

Моей матери Сириме с любовью и благодарностью

Ray Jayawardhana

NEUTRINO HUNTERS

The Thrilling Chase For
A Ghostly Particle To Unlock The
Secrets Of The Universe

SCIENTIFIC AMERICAN / FARRAR, STRAUS AND GIROUX
NEW YORK

Рэй Джаявардхана

ОХОТНИКИ ЗА НЕЙТРИНО

Захватывающая погоня
за призрачной элементарной
частицей

Перевод с английского



Династия



Москва 2015

УДК 539.123
ББК 22.386
Д40

Переводчик Олег Сивченко
Научный редактор Дмитрий Горбунов, д. ф.-м. н.
Редактор Антон Никольский

Джаявардхана Р.

Д40 Охотники за нейтрино: Захватывающая погоня за призрачной элементарной частицей / Рэй Джаявардхана ; Пер. с англ. — М.: Альпина нон-фикшн, 2015. — 254 с.

ISBN 978-5-91671-446-3

Эта книга — захватывающий триллер, где действующие лица — охотники-ученые и ускользающие нейтрино. Крошечные частички, которые мы называем нейтрино, дают ответ на глобальные вопросы: почему так сложно обнаружить антиматерию, как взрываются звезды, превращаясь в сверхновые, что происходило во Вселенной в первые секунды ее жизни и даже что происходит в недрах нашей планеты? Книга известного астрофизика Рэя Джаявардхана посвящена не только истории исследований нейтрино. Она увлекательно рассказывает о людях, которые раздвигают горизонты человеческих знаний. Читатель познакомится с проницательным теоретиком Вольфгангом Паули, беспокойным гением Этторе Майораном, преемником атомного века Энрико Ферми, самоотверженными Мари и Пьером Кюри, романтическим Бруно Понтекорво, который рискнул перебраться в СССР во времена холодной войны; узнает, почему в следующем десятилетии нейтрино изменит наши представления о физике, космологии и жизни на Земле.

УДК 539.123
ББК 22.386

Издание подготовлено при поддержке
Фонда Дмитрия Зимина «Династия»



Династия

Фонд некоммерческих программ «Династия» основан в 2002 году Дмитрием Борисовичем Зиминым, почетным президентом компании «Вымпелком».

Приоритетные направления деятельности Фонда — поддержка фундаментальной науки и образования в России, популяризация науки и просвещение.

«Библиотека Фонда «Династия» — проект Фонда по изданию современных научно-популярных книг, отобранных экспертами-учеными.

Книга, которую вы держите в руках, выпущена под эгидой этого проекта.

Более подробную информацию о Фонде «Династия» вы найдете по адресу www.dynastyfdn.ru.

Все права защищены. Никакая часть этой книги не может быть воспроизведена в какой бы то ни было форме и какими бы то ни было средствами, включая размещение в сети Интернет и в корпоративных сетях, а также запись в память ЭВМ для частного или публичного использования, без письменного разрешения владельца авторских прав. По вопросу организации доступа к электронной библиотеке издательства обращаться по адресу mylib@alpina.ru.

NEUTRINO HUNTERS: The Thrilling Chase for a Ghostly Particle
to Unlock the Secrets of the Universe by Ray Jayawardhana
Copyright © 2013 by Ray Jayawardhana
Published by arrangement with Scientific American, an imprint
of Farrar, Straus and Giroux, LLC, New York.

ISBN 978-5-91671-446-3 (рус.)
ISBN 978-0-374-22063-1 (англ.)

© Издание на русском языке, перевод, оформление.
ООО «Альпина нон-фикшн», 2015

СОДЕРЖАНИЕ

Глава 1	Охота начинается	9
Глава 2	Ужасный поступок	35
Глава 3	Погоня за призраком	61
Глава 4	Подземное солнце	83
Глава 5	Космические хамелеоны.....	107
Глава 6	Взрывающиеся звезды	127
Глава 7	Акты исчезновения	155
Глава 8	Семена революции.....	179
Благодарности		207
Глоссарий.....		211
Примечания.....		225
Предметный указатель		245

В науке самая частая фраза, предваряющая новые открытия, — не «Эврика!», а «Это странно...».

Айзек Азимов

ГЛАВА 1

ОХОТА НАЧИНАЕТСЯ

Норвежский премьер-министр Йенс Столтенберг стоял в красном пуховике под голубым небом на высоте 3000 м над уровнем моря. Вокруг расстилались ослепительно белые снега, столбик термометра опустился до отметки примерно -30°C . «Мы собрались здесь, чтобы отметить один из величайших подвигов в истории человечества!» — воскликнул Столтенберг, пытаясь перекрыть шум флагов, полощущихся на ветру, и скрип снега под зимними сапогами собравшихся, после чего торжественно открыл бюст изо льда на глазах у пары сотен сотрудников, гостей и туристов. Скульптура была установлена на колонне, доходившей человеку примерно до пояса.

«Вот этот герой!»

В ледяном изваянии угадывались черты легендарного соотечественника Столтенберга — Руаля Амундсена. Скромная церемония, состоявшаяся на южной макушке земного шара, ознаменовала столетие со дня открытия Южного полюса. 14 декабря 1911 г. Амундсен и четверо его соратников добрались до Южного полюса, совершив историческую экспедицию во славу молодой норвежской нации. Всего шестью годами ранее Норвегия обрела независимость, выйдя из состава Швеции. Амундсен и его люди, мчавшиеся к цели на собачьих упряжках, намеревались во что бы то ни стало оказаться на полюсе первыми и действительно почти на пять недель опередили трагически погибшую британскую экспедицию, которую вел за собой морской офицер Роберт Фолкон Скотт. Так нор-

вежцы совершили, бесспорно, одно из величайших географических открытий.

