зарегистрировал ни одного.

В погоне за неуловимым бета-распадом участвуют научные группы из многих стран. Главный конкурент детектора GERDA работает всего в пятидесяти метрах от него, в том же подземном зале А. И уже установил всемирный рекорд холода. Аппарат называется CUORE. Расшифровка этой аббревиатуры,

которая совпадает по написанию с итальянским словом «сердце», — «подземная криогенная обсерватория редких событий». Снаружи CUORE напоминает многоэтажный гараж из листовой стали. Внутри него около 200 килограммов полуметалла теллура в виде окиси. Кристаллы оксида теллура, крепеж и свинцовая защитная обшивка весят в общей сложности 1,5 тонны. И заморожены почти до абсолютного нуля — их температура выше всего на одну тысячную градуса. Настолько холодной массы такого размера больше нет нигде во Вселенной, с гордостью говорят ученые.

Скоро детектор начнет сбор данных — и будет заниматься этим ближайшие пять-шесть лет. А если физики попросту не зарегистрируют то самое «редкое событие»? «Значит, наш детектор недостаточно чувствительный», — говорит Паоло Горла, работающий над проектом уже 16 лет. В этом случае он будет готов включиться в проектирование другого детектора, даже если будет риск, что и новый аппарат ничего не обнаружит. Тогда Паоло завершит научную карьеру, так и не исполнив свою мечту — добиться прорыва в понимании устройства Вселенной.

«Если нам удастся зафиксировать безнейтринный двойной бета-распад, это будет самое редкое зарегистрированное явление в истории человечества», — говорит гейдельбергский физик-ядерщик Бернхард Швингенхойер. И последствия будут соответствующие: «Его обнаружение взорвет Стандартную модель физики элементарных частиц».

Ведь Стандартная модель не допускает существования частицы, которая обладает массой и при этом является собственной античастицей. «Это будет означать, что есть что-то за пределами Стандартной модели физики», — говорит Швингенхойер.

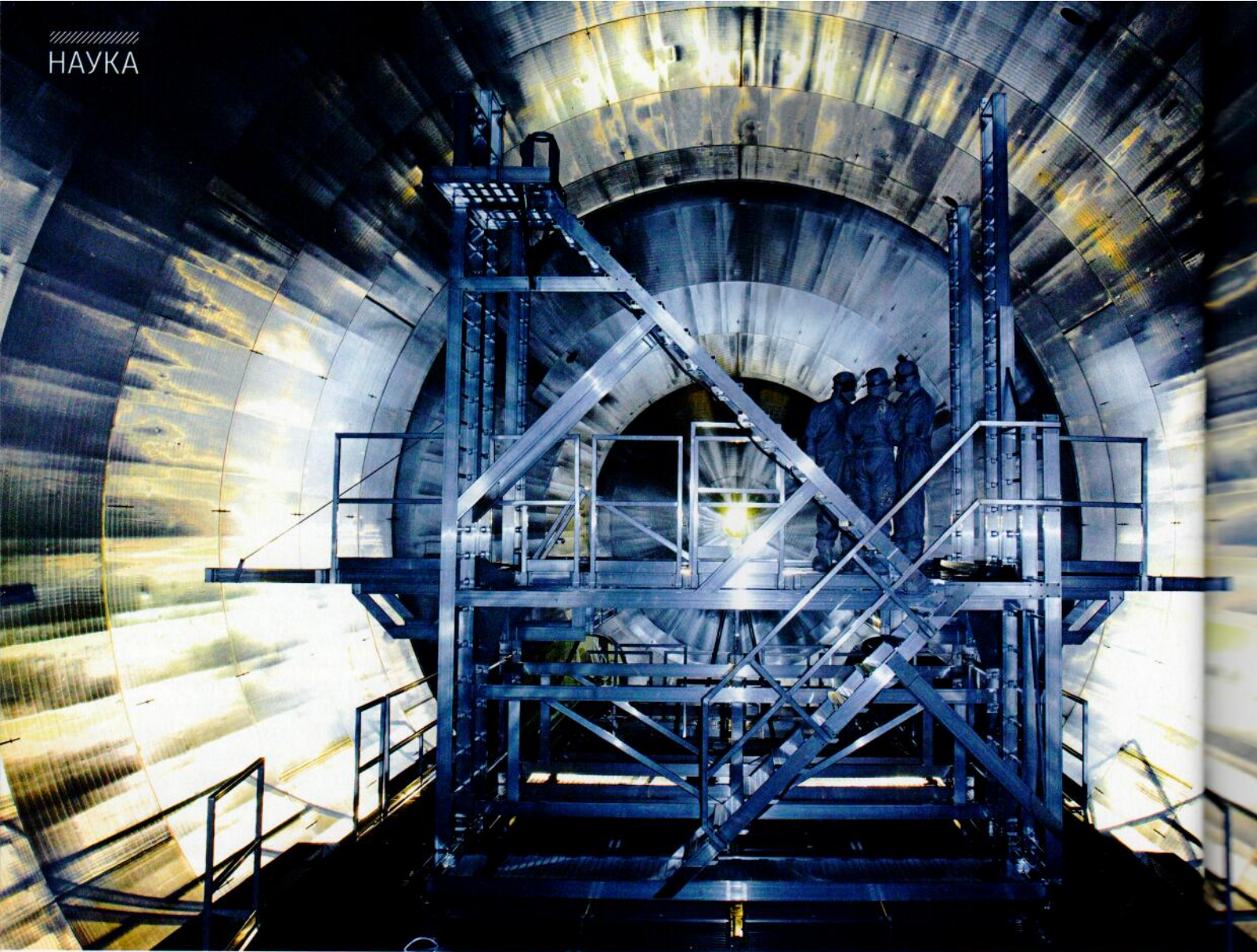
Нейтрино — ключ к замку, открывающему дверь в новый мир. Что это за мир, не знает никто. Но таинственная частица должна помочь нам найти ответ на величайшую загадку физики: почему мы существуем? Почему вообще мир представляет собой не ничто, а нечто?

