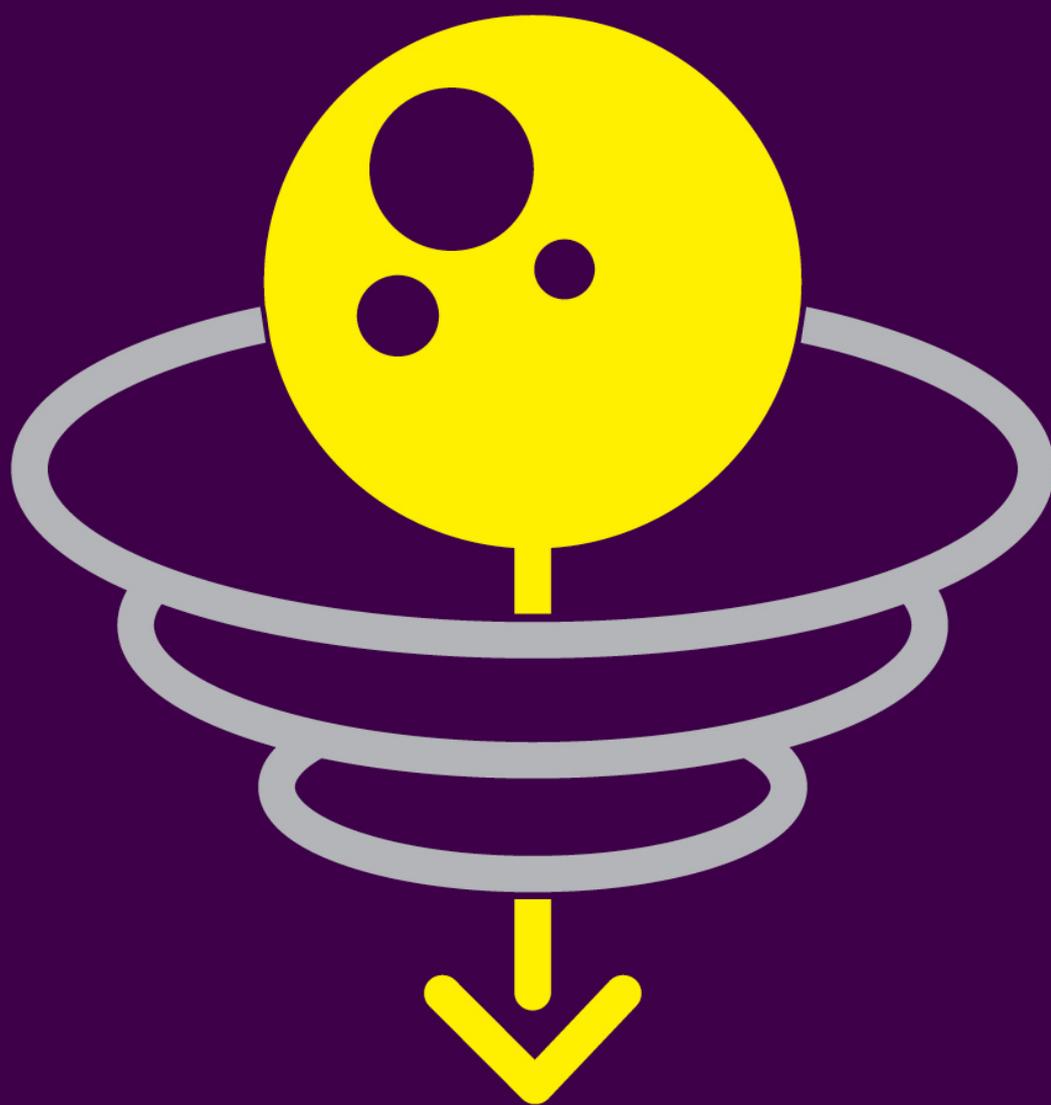


**МАРК  
БОУЭН**



**ТЕЛЕСКОП  
ВО ЛЬДАХ**

**Как на Южном полюсе  
рождались новая астрономия**

Наука: открытия и первооткрыватели

Марк Боуэн

**Телескоп во льдах.  
Как на Южном полюсе  
рождались новая астрономия**

«Издательство АСТ»

2017

УДК 520.2  
ББК 22.6с

## **Боуэн М.**

Телескоп во льдах. Как на Южном полюсе рождалась новая астрономия / М. Боуэн — «Издательство АСТ», 2017 — (Наука: открытия и первооткрыватели)