Ледяная пустыня, на чьих просторах в начале прошлого века развернулась яростная гонка между Амундсеном и Скоттом, когда ради престижа целых наций герои не щадили своей жизни, сегодня вновь сделалась полем жаркой борьбы для нового поколения исследователей. Правда, на этот раз ученые состязаются в области гораздо более тонких материй. Сегодня Антарктику покоряют отважные естествоиспытатели, жаждущие разгадать тайны жизни, нашей планеты и всей Вселенной. Каждое лето в Антарктиде трудятся более тысячи ученых и специалистов, помогающих проводить исследования. Геологи вырезают ледяные керны и отслеживают движения ледников, стремясь уловить развитие климатических изменений. Метеорологи запускают в небо наполненные гелием аэростаты, измеряя уровень озона в стратосфере и дополняя таким образом данные об озоновом слое, полученные космическими спутниками. Палеонтологи ищут окаменелости древних животных, исчезнувших в результате величайшего вымирания видов, которое произошло на Земле около 250 млн лет назад. Биологи исследуют сухие антарктические долины в поисках микроорганизмов, благодествующих в экстремальных условиях. В начале 2012 г. после многолетних бурильных работ российские ученые прошли двухкилометровую толщу льда и достигли поверхности древнейшего озера Восток. Этот первозданный резервуар подледной воды был скрыт от солнечного света и наружного воздуха на протяжении 20 млн лет. Ученые надеются найти в озере ранее не известные формы жизни.

Двумя годами ранее мне довелось не понаслышке узнать, каково жить и работать на льду. Я отправился в Антарктиду в составе научной экспедиции, занимавшейся сбором метеоритов. На военно-транспортном самолете мы прибыли из Новой Зеландии на станцию Мак-Мердо, где находится американский научно-исследовательский центр. Станция расположена на берегу Антарктиды, вблизи того места, где в 1902 г. высадился Скотт со своей экспедицией. Целую неделю мы потратили

на подготовку, тренировку, укладку снаряжения, а затем направились в сезонный базовый лагерь. Там мы погрузились в самолет Twin Otter на лыжном шасси и завершили последний этап нашего путешествия. Небольшая крылатая машина, которой управляли канадские пилоты «авиации труднодоступной местности», оставила нас на отдаленном ледяном поле всего в пяти градусах от Южного полюса. Нас было восемь человек — две женщины и шестеро мужчин. Мы установили на льду желтые остроконечные «скоттовские» палатки, где провели следующие пять недель на пробирающем до костей холоде. Мы были практически полностью отрезаны от мира, если не считать спутниковой телефонной связи. Время от времени нам сбрасывали с самолета припасы и почту. Стояло антарктическое лето. Солнце не заходило за горизонт, а лишь ежедневно описывало в небе полный круг, двигаясь против часовой стрелки. Вокруг не было ни малейших признаков жизни — ни людей, ни животных, ни растений.

День за днем, если только удавалось выдерживать ледяной ветер, мы выезжали из лагеря на снегоходах либо просто бродили по раскинувшемуся вокруг ледяному полю и по моренам у холмов, пытаясь разыскать камни, прилетевшие из космоса. Мы облачались в толстые красные пуховики, надевали термобелье, меховые унты, шеегрейки, перчатки, снегозащитные очки, баалаклавы и шапки. В ходе таких вылазок мы старались беречься от обморожений и не попадать в ледяные трещины. В Антарктиде ничего не стоит соскользнуть в расщелину и расшибиться об лед, твердый, как скала. Однажды я действительно свалился со снегохода и больно ушибся, но, к счастью, толстый пуховик смягчил удар. С другими членами нашей группы также случались подобные мелкие неприятности, но мы пережили холод, рутину и изоляцию без каких-либо серьезных проблем. На самом деле по-своему мы даже наслаждались суровой красотой этого края, самые величественные виды которого открывались с вершин холмов. Мы даже умудрялись как-то развлекаться. За время экспедиции нам удалось собрать около 900 метеоритов, которые сегодня исследуют ученые со всего мира, а мы в награду за эту работу

приобрели незабываемые впечатления. А еще мне запомнились изумительные императорские пингвины и пингвины Адели, которых мы незадолго до отъезда встретили недалеко от станции Мак-Мердо. Немного жалею о том, что так и не съездил на Южный полюс, хотя был совсем недалеко от него.

Исследования, которые ведутся в районе Южного полюса, можно смело сравнить с работами на другой планете. Вероятно, те ученые, которые сегодня там трудятся, полностью разделяют мнение Марселя Пруста, говорившего: «Подлинное открытие не в том, чтобы обнаружить новые земли, но в том, чтобы видеть мир новыми глазами». Один из самых интересных исследовательских приборов, установленных поблизости от Южного полюса, — устремленный в небо радиотелескоп диаметром 10 м. Он улавливает слабое остаточное свечение, еще сохраняющееся после Большого взрыва. Кейт Вандерлинде, мой коллега из Торонто, провел почти весь 2008 г. за обслуживанием этого телескопа. Кейт пережил в Антарктиде полярную ночь, которая на этой широте длится полгода, лютые морозы, когда столбик термометра падал до -73°C , а также невыносимое чувство изоляции, не говоря уже о снежных буранах и смертельной тоске. И все же самые необычные и новаторские научные приборы, установленные рядом с Южным полюсом, находятся глубоко под толщей льда. И направлены они не вверх, как телескопы, а вниз. Возведение — точнее говоря, закапывание — этих конструкций было завершено всего за год до того, как в мире отмечали столетие со дня подвига Амундсена. Прибывавшие высокопоставленные гости видели довольно прозаическую картину: обычный прямоугольный фургон-лабораторию на полозьях, напигированный проводами и компьютерами. Было практически невозможно догадаться, что же находится там, глубоко внизу. Однако ученые предусмотрительно установили на ледяном поле череду ярких флажков, которые красноречиво свидетельствовали о циклопических размерах лаборатории.

«Ледяной куб» — совершенно уникальная обсерватория. Глетчерный лед, толщина которого в этом месте более 2 км, на большой глубине становится совершенно прозрачным и не содержит

даже пузырьков воздуха — их вытесняет чудовищное давление. Вечный лед выполняет такую же функцию, как и главное зеркало обычного оптического телескопа. Вглубь льда вертикально уходят 86 длинных стальных тросов, на которых через равные промежутки навешено по 60 сфер размером примерно с баскетбольный мяч. В каждом из этих 5160 шаров находятся оптические датчики и электроника. Датчики — фотоэлектронные умножители (ФЭУ) — отдаленно напоминают обычные лампы накаливания, но действуют прямо противоположным образом: они собирают свет и преобразуют его в электрические сигналы. В лаборатории «Ледяной куб» эти датчики отслеживают в подземном льду слабые синие вспышки, которые иногда мерцают в кромешной тьме. Как только датчик фиксирует вспышку, он посылает сигнал на компьютер, расположенный в наземной лаборатории.