Куда подевалась антиматерия? После Большого взрыва во Вселенной должно было образоваться поровну материи и антиматерии. Но при таком паритете никогда не возникли бы ни планеты, ни звезды, ни галактики.

В поисках разгадки теории ориентированы на идею гениального итальянского физика Этторе Майорана. Это он в 1932 году предположил, что нейтрино являются собственными античастицами. Если так оно и есть, то, по расчетам, в «горячей» началь- ►►







►►► ной фазе эволюции Вселенной существовали тяжелые нейтрино — собраты нынешних частиц. Сейчас от них не осталось и следа: когда космос остыл, тяжелые нейтрино распались на другие частицы материи и антиматерии. Но не в равной пропорции, а асимметрично. Материи, из которой состоит все, включая нас, стало больше.

Звучит не слишком убедительно. Похоже на попытку закрыть лауну в теории за счет еще одной гипотетической частицы. Но Манфред Линднер из Гейдельбергского института ядерной физики Общества Макса Планка считает эту идею очень продуктивной: «Все детали в ней безукоризненно сочетаются, тогда как во многих других теориях без натяжек и допущений не обойтись».

Дело за малым — подтвердить гипотезу экспериментально. Например, измерить детекторами безнейтринный двойной бета-распад.

Отдача была бы двойная. Благодаря этому удалось бы наконец рассчитать абсолютную массу нейтрино. Но если исследователи в гор-

ном массиве Гран-Сассо хотят быть первыми, им нужно спешить. Их коллеги в Карлсруэ тоже взялись за решение этого вопроса, избрав самый короткий путь.

### **Карлсруэ, Технологический институт, Северный кампус Весы для призрака**

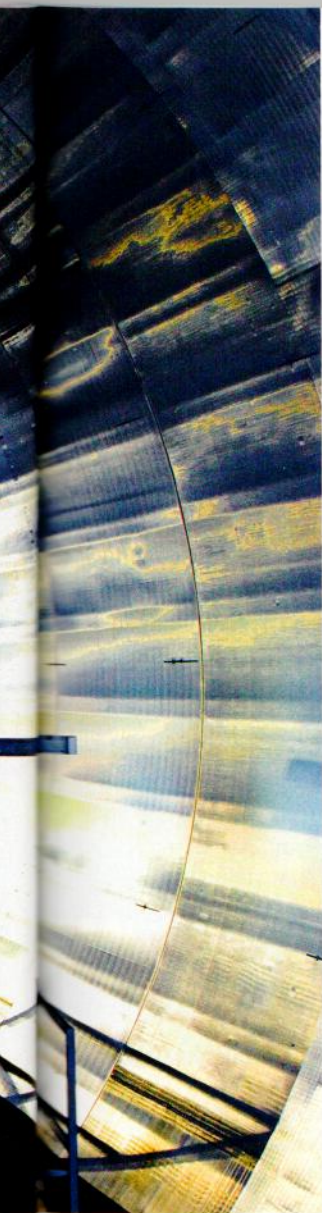
При входе в Блок 460 на территории Северного кампуса Технологического института в Карлсруэ перехватывает дыхание. Все пространство от стены до стены занимает серебристый аппарат в форме сигары — 24 метра в длину, десять метров в диаметре. У этого металлического колосса, который находится под высоким напряжением, есть имя — KATRIN («третий-нейтриновый эксперимент Карлсруэ»). Он должен помочь ученым измерить массу нейтрино в десять раз точнее, чем раньше.