ISBN 978-5-17-110837-3

Летом 2018 года стало известно о важнейшем открытии: антарктический телескоп «Ледяной куб» зарегистрировал нейтрино высокой энергии – то есть частицу, возникшую не в атмосфере Земли, а прилетевшую, скорее всего, из дальнего космоса. Нейтрино многое могут рассказать об устройстве Вселенной, но эти частицы крайне трудно поймать. Именно для решения этой задачи на Южном полюсе в течение нескольких десятилетий строился грандиозный нейтринный телескоп: в чистейшем антарктическом льду на глубине полутора-двух километров повисли нити с чувствительными детекторами; это настоящее чудо современных технологий и один из самых грандиозных научных проектов в истории. История эпической стройки, полная прорывов и неудач, показана в контексте бурного развития физики частиц в XX столетии.

УДК 520.2

ББК 22.6с

ISBN 978-5-17-110837-3

© Боуэн М., 2017

© Издательство АСТ, 2017

# Содержание

Вступление	6
Часть I	17
Глава 1	17
Глава 2	33
Глава 3	43
Часть II	55
Глава 4	55
Глава 5	71
Глава 6	81
Конец ознакомительного фрагмента.	84

# Марк Боуэн

## Телескоп во льдах. Как на Южном полюсе рождалась новая астрономия

*Памяти Брюса Коси и Пера Олофа Хульта*

*Охотно верится, что свойств невидимых, кроющихся в природе вещей, более, чем видимых. Однако кто в состоянии раскрыть перед нами весь мир этих свойств, во всей их совокупности? Кто в состоянии выяснить степень важности, их сходства и различия, роль каждого из них? Каковы их функции, где их место – вот вопросы, вокруг которых вечно блуждает человеческий ум, никогда, однако, их не разрешая.*

*– Томас Бернет (1692)*

*(Использовано Кольриджем в качестве латинского эпиграфа для поэмы «Сказание о старом мореходе»)*

Серия «Наука: открытия и первооткрыватели»

Mark Bowen

THE TELESCOPE IN THE ICE

Inventing a New Astronomy at the South Pole

Перевод с английского *Павла Миронова*

Печатается с разрешения автора при содействии его литературных агентов ICM Partners.

Исключительные права на публикацию книги на русском языке принадлежат издательству AST Publishers.

© 2017 by Mark Bowen

© Перевод. П. Миронов, 2018

© Издание на русском языке AST Publishers, 2018

## Вступление Об ошибках

*Вселенная не может существовать в привычном нам виде без нейтрино, однако кажется, что эти частицы существуют в своей отдельной Вселенной, и мы пытаемся вступить в контакт с этой потусторонней Вселенной нейтрино. И хотя я как физик понимаю происходящее с точки зрения математики и разума, меня не перестает поражать то, что меня повсеместно окружает нечто, напоминающее дух или бога, которого я не могу коснуться, но которого могу оценить с помощью измерений. Я умею это делать, и мне кажется, что я измеряю духовный мир или что-то в этом роде<sup>1</sup>.*

*– Питер Горэм*

Вноябре 2013 года международный союз, управляющий работой нейтринной обсерватории *IceCube*, заявил, чем ему удалось обнаружить высокоэнергетические нейтрино, приходящие на Землю из далекого космоса<sup>12</sup>. Эта новость знаменовала рождение новой формы астрономии, связанной не с привычным для нас космическим курьером – светом, но с одной из самых странных из элементарных частиц – нейтрино. Это событие также увенчало поиски, которые начались пятью годами ранее благодаря силе воображения небольшой группы провидцев и в ходе которых было сделано немало героических попыток и случилось много неудач.

Отчасти эти поиски оказались настолько длительными, потому что именно такое время нужно необычному телескопу, чтобы увидеть необычную частицу. *IceCube* не похож ни на один телескоп, который вам доводилось видеть или о котором приходилось слышать. Более того, его и увидеть никто не сможет, поскольку *IceCube* погребен на глубине полутора километров во льдах на географическом Южном полюсе.