Эти голубые искры возникают, когда через лед проходят элементарные частицы — мюоны. Мюоны подобны электронам, но примерно в 200 раз массивнее их. Физики обрабатывают сигналы, поступающие от различных датчиков, и на основе этой информации могут построить траекторию мюона в трех измерениях. Однако исследователей интересуют не мюоны как таковые. Главная цель — нейтрино, гораздо более неуловимая и, пожалуй, самая парадоксальная из всех известных субатомных частиц. Эти призрачные частицы время от времени сталкиваются с протонами, находящимися в молекулах льда, «высекая» из протонов мюоны. Рождение мюона сопровождается голубой искрой, мюоны подсвечивают лед и выдают присутствие нейтрино. Поскольку новоиспеченный мюон пронизывает лед практически по той же траектории, по которой в эту глыбу попал таинственный нейтрино, ученые могут определить по следу мюона, откуда пришел нейтрино.

Нейтрино — это элементарные частицы. Они подобны электронам, которые роятся вокруг атомного ядра, или кваркам, из которых состоят протоны и нейтроны. Нейтрино — одни из фундаментальных первоэлементов материи, однако они свободно проникают в атомы и покидают их. Кроме того, в отличие

от многих других субатомных частиц, нейтрино не имеют электрического заряда, обладают ничтожной массой и практически не взаимодействуют с другими частицами. Если бы можно было создать свинцовый стержень длиной в один световой год¹, то типичный нейтрино мог бы пройти его из конца в конец, не задев ни одного атома. Именно в этом и заключается основная загвоздка, связанная с исследованием нейтрино: эти частицы, если можно так выразиться, патологически застенчивы. Они ни за что не желают взаимодействовать со своими собратьями, поэтому их так сложно отловить. Но время от времени нейтрино все-таки сталкиваются с другими частицами — например, с протоном из молекулы воды. Обычно это происходит случайно. Задача физиков — повысить вероятность такого столкновения и, следовательно, увеличить наши шансы увидеть нейтрино. Поэтому ученые конструируют огромные уловители этих частиц. Один из подобных комплексов — лаборатория «Ледяной куб».

Непосредственно наблюдать нейтрино невозможно, однако можно зафиксировать их присутствие по характерным следам, которые оставляют эти частицы. В тех редких случаях, когда нейтрино *все-таки* взаимодействуют с материей, они порождают заряженные частицы — например, мюоны. Такие частицы уже можно зарегистрировать при помощи физических приборов. Но отличить нейтринные сигналы от «фоновых шумов» — задача не из легких. Дело в том, что космические лучи — стремительные частицы, прилетающие из межзвездного пространства, — также порождают мюоны. Поэтому нейтрино просто тонут в потоке космических лучей.

Охотники за нейтрино устанавливают свои приборы глубоко под землей или под толстым слоем льда, чтобы в них не могли попасть мюоны, образовавшиеся под действием космических лучей. Как подметила Джанет Конрад, сотрудница Массачусетского технологического института, «если вы хотите расслышать шепот, то вокруг должна стоять полная тишина».

¹ Расстояние, которое свет проходит за один год, примерно 9,5 трлн км. — Прим. ред.

ЛАБОРАТОРИЯ «ЛЕДЯНОЙ КУБ»

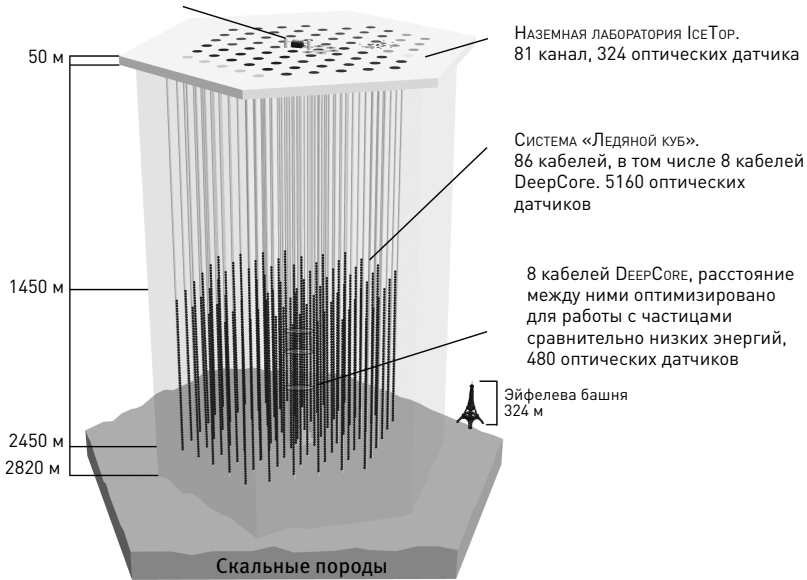


Схема нейтринной обсерватории «Ледяной куб»
(J. Yang/NSF)

Итак, поймать нейтрино нелегко, их можно назвать одними из самых интересных космических гостей. Нейтрино скрывают в себе тайны природы материи, детали звездных взрывов и даже могут рассказать о структуре самой Вселенной. Более того, физик-теоретик Борис Кайзер считает, что «если бы не было нейтрино — не было бы и нас». Кайзер работает в Национальной ускорительной лаборатории им. Энрико Ферми — Fermilab, расположенной недалеко от Чикаго. В этой лаборатории было поставлено несколько важных экспериментов, связанных с изучением нейтрино. Итак, вот что имеет в виду Кайзер:

«Энергия Солнца, от которой зависит вся жизнь на Земле, возникает в результате ядерных реакций. А реакции эти были бы невозможны без участия нейтрино». Более того, без нейтрино никогда не вспыхнули бы ядерные реакции более древних поколений звезд, а ведь именно они породили все сравнительно тяжелые химические элементы, на основе которых возникла

жизнь. «Соответственно, — резюмирует Кайзер, — чтобы познать сущность Вселенной, мы должны как следует изучить нейтрино».