Доставка этого гигантского аппарата в Карлсруэ из баварского Деггендорфа, где его

#### **KATRIN**

Скоро через этот стальной резервуар длиной 24 метра и диаметром десять метров полетят электроны. На экспериментальной установке KATRIN в немецком Карлсруэ физики планируют с беспрецедентной точностью измерить массу нейтрино. Для этого внутри металлической машины нужно вмонтировать тысячи высококачественных проводов. Во избежание загрязнения монтаж проводится в защитных костюмах





собрали, превратилась в целую эпопею. Он оказался слишком громоздким для перевозки по автобану или речным каналам. Поэтому аппарат переправили вниз по Дунаю до самого Черного моря. Там он прошел через Босфор и оказался уже в Средиземном море. Затем миновал Гибралтар и вдоль атлантического побережья доплыл до устья Рейна, где его перегрузили на понтон и отправили обратно на юг в немецкий Леопольдсхафен. Последний отрезок пути аппарат проделал уже по шоссе. В итоге вместо 400 километров напрямик получился крюк длиной более 9000 километров.

Масса нейтрино — тоже отдельная история. Эта элементарная частица весит намного меньше любой другой. Например, она в миллион раз легче электрона. Для человечества это большая удача. Будь нейтрино тяжелее, наша Вселенная была бы пустыней. Ведь они попросту унесли бы всю энергию из формирующихся галактик, и в космосе не образовалось бы вообще ничего.

Но для науки легкость нейтрино — большая проблема. Чтобы с ней справиться, требуются неимоверные усилия. И такие монстры, как KATRIN.

Как работает этот «космический» аппарат? На одном его конце происходит распад трития. Радиоактивный изотоп водорода с двумя дополнительными нейтронами в атомном ядре распадается на гелий. При этом каждый его атом испускает электрон и электронное антинейтрино.

«В типичной ситуации электрон и нейтрино получают равные доли энергии, высвободившейся при распаде», — объясняет физик Guido Drexlin, сотрудник Технологического института в Карлсруэ. Но в редчайших случаях у нейтрино остается лишь то минимальное количество энергии, которое, в соответствии со знаменитой формулой Эйнштейна  $E=mc^2$ , необходимо ему просто для существования, то есть для достижения «массы покоя». Оставшуюся высокую энергию уносит электрон в форме собственной массы и кинетической энергии, то есть ускорения. По энергии электрона и можно вычислить массу нейтрино.

Настолько непропорциональное распределение энергии при ядерном распаде — явление невероятно редкое. «То, что мы ищем, случается реже, чем два выигрыша в лотерею две недели подряд», — говорит Дрекслин. Чтобы эксперимент прошел удачно, детектор должен быть буквально переполнен мириадами электронов. Для этого ученые используют всего десять микрограммов трития. Мизерное количество, но его достаточно, чтобы выстреливать залпами по 100 миллиардов электронов в секунду.

Это можно сравнить со всемирной лотереей, в которой участвовали бы все жители нашей планеты. И день за днем отмечали бы крестиками цифры на билетах в расчете на то, что когда-нибудь один игрок наберет правильную комбинацию из шести цифр два раза подряд.

Но даже при таком количестве электронов на сбор данных, необходимых для определения массы нейтрино, уйдет целых пять лет. Дрекслин надеется зарегистрировать за это время пару сотен случаев непропорционального разделения заряда.

Эксперимент KATRIN интересен охотникам за нейтрино и по другой причине. Пока что физики не знают, как нейтрино приобретает массу. Другие элементарные частицы — электроны, кварки и мюоны — обязаны этим свойством знаменитому бозону Хиггса.