Создатели телескопа не могли видеть его даже тогда, когда его строили. Фрэнсис Халзен, бельгийский теоретик из Университета штата Висконсин, придумавший весь этот проект, говорит, что процесс строительства напоминал работу в темной комнате без единого окна. В отличие от обычного телескопа, этот инструмент не использует ни линз, ни зеркал. На данный момент он состоит из 86 километровых «нитей» оптических детекторов, каждый из которых запаян в стеклянную сферу размером с баскетбольный мяч, способную выдерживать большое давление. Затем эти «нити жемчуга» были опущены в 86 скважин глубиной по 2,5 километра, просверленных во льду с помощью гигантского бура, использовавшего горячую воду. Затем нити вмерзли в лед на нужной глубине. Таким образом, самые верхние «жемчужины» располагаются на глубине полутора километров. Отверстия во льду просверлены в точках шестиугольной решетки, покрывающей квадратный километр поверхности льда. В результате свыше 5000 детекторов этого уникального устройства отслеживают все происходящее в массе льда объемом около одного кубического километра и весом около миллиарда тонн – удивительно чистого (на радость ученым) глубинного антарктического льда. Лед в этих местах – чистейшее из всех известных нам природных веществ, он даже чище алмаза.

Когда-то журнал *Scientific American* назвал этот телескоп «самым странным» из семи чудес современной астрономии<sup>3</sup>. И, возможно, самая странная его черта состоит в том, что

---

<sup>1</sup> Примечания, обозначенные цифрами, принадлежат автору и ведут в конец книги. Примечания, обозначенные звездочками, принадлежат переводчику.

он смотрит не *вверх*, в антарктическое небо, под которым и располагается; он направлен *вниз*, прямо в лед. Задача *IceCube* – изучать *северное* небо, глядя на него насквозь через всю планету. Поскольку нейтрино – это единственная известная нам частица, способная пройти через весь земной шар, не будучи поглощенной и не отклонившись от своего курса, то понятно, что любая частица, долетевшая до нашего ледяного куба с севера, должна представлять собой нейтрино. Инструмент использует Землю в качестве щита, позволяющего блокировать другие типы частиц (присутствие которых может создать искаженный сигнал).

Нейтрино, так легко проходящее сквозь планету, не любит показывать своего лица. Иногда эту частицу даже называют частицей-призраком. Возможно, что это самая распространенная частица во Вселенной – к моменту, когда вы закончите читать это предложение, перед вашими глазами пронесутся несколько сотен миллиардов нейтрино, – но увидеть ее почти невозможно, и она точно не повредит вашим глазам, поскольку почти не взаимодействует ни с какой материей. Именно поэтому ее очень сложно выявить. Как однажды сказал нобелевский лауреат и комик-любитель Леон Ледерман,

частицу, которая вообще ни с чем не реагирует, невозможно найти. Рассказы о ней вполне могут оказаться сказками. Бряд ли нам удастся получить факты, подтверждающие существование нейтрино.

Обычное нейтрино пройдет незамеченным – а следовательно, и невыявленным – даже сквозь кусок свинца толщиной в один световой год, то есть 9,5 триллиона километров. Поэтому у частицы нет никаких проблем с прохождением сквозь Землю, плотность которой значительно меньше, чем у свинца, а толщина в сравнении со световым годом не превышает толщины листа бумаги. Многие нейтрино как раз и будут проходить сквозь *IceCube*. Однако время от времени какая-нибудь из частиц вступит во взаимодействие со льдом вокруг детектора или с океанским дном под ним. В результате взаимодействия возникнет заряженная частица, которая будет двигаться в том же направлении, что и ее родительское нейтрино, а за ней будет тянуться след светло-синего цвета. Детекторы *IceCube* улавливают этот свет, а, наблюдая за тем, как он проходит через трехмерную сетку детекторов, ученые могут определить направление движения заряженной частицы и, соответственно, направление движения ее родителя-нейтрино. Это и превращает *IceCube* в телескоп.

Как это часто бывает, у проблемы, из-за которой эту крошечную частицу так сложно найти, имеются и положительные стороны, особенно интересные для астрономии. Поскольку нейтрино способно проходить через очень плотные типы среды, непрозрачные для света с любой длиной волны, эта частица может нести в себе информацию из областей Вселенной, недоступных обычному телескопу, например из недр звезд – в том числе и взрывающихся звезд, известных нам под названием «сверхновых», – или областей нашей галактики, закрытых облаками межзвездной пыли, – к примеру, из черной дыры, лежащей в центре галактики.

Одна из причин возникновения этой новой астрономии заключается в том, что мы хотим разобраться в сути самых масштабных событий и объектов во Вселенной: сверхновых звезд, звездных скоплений с активным ядром, остатков сверхновых, гамма-всплесков, сталкивающихся галактик и других странных объектов, порой находящихся за пределами нашего воображения. С точки зрения науки это может привести к дальнейшему развитию космологии и успешным поискам таинственной и пока что неизвестной нам холодной темной материи, из которой и состоит в основном Вселенная. Свое развитие получит и чистая физика элементарных частиц, поскольку все эти объекты представляют собой, по сути, огромные ускорители частиц, работающие по тем же базовым принципам, что и ускорители, созданные людьми на Земле, в том числе и Большой адронный коллайдер (БАК) стоимостью в несколько миллиардов долларов, с помощью которого в 2012 году было доказано существование бозона Хиггса, – однако в значительно больших масштабах.