К счастью, при всей своей неуловимости нейтрино весьма многочисленны. Фактически это самая распространенная элементарная частица во Вселенной. По оценке Хитоси Мураяма, сотрудника Токийского университета и Калифорнийского университета города Беркли, на каждый атом во Вселенной приходится миллиард нейтрино. Физик полагает, что «такое изобилие нейтрино свидетельствует о том, что они играют во Вселенной важную роль. Вклад нейтрино в энергетический баланс Вселенной сравним с аналогичным вкладом всех звезд». На самом деле около 100 трлн нейтрино, рожденных в ядерном пламени Солнца, успевают проскочить через человеческое тело всего за одни сутки. Иначе говоря, эти частицы непрерывно простреливают нас *днем и ночью*. Тем не менее они не только не причиняют нам ни малейшего вреда, но и не оставляют следов. За всю вашу жизнь даже один-единственный нейтрино вряд ли столкнется с атомом вашего тела. Нейтрино пролетают через толщу земных пород абсолютно беспрепятственно, как пули сквозь туман. Кроме того, нейтрино образуются и в недрах Земли в процессе распада радиоактивных элементов, а также возникают в верхних слоях атмосферы в результате взаимодействия заряженных космических частиц с атомами газов. Катастрофическая агония любой массивной звезды сопровождается грандиозными выбросами нейтрино. Нейтрино вырываются невредимыми из этого хаоса, а когда достигают Земли — сообщают нам о величественных небесных драмах, разворачивавшихся на расстоянии миллионов световых лет от нас. Наконец, сама наша планета буквально плывет в море космических нейтрино, сформировавшихся за какие-нибудь пару секунд после рождения Вселенной.

Стоит ли удивляться, что такие причудливые свойства вызвали живейший интерес к нейтрино в массовой культуре. Еще в 1960 г. Джон Апдайк написал восхитительное стихотворение «Космическая наглость» (Cosmic Gall), в котором расточал

комплименты неуловимым нейтрино. Это произведение было впервые опубликовано в журнале *The New Yorker*. Апдайк писал, что нейтрино пролетают через земной шар легче, чем пылинки через продуваемый сквозняками коридор, пронизывая Землю, как солнечный свет — оконное стекло¹. Канадская группа Klaatu, игравшая в жанре прогрессив-рок (ходили ложные слухи, что на самом деле под псевдонимом Klaatu записывались сами The Beatles), также упомянула неуловимость нейтрино в одной из песен, вошедших в альбом 1976 г. Наконец, эксцентричные персонажи «нейтрино» фигурируют в известном телевизионном мультсериале «Черепашки-ниндзя».

Неудивительно, что нейтрино упоминаются и в популярном сериале-ситкоме «Теория Большого взрыва» (*The Big Bang Theory*), двое из главных героев которого — физики. Научный консультант сериала — Дэвид Зальцберг из Калифорнийского университета Лос-Анджелеса — сам является физиком и, в частности, работает с нейтринными телескопами. В сериале есть такая сцена: Шелдон Купер, один из главных героев, у себя в кабинете ломает голову над уравнениями, записанными на доске; тут входят Леонард Хофштадтер — коллега Купера, вместе с которым они живут в одной комнате, а также их общий друг, инженер Говард Воловиц. Шелдон восклицает: «Вот ты где, мой пропавший нейтрино! Скрывался от меня, как несбалансированный заряд, верно? Ах ты, маленький субатомный чертенок!» Пропустив мимо ушей дружеские приветствия, он продолжает: «Смотрите, я нашел мой потерянный нейтрино!» Говард сухо отвечает: «Отлично, теперь мы можем убрать надпись “Разыскивается” с пакетов молока».

Нейтрино фигурируют во многих научно-фантастических произведениях. Как правило, по их вине случаются странные

¹ Замечательный перевод этого стихотворения на русский язык был опубликован в февральском номере журнала «Наука и жизнь» за 2000 г. Многие метафоры в нем значительно изменились по сравнению с оригиналом, однако упоминаемый здесь пассаж переведен довольно точно (пер. И. Варденги):

Для них — пустой надутый шарик / Триллионнотонный шар / земной. / Ничто не сдвинув и / не тронув, / Они проходят сквозь него — / Так сквозь стекло скользят / фотоны, / Так пыль проносит / сквозняком. — *Прим. пер.*

события или возникают катаклизмы. Например, в романе Роберта Сойера «Вспомни, что будет»¹ (Flashforward) рассказывается о выбросе нейтрино умирающей звездой. Все люди, подвергшиеся действию нейтринного вихря, ненадолго теряют сознание и словно во сне переживают события, которые произойдут примерно через 21 год. В романе Грега Бира «Основание и хаос» (Foundation and Chaos) сильнейшая нейтринная буря стирает из памяти роботов те правила, которым они должны следовать (что-то вроде «Законов робототехники» Айзека Азимова). В результате на Земле воцаряется хаос. Не так давно вышел голливудский фильм-катастрофа «2012» режиссера Роланда Эммериха, сюжет которого опять же завязан на необычных свойствах, приписываемых нейтрино: якобы эти частицы перегревают земное ядро, что вызывает катастрофические землетрясения и наводнения.

Несмотря на популярность нейтрино в массовой культуре, реальные научные исследования, связанные с этими частицами, долго не привлекали внимания широкой общественности, обсуждаясь исключительно в кругах профессиональных физиков. Ситуация изменилась совсем недавно — термин «нейтрино» попал в заголовки прессы, поскольку была выдвинута гипотеза, что эти частицы, возможно, движутся со сверхсветовой скоростью. Как известно, Альберт Эйнштейн еще в 1905 г. обосновал, что, согласно законам физики, ничто во Вселенной не может превысить скорость света. Крупная международная коллаборация физиков, называемая OPERA², озвучила этот поразительный вывод в исследовательской статье, которая была опубликована в Интернете, а также представлена на пресс-конференции, состоявшейся в конце сентября 2011 г. По данным ученых, частицы преодолели со сверхсветовой скоростью расстояние между Лабораторией изучения физики частиц Европейской организации ядерных исследований (CERN), расположенной в Женеве, Швейцария, и подземным детектором, установленным

¹ Сойер Р. Вспомни, что будет. — М.: Эксмо, 2010.