Откуда берется масса? Процесс ее возникновения можно сравнить с ходьбой по слякоти. Бозоны Хиггса — грязь, налипающая на ботинки. Чем ее больше, тем медленнее и тяжелее на подъем ходок. Но в случае нейтрино этот механизм не работает. На его «ботинки» ничего не налипает. Как еще можно обзавестись массой? Недостатка в гипотезах нет. «Человеческая способность выдумывать объяснения неистощима», — говорит Дрекслин.

Детектор KATRIN запустят в текущем году. Результаты измерений помогут отбраковать ошибочные гипотезы и приблизиться к истине. А она лежит за пределами стандартной модели. Охотники за нейтрино в этом практически уверены.

Возможно, за пределами доступной для восприятия реальности простираются дополнительные измерения. Пролетая через них, нейтрино так воздействуют друг на друга, что в нашем мире кажутся почти невесомыми. Или у нашего мира может быть собственный антимир — зеркальное отражение, в котором каждая элементарная частица имеет суперсимметричного двойника. И именно взаимодействие с ними придает нейтрино такую легкость.

Реальность может оказаться совсем другой. За долгие годы исследований физик Guido Drexlin твердо усвоил: «У нейтрино для нас всегда наготове сюрприз».

#### ЗА КАДРОМ



При въезде в подземную лабораторию Гран-Сассо редактор GEO **КЛАУС БАХМАНН** чувствовал себя героем фильма про Джеймса Бонда, который спасает мир от злодеев, спрятавшихся в подземных бункерах.

Около 5000 нейтрино в секунду излучает наш организм в процессе распада ядер калия



# Маленькая, да удаленькая

Ученые не оставляют попыток поймать неуловимые нейтрино. Знания о них не только могут кардинально изменить Стандартную модель физики, но и пригодятся в космологии, астрофизике и геологии



Сергей Троицкий, доктор физико-математических наук, главный научный сотрудник Института ядерных исследований Российской академии наук (ИЯИ РАН), член-корреспондент РАН

«**Рабочий объем у нового Баксанского нейтринного телескопа будет в десять раз больше, чем у «Борексино»**»

Сверхчувствительные детекторы нейтрино располагают глубоко под землей для защиты от продуктов взаимодействия космических частиц с атмосферой и от техногенных источников радиации. В Приэльбрусье, под горой Андырчи, работают уникальные установки Баксанской нейтринной обсерватории (БНО) Института ядерных исследований РАН. На одной из них впервые зарегистрированы нейтрино от цикла термоядерных реакций в центре Солнца.

Этим было доказано, что источником энергии Солнца является гигантский термоядерный реактор в его центре, и подтверждено, что в ближайшие десятки тысяч лет Солнце не погаснет. Сейчас в той же лаборатории в рамках галлий-германиевого эксперимента BEST начинается поиск загадочного стерильного нейтрино.

Чувствительность современных сцинтилляционных детекторов такова, что удаленность детекторов от атомных электростанций становится важным фактором, который влияет на точность нейтринных экспериментов. Сочетание удаленности с глубиной расположения под землей сделало БНО наибо-

лее подходящим местом в мире для создания Нового баксанского нейтринного телескопа. Его рабочий объем будет в десять раз больше, чем у «Борексино».

Это единственный из обсуждаемых в мире проектов, способный зарегистрировать нейтрино от реакций углеродного цикла в недрах Солнца. Тем самым разрешатся противоречия между современными теоретическими солнечными моделями и данными наблюдений.



Евгений Андронов, младший научный сотрудник СПбГУ, участник эксперимента NA61/SHINE в CERN, один из создателей «Цернач» — паблика ВКонтакте о физике элементарных частиц

«**Нейтрино важны для понимания эволюции звезд и образования Земли**»

Эксперименты по изучению осцилляций нейтрино и по измерению их массы могут пролить свет на то, как эти неуловимые частицы становятся весомыми.

Нейтрино важны для космологии, астрофизики и геологии. Большой взрыв, эволюция звезд, взрывы сверхновых, образование Земли — во всех этих процессах роль нейтрино колоссальна. Астрофизики могут обнаруживать нейтрино, рождающиеся в далеких галактиках, так как нейтрино преодолевают огромные расстояния, практически не отклоняясь от начальной траектории. С этим же свойством нейтрино связан интерес к передаче информации на далекие расстояния, в том числе передаче сообщений в космос. ■