Само по себе нейтрино стало объектом изучения в физике элементарных частиц лишь в последние годы, поскольку в 1998 году этой частице удалось пробить первую и пока что единственную брешь в защите стандартной модели физики элементарных частиц. Эта теоретическая модель описывает «строительные кирпичики» материи, элементарные частицы и то, как они взаимодействуют друг с другом на основе трех из четырех фундаментальных сил: слабого ядерного взаимодействия, сильного ядерного взаимодействия и электромагнитного взаимодействия. Стандартная модель, сформулированная в 1970-е годы, оказалась очень успешной, однако кое-кто начал чувствовать себя в ее рамках как в смиренной рубашке<sup>4</sup>. После открытия бозона Хиггса, последней частицы в стандартной модели, которую было необходимо найти, кажется, что новых открытий уже не предвидится, но физикам не нравится пребывать в слишком жестких (и комфортных) ограничениях. Они всегда ищут чего-то нового, а удивительное поведение нейтрино дает основания предполагать, что нам еще предстоит изучить массу пока неизвестных явлений.

И это возвращает нас к основной причине создания этого необычного инструмента. Совершенно новая научная область – нейтринная астрономия – позволила нам открыть новое окно во Вселенную, и крайне редко в истории астрономии бывает так, что появление подобных окон *не приводит* к невообразимым прежде открытиям. Классическим примером может служить история Галилея.

Первые оптические телескопы были построены во Фландрии для нужд купцов, которые могли получить преимущество на рынке, если заранее узнавали, какие товары есть, а каких нет, на кораблях, идущих через Ла-Манш<sup>5</sup>. Галилей использовал свои обширные познания в оптике и математике, чтобы собрать достаточно качественный инструмент, который он продемонстрировал венецианскому дожу и предложил использовать в военных действиях. Через несколько месяцев он ясной ночью направил телескоп на Луну, когда Юпитер, второй по яркости объект в небе, находился чуть выше и правее нее. Это позволило ему открыть четыре «Медичийские звезды», известных в наши дни как луны Юпитера. То обстоятельство, что Галилей заметил их необычное, «еретическое» вращение вокруг планеты, доставило ему впоследствии немало проблем.

В 1965 году Арно Пензиас и Роберт Уилсон, два физика из компании *Bell Telephone Laboratories*, сделали неожиданное открытие, когда проектировали наземную радиоантенну для спутников связи. Тестируя рогообразную антенну, которая должна была обеспечить связь без каких-либо помех, Пензиас и Уилсон направляли ее на пустые, как им казалось, участки неба и с удивлением обнаружили, что антенна всякий раз улавливала небольшую дозу какого-то шума. Никакие конструкционные улучшения не помогли. Оказалось, что «шум» представляет собой вполне реальный сигнал – космическое микроволновое фоновое излучение, послесвечение Большого взрыва, который породил нашу Вселенную около 14 миллиардов лет назад. Это открытие изменило отношение к Большому взрыву и космологии в целом – из объекта насмешек они вдруг превратились в научные темы, требующие пристального изучения. Этот случай наглядно иллюстрирует еще один аспект научного открытия: ум ученого должен быть *готов* интерпретировать то, что он измеряет или «видит» – или даже только собирается увидеть. К тому времени, когда Пензиас и Уилсон провели свои измерения, теории Большого взрыва и микроволнового послесвечения уже вынашивались на протяжении десятилетий. Они получили Нобелевскую премию не за то, что *нашли* сигнал, а за то, что смогли интерпретировать его с помощью знания и инструментов того времени. Именно такие большие скачки от теории к эксперименту двигают науку вперед. Порой лидирующие позиции занимает теория, а порой накопленный вес необъясненных экспериментальных свидетельств приводит к развитию новых теорий или даже к изменению научной парадигмы. И, как мы увидим в этой книге, подобное развитие научных идей может занимать десятилетия.