² Аббревиатура от сложного названия, означающего в переводе с английского «Поиск осцилляций нейтрино при помощи эмульсионного детектора». — *Прим. пер.*

в местечке Гран-Сассо на территории Италии. Нейтрино проделали этот путь на 60 наносекунд быстрее, чем если бы двигались со скоростью света.

Несмотря на то, что докладчик OPERA рассказал об этом результате в очень осторожных выражениях, и, невзирая на скептическую реакцию большинства специалистов по нейтрино, новость мгновенно облетела весь мир. Пожалуй, такой ажиотаж был неудивителен, учитывая, какой переворот в науке могло совершить подобное открытие. Если бы оно подтвердилось, то сразу же опровергло бы эйнштейновскую Специальную теорию относительности — краеугольный камень современной физики. В статье журнала *Time*, посвященной этому событию, отмечалось: «Если результаты эксперимента европейцев верны, Эйнштейн был не просто не прав, а ошибался бы в корне». Большинство физиков и журналистов подчеркивали, что ошеломляющие выводы эксперимента требуют более детального исследования и независимой проверки. «Если этот результат подтвердится, он изменит весь мир, — говорилось в статье *The New York Times*, — но речь идет о колоссальном “Если”».

Однако все эти перестраховочные выражения померкли на фоне бурных спекуляций о путешествиях со сверхсветовой скоростью и грандиозных перспективах новой физики. Повсюду зазвучали шутки о нейтрино и о том, как эти частицы связаны с путешествиями во времени. Некоторые остряки заявляли, что в Швейцарии нейтрино вели себя законопослушно, но, стоило им пересечь границу Италии, как они сразу же преодолели световой барьер. В сериале «Теория Большого взрыва» Шелдон Купер пытается оживить беседу за обедом и предлагает обсудить тему: «Движущиеся быстрее света частицы CERN — будоражащее открытие или очередное швейцарское творение, такое же дырявое, как их сыр?» Ирландская фолк-группа Corrigán Brothers, выступавшая, кстати, в 2009 г. на инаугурации президента Барака Обамы, выложила на YouTube свою песню, исполненную совместно с Питером Крейтоном. В этой композиции музыканты задавались вопросом: остается ли верным уравне-

ние $E = mc^2$, если нейтрино могут двигаться со сверхсветовой скоростью? Правда, в финале песни музыканты предостерегают слушателей от поспешных выводов и предполагают, что, возможно, Эйнштейн все-таки был прав насчет непреодолимости скорости света.

Некоторые ученые пытались найти этому результату объяснение, которое не отменяло бы предельности светового барьера. Физики-теоретики предположили, что швейцарские нейтрино могли проникнуть в Италию через какое-то скрытое измерение, как в сериале «Звездный путь», уменьшив таким образом расстояние, которое требовалось покрыть. Предлагалось и иное объяснение, связанное с искривлением пространства-времени поблизости от Земли. Многие критики указывали на то, что в эксперименте могли быть попросту допущены ошибки. Физики Эндрю Коэн и Шелдон Глэшоу из Бостонского университета указали на серьезную теоретическую нестыковку: если бы поток нейтрино двигался со сверхсветовой скоростью, он бы порождал массу других элементарных частиц и, следовательно, стремительно терял бы энергию. Таким образом, к моменту прибытия в Гран-Сассо в этом потоке должны были бы отсутствовать нейтрино высоких энергий, чего в реальности не наблюдалось. Тем временем в середине ноября коллаборация OPERA провела второй, более точный замер скорости, который еще раз подтвердил поразительный результат эксперимента.

Спустя три месяца CERN выпустил краткое, но критически важное уточнение. В нем среди прочего сообщалось: «Участники коллаборации OPERA проинформировали своих партнеров о том, что им удалось обнаружить два эффекта, которые могли повлиять на изменение скорости нейтрино. Причем эти эффекты могли привести как к переоценке, так и к недооценке скорости». Первый возможный эффект связан с генератором импульсов, который использовался для получения точных сигналов времени в системе синхронизации GPS и мог зависеть время полета нейтрино. Второй эффект связан с разъемом волоконно-оптического кабеля, по которому передавался внешний сигнал

системы GPS к главным часам эксперимента. Этот разъем мог быть неправильно подсоединен во время проведения измерений и вызвать занижение времени полета нейтрино. В большинстве статей в СМИ, а также в комментариях по этому поводу именно вторая версия трактовалась как наиболее вероятная. В газете *The Wall Street Journal* отмечалось, что эта ошибка может быть чревата «удручающими последствиями» для допустивших ее исследователей. 16 марта 2012 г. опыт с нейтрино был повторно поставлен другой группой физиков, которые также установили свой детектор ICARUS в районе Гран-Сассо. Они опубликовали новые данные о полете нейтрино из CERN в Гран-Сассо; на этот раз измеренная скорость частиц не превышала скорость света. «Новые данные указывают на то, что результат, полученный коллаборацией OPERA, был обусловлен дефектом измерительного оборудования», — заявил Серджио Бертоллуччи, директор по исследованиям CERN.

Пусть в итоге и оказалось, что нейтрино не движутся быстрее света, эти частицы уже поведали нам массу интересного о причудах субатомного мира и даже позволили заглянуть в пылающие солнечные недра. Кроме того, без нейтрино невозможно было бы сконструировать ни атомную бомбу, ни ядерный реактор. Именно нейтрино стали «первыми ласточками», по которым ученые узнали о драматической кончине массивной разбухшей звезды, взорвавшейся на расстоянии 160 000 световых лет от нас в галактике Большое магелланово облако (БМО). БМО — это галактика-спутник Млечного Пути, большой спиральной галактики, в которой обитаем мы. БМО можно наблюдать в небе Южного полушария в виде тусклого мутного пятнышка. Три подземных детектора, установленные в России, США и Японии, уловили около двух десятков нейтрино, образовавшихся при этом взрыве. Это ничтожная доля от миллиардов миллиардов этих частиц, пронизавших нашу планету в ходе краткого нейтринного всплеска, который пришелся на 23 февраля 1987 г. Нейтрино были пойманы всего через несколько часов после того, как в высокогорной чилийской обсерватории удалось наблюдать взрыв этой сверхновой в видимом спектре.

За прошедшие годы тема нейтрино привлекала внимание самых выдающихся умов и неординарных личностей из мира теоретической физики. Среди наиболее крупных ученых, интересовавшихся этими частицами, был остроумный интеллектуал Вольфганг Паули, подчеркивавший на примере нейтрино, что современная физика переживает кризис. Был мятежный гений Этторе Майорана, строивший теории о «зеркальных близнецах» нейтрино; в возрасте 32 лет Майорана пропал без вести. Был убежденный социалист Бруно Понтекорво, указавший на возможность перехода одного типа нейтрино в другой; после войны Понтекорво эмигрировал в СССР, спровоцировав крупный скандал времен холодной войны. Некоторые охотники за нейтрино ставили эксперименты глубоко под землей, стремясь заглянуть в недра Солнца, другие устанавливали нейтринные ловушки рядом с мощными ядерными реакторами, чтобы зафиксировать, как нейтрино переходят из одной формы в другую. За последние два десятилетия страсть к нейтрино завладела многими и многими учеными, которые присоединились к этому увлекательному поиску.

Дело в том, что золотые времена охотников за нейтрино еще впереди. Возможно, эти призрачные частицы помогут нам раскрыть величайшие секреты Вселенной, подскажут, откуда берутся загадочные космические лучи, каждую секунду бомбардирующие Землю. Современные астрономы вынуждены работать только в видимом, радиоволновом и рентгеновском спектре электромагнитного излучения далеких небесных тел. Для них нейтрино буквально проливают свет на самые бурные природные явления. Во многом именно нейтрино вызывают грандиозные взрывы сверхновых. Некоторые ученые предполагают, что так называемая «темная материя», которая составляет около четверти всей массы Вселенной, но никак себя не обнаруживает за исключением гравитационного воздействия на видимые галактики, вполне может состоять из разнообразнейших видов нейтрино. В настоящее время микроволновые телескопы позволяют измерить едва заметное свечение, сохранившееся с момента Большого взрыва. Следы первозданных нейтрино позво-

ляют лучше понять условия, которые сложились во Вселенной практически сразу после ее рождения.

Более того, возможно, что именно благодаря нейтрино во Вселенной вообще есть материя — то есть мы обязаны этим частицам самим своим существованием. Сразу после Большого взрыва высвободилось огромное количество энергии и стали во множестве возникать элементарные частицы и парные им античастицы. На тот момент плотность космического вещества была так высока, что эти пары должны были мгновенно образовываться и почти сразу же аннигилировать, оставляя после себя целое море излучения. Неминуемая катастрофа не наступила, поскольку материи во Вселенной образовалось чуть больше, чем антиматерии. Физики ломают голову над тем, почему возникла такая асимметрия. Одно из вероятных объяснений таково: в первозданной Вселенной сверхтяжелые элементарные аналоги нейтрино распадались таким образом, что на каждый миллиард пар «частица — античастица» приходилась одна избыточная частица — то есть вещество преобладало над антивеществом. Сегодня, измеряя едва уловимые свойства легких нейтрино, мы пытаемся определить, насколько реалистичен такой сценарий и действительно ли он мог обусловить столь крохотный перевес материи над антиматерией. Борис Кайзер подчеркивает: «Опять же, если бы не нейтрино, нас бы, наверное, просто не существовало».

Захватывающе, хотя и страшно, рассуждать о перспективах физики, выходящей за пределы так называемой «Стандартной модели». Стандартная модель, сформулированная в начале 1970-х, описывает около двух десятков элементарных частиц и соответствующих им парных античастиц, три типа взаимодействий между ними, а также симметрию, определяющую эти взаимодействия. Это самое лучшее описание субатомного мира, которое на сегодняшний день у нас есть. За прошедшие десятилетия были проведены бесчисленные эксперименты, подтвердившие прогнозы Стандартной модели и ее исключительную точность. Сегодня в CERN работает Большой адронный коллайдер (БАК), уже ставший легендарным. Этот гигантский ускоритель частиц — самая мощная и дорогая научная машина современности — был

сконструирован за немислимую сумму \$9 млрд практически с единственной целью: отловить последнюю недостающую частицу, которая подтвердила бы полноту Стандартной модели. В БАК действительно удалось получить бозон Хиггса — ранее гипотетическую частицу, благодаря которой, согласно Стандартной модели, все остальные элементарные частицы обладают массой¹. Стандартная модель, однако, предполагает, что нейтрино не имеют массы, существуют в трех разновидностях (так называемых «ароматах») и не могут менять форму. Тем не менее уже известно, что нейтрино обладают массой (пусть крошечной, но не нулевой), а также способны плавно менять аромат. Изящная структура Стандартной модели дала трещину. Если удастся доказать, что на самом деле существует более трех ароматов нейтрино — а некоторые данные уже позволяют сделать такое предположение, — то будут потрясены самые основы современной физики. Вот что говорит об этом Кейт Скулберг из Университета Дюка: «Мы стоим на пороге открытия новой физической картины мира. Нам уже не терпится познакомиться с ее сюрпризами». Она отмечает, что «нейтрино открывают перед нами целый комплекс новых феноменов, которые мы можем исследовать для более точного понимания природы Вселенной».

Нейтрино играют ведущую роль во множестве событий, которые сегодня разворачиваются в физике, космологии, астрономии. Неудивительно, что ученые не покладая рук охотятся за этими крошечными частицами. За последние 20 лет в разных уголках земного шара были поставлены нетривиальные эксперименты, связанные с изучением нейтрино. Охота на нейтрино разыгрывалась и в глубокой никелевой шахте в провинции Онтарио, и в туннеле, насквозь пронизывающем горный массив в центральной Италии, и на свалке ядерных отходов в штате Нью-Мексико, и в бухте Южно-Китайского моря.

Самой неординарной ловушкой для нейтрино остается комплекс «Ледяной куб» — крупнейший в мире нейтринный те-

¹ В 2013 г. была присуждена Нобелевская премия ученым Питеру Хиггсу и Франсуа Энглеру, более полувека назад предсказавшим существование этой частицы. — *Прим. ред.*

лескоп, на строительство которого было потрачено около \$270 млн. Запуск обсерватории воплотил мечты, которые всю жизнь лелеял талантливый ученый Френсис Хальцен, вставший во главе этого проекта.

Хальцен вырос в Бельгии и в молодости мечтал стать школьным учителем. Однако в университете он всерьез увлекся физикой и полностью посвятил себя науке. Проработав несколько лет в CERN, Хальцен перебрался в Висконсинский университет Мэдисона, где около 40 лет занимал должность профессора. Занимаясь теоретической физикой, Хальцен сначала исследовал некоторые проблемы квантовой механики, но в середине 1980-х заинтересовался нейтрино. О том, что в Антарктике все активнее ведутся исследования, связанные с нейтрино, Хальцену поведали коллеги из Канзасского университета, когда он выступал там с лекцией. Хальцен узнал, что советские ученые, работающие на одной из полярных станций, пытаются фиксировать электрические вспышки, возникающие в результате столкновения космических нейтрино с полярным льдом; для чего используют радиоантенны. Хальцен счел подобный эксперимент очень интересным и, заручившись помощью двоих сотрудников, взялся рассчитать, насколько сильными могут быть такие сигналы. Результаты оказались неутешительными: выяснилось, что радиоимпульсы от большинства таких «толчков» слишком слабы, чтобы их зафиксировать. Группа Хальцена пришла к выводу, что советские эксперименты обречены на провал. Они решили, что скорее имеет смысл фиксировать вспышки света во льду, свидетельствующие о пролете нейтрино. Сам же Хальцен был убежден, что если разместить систему светочувствительных датчиков в толще антарктического льда, то такая установка будет отлично улавливать нейтрино, прилетающие из глубин космоса.

Хальцен загорелся идеей соорудить в Антарктиде совершенно новый нейтринный телескоп. Он связался по электронной почте с несколькими коллегами-физиками и поинтересовался, что они думают о подобном проекте. Среди тех, кто получил письмо Хальцена, был и Джон Лирнид, сотрудник Гавайского университета. Лирнид происходит из старинного но-

воанглийского рода, среди его предков был, в частности, один из генералов, участвовавших в Войне за независимость США. Детство Лирнида прошло на острове Статен-Айленд близ Нью-Йорка, лето он проводил на севере штата Нью-Йорк, у бабушки и дедушки. Как вспоминает сам Лирнид, ему нравилось чувствовать себя чужаком в обоих этих мирах: «В деревне меня считали городским, в городе — деревенским». В старших классах Джон трудился в школьной газете, а также работал на метеорологической станции, установленной прямо на крыше школы. Лирнид вспоминает, как однажды вызвался организовать передвижную естественно-научную выставку, «потому что это была отличная отмазка, чтобы не сидеть в классе». Позже, будучи студентом Бруклинской средней технической школы, Лирнид посещал множество практических курсов, которые помогли ему поднатореть в экспериментальной физике. Он продолжил обучение в аспирантуре Вашингтонского университета, где исследовал перспективы изучения в подводных установках космических лучей и составляющих их частиц. Лирнид сконструировал баркас, поставил его на якорь посреди озера Челан и погрузил детекторы частиц в глубокую чистую воду.

Окончив аспирантуру, он стал работать на исследовательской станции Эхо-Лейк в Скалистых горах, на территории штата Колорадо. Там он жил в деревянной хижине с женой и двумя детьми. Именно в этот период Лирнид серьезно заинтересовался нейтрино, а позже перебрался на Гавайи — там ученый надеялся развернуть огромную решетку подводных нейтринных ловушек прямо в тихоокеанских водах. Гавайские острова имеют вулканическое происхождение, поэтому океан здесь очень глубокий. Учитывая интересы и опыт Лирнида, неудивительно, что Хальцен решил проконсультироваться с ним насчет установки нейтринных датчиков в толще вековых антарктических ледников.

Коллеги обсудили достоинства хэлзеновского проекта. «Лирнид сразу же оценил потенциальные преимущества антарктического нейтринного телескопа», — свидетельствует Хальцен. Судите сами: полярный лед чистый, стабильный, стерильный, не пропускает свет, в нем не живут биолюминесцентные орга-

низмы, которые могли бы испортить эксперимент своими «световыми помехами». Наконец, во льду нет морской соли, а значит — и элементов, испускающих радиоактивное излучение в процессе распада (эти лучи легко спутать со следами нейтрино). Не менее важен был тот факт, что Национальный научный фонд США (NSF) уже имел исследовательскую базу в районе Южного полюса, поэтому мог оказать необходимую логистическую поддержку. Хальцен, воодушевившись энтузиазмом Лирнида и его помощью в моделировании детекторов, объявил об их общем проекте на конференции, состоявшейся в Польше, а также подробно описал будущую лабораторию в статье, вышедшей в 1987 г. Правда, на этом он и остановился, так как, будучи теоретиком, не имел опыта реализации таких масштабных экспериментов и не решался браться за столь титаническую задачу.

Хальцен вспоминает об одном телефонном разговоре, который состоялся примерно через год после этих событий: ему позвонил взбешенный чиновник из Национального научного центра. Клерк пожаловался, что двое молодых физиков, работавших в Калифорнийском университете города Беркли, пытались провезти в Антарктиду целую связку ФЭУ и вставить их в ледяную скважину, не имея на это официального разрешения. Чиновник спросил Хальцена, не он ли вбил парням в голову «эту безумную идею». Хальцен заверил собеседника, что слыхом не слыхивал о двоих физиках из Беркли, которые, очевидно, побывали в Польше на конференции, где Хальцен и Лирнид обсуждали свой проект.

Позже Хальцен вышел на контакт с группой коллег из Беркли, чтобы вплотную приступить к реализации идеи. Сначала ученые проверили ее осуществимость, опустив 200-метровый трос с тремя ФЭУ в скважину, пробуренную гляциологами во льду Гренландии. Затем они приступили к работе над пилотным проектом AMANDA¹, профинансированным NSF. Работа развернулась в 1992 г., когда в Южном полушарии стояло лето. Физики позаимствовали технологию, которой пользуются при сверлении льда ученые-гляциологи: из бура, как из огромного душа, под давле-

¹ AMANDA расшифровывается как «антарктический детектор мюонов и нейтрино». — *Прим пер.*

нием подается горячая вода, растапливающая лед и упрощающая тем самым бурение. Скважина не замерзает несколько дней; этого времени достаточно, чтобы опустить в нее кабель с датчиками.

В сочельник 1993 г. исследователи погрузили в лед первую партию ФЭУ. В этот вечер Хальцен был в Бельгии, встречал Рождество в семейном кругу. Как теоретик он не был обязан присутствовать на месте работ. Правда, и для Хальцена в этот вечер решалось очень многое; во время праздничного ужина он частенько поглядывал на экран ноутбука, проверяя, не пришло ли ему новое электронное письмо с Южного полюса. Позже Хальцен писал: «Достаточно сложно жить не отрываясь от телефона, постоянно связываясь с коллегами, работающими на другом конце света. Но если сознаешь, что ты — член большой команды, вместе с которой участвуешь в невероятном приключении, знаешь, что твои спонсоры и коллеги с нетерпением ожидают результата, а ты сам абсолютно не властен как-то повлиять на этот результат — то сложно придумать более изощренную пытку». Как только к столу подали десерт, Хальцену пришло сообщение о том, что установка успешно запущена.

Ликовать коллегам пришлось недолго, так как они почти сразу же столкнулись с неожиданными проблемами. В частности, ФЭУ регистрировали слишком много голубых вспышек от мюонов, порождаемых космическими лучами. Исследователи полагали, что под 800-метровый слой льда, где установлены датчики, не должны проникать мюоны, порождаемые космическими лучами. Те немногие мюоны, которые они рассчитывали зафиксировать на такой глубине, явно должны были высекаться нейтрино, приходящими снизу, с другой стороны Земли. На практике все оказалось иначе; по словам Хальцена, система регистрировала «какую-то бессмысленную мешанину». Но труднее всего оказалось справиться с пузырьками воздуха, заключенными в толще льда; они рассеивали нейтринные вспышки, из-за чего выявить сами частицы становилось гораздо сложнее. Оказалось, что на такой глубине пузырьков еще очень много, причем они были примерно в 50 раз крупнее, чем предполагалось в теории. Поэтому основной проект был отложен, а команда

принялась продумывать необходимые доработки. Было принято решение бурить *еще глубже*, опуская датчики на полторы-две тысячи метров в толщу льда. На таких глубинах голубые вспышки, означающие встречу с нейтрино, должны были бы просматриваться лучше, поскольку высокое давление гарантированно вытесняло бы из этой толщи льда почти все пузырьки воздуха.

Эксперимент AMANDA продлился около 10 лет — с того момента, как была пробурена первая скважина и до окончательного закрытия. Тем временем Лирнид и коллеги после многолетних усилий отказались от проекта подводной нейтринной установки у гавайских берегов, поскольку столкнулись с серьезными техническими проблемами. Хальцен и его группа узнали много нового и о свойствах антарктического льда, и о способах обнаружения нейтрино. Опираясь на приобретенный опыт, команда приступила к созданию «Ледяного куба». Эта обсерватория должна была стать в 100 раз крупнее, чем ее предтеча — телескоп AMANDA. Строительство «Ледяного куба» началось в 2005 г.

«Ледяной куб» — чудо инженерной мысли, возведенный в экстремальных условиях. Как и AMANDA, этот антарктический проект приходилось полностью обеспечивать с Большой земли. Речь шла не только о запчастях, бурильном оборудовании, обслуживающем персонале, но и о доставке провианта и топлива. Для подвоза всего этого оснащения использовались грузовые самолеты Hercules C-130 на лыжном шасси. На последнем этапе пути — от станции Мак-Мердо на побережье Антарктики до Южного полюса (это расстояние составляет около 1500 км) — самолетами управляли пилоты ВВС США. Инженеры использовали специально изготовленный для проекта бур высокого давления. Из концевника этого бура под напором подавалась горячая вода, такая установка должна была просверлить лед на глубину более 2 км. Потребовалось два дня непрерывной эксплуатации и более 18 000 л бензина, чтобы пробурить одну скважину, растопив почти 760 000 л льда. Когда ледяная шахта была готова, в нее аккуратно опустили стальной кабель с датчиками. Так, скважина за скважиной, сезон за сезоном, была «возведена» об-

серватория «Ледяной куб». Работы проводились в период с ноября по февраль — в эти месяцы в Антарктиде наступает лето, солнце круглые сутки не заходит за горизонт и стоит сравнительно теплая погода.

Хальцен признается, что испытал «огромное облегчение», когда работы были завершены в декабре 2010 г. «Теперь, когда «Ледяной куб» готов, мы начинаем забывать, насколько рискованной и нетривиальной была эта затея. Я даже составил список всех этапов, на которых мне казалось, что проект вот-вот сорвется», — добавляет он. Работа велась на лютном холоде, на большой высоте (свыше 3000 м над уровнем моря) и в ужасающей изоляции — в таких условиях все риски чрезвычайно возрастали. Однажды в ходе строительства рабочий нечаянно ухватился за шланг, свешивающийся с бурильной вышки, и упал спиной на монолитный лед, когда этот шланг взмыл вверх. Пострадавшего потребовалось срочно доставить в Новую Зеландию для экстренного лечения, на полное восстановление потребовалось более месяца.



Стальной кабель опускается в толщу антарктического льда
(M. Krasberg/NSF)