После подписания в 1963 году договора о запрещении ядерных испытаний в трех средах Министерство обороны США начало отправлять на орбиту спутники, чтобы удостовериться в том, что СССР не нарушает условий договора, испытывая бомбы в космосе, под водой или на Луне. Идея проверки состояла в том, чтобы пытаться уловить гамма-лучи (невидимое для глаза излучение с более короткой длиной волны, чем рентгеновское), возникающие при ядерном взрыве. Спутники так и не смогли уловить этих лучей, однако смогли выявить целый ряд неких «нарушений договора» в глубоком космосе, а именно коротких и поразительно интенсивных всплесков гамма-лучей где-то очень далеко. Научное сообщество узнало об этом открытии лишь через несколько лет, когда с данных был снят гриф секретности, а загадочным источникам всплесков было дано ни к чему не обязывающее название «гамма-всплески» (*gamma ray bursters*, или GRB). За краткий период длительностью от 1 до 20 секунд GRB испускают примерно столько же света, что и все остальные звезды и галактики в известной нам Вселенной. Теория утверждает, что при этом они должны отдавать и нейтрино, поэтому GRB представляют большой интерес для *IceCube*.

Астрофизик Кеннет Лэнг отмечает, что

наша небесная наука, по всей видимости, определяется наличием у нас тех или иных инструментов, и ее развитие будет идти за счет неожиданных открытий, сделанных с помощью уникальных телескопов и оборудования для отслеживания новых явлений... можно быть уверенным в том, что наблюдаемая нами Вселенная представляет собой лишь малую толику того, что еще ждет своего открытия<sup>6</sup>.

Мечта о большом открытии – это лишь *один* из стимулов ученого; однако мне представляется, что мышление ученых несколько искажено чрезмерной чувствительностью к мнению СМИ и к престижным наградам вроде Нобелевской премии. Уже ставшее своеобразным клише восприятие научных результатов как чего-то грандиозного особенно заметно в физике. Порой кажется, что в этой науке открытие, «меняющее наше представление о Вселенной», происходит чуть ли не каждые несколько месяцев. В газетных и журнальных статьях неминуемо возникают слишком громкие формулировки для описания даже самых незначительных результатов, и в сложившейся ситуации отчасти стоит винить и самих физиков, которые предпочитают заявлять во всеуслышание о своих открытиях на пресс-конференциях – еще до публикации в научной литературе и не дождавшись критической оценки со стороны коллег. В реальности же открытия уровня теории относительности или дарвиновской эволюции делаются крайне редко.

Тем не менее во всем этом шуме, который любит научная журналистика, есть своя правда. Ученые в самом деле искренне наслаждаются своей работой, и именно жажда открытия заставляет их вылезать по утрам из постели и приниматься за дела. Почти каждый день они узнают что-то новое, пусть и не очень важное, решают запутанные технические проблемы или проливают свет на какой-то до сих пор темный уголок в области, в которой работают. Больше чем в половине случаев они ошибаются, однако при этом как минимум движутся по верному пути. И понимание собственной неправоты – процесс, ведущий от смятения к ясности, – может быть столь же вдохновляющим, как и осознание своей правоты.

По словам Фрэнсиса Халзена, покойный Джон Бакал, уважаемый теоретик нейтрино из Принстонского Института перспективных исследований, утверждал, что

у физиков есть два сокровенных и темных секрета, которые они старательно прячут от мира. Первый состоит в том, что физика не развивается логическим образом, а представляет собой цепь неудач... А второй заключается в том, что физикам настолько нравится заниматься своей работой, что они готовы делать ее даже бесплатно.

Цель этой книги состоит в том, чтобы продемонстрировать вам правоту Бакала. Я расскажу вам о внутренних деталях эксперимента, который дал физикам очень многое из того, ради чего они живут. Почти 20 лет я наблюдал за этим процессом, заняв самое лучшее место в зрительном зале.

\* \* \*

Впервые с *IceCube* меня познакомил в 1997 году Брюс Коси, главный бурильщик. Это произошло довольно странным образом. Солнечным июньским днем в моем бостонском доме раздался звонок от редактора журнала *Natural History*. Она поинтересовалась, найдется ли у меня время написать статью о палеоклиматологе Лонни Томпсоне, который изучает керны высокогорного льда, чтобы узнать, каким был климат в прошлом и какие именно изменения в нем произошли.

Через неделю я уже летел в боливийскую столицу Ла-Пас, а еще через неделю добрался до базового лагеря у подножия самой высокой горы в стране – потухшего вулкана Сахама высотой в 6,5 километра. Вершина Сахама была увенчана круглым снежным куполом – позже я узнаю, что это идеальная форма для бурения ледяных кернов. Лонни и его команда к тому моменту уже проработали на вершине около двух недель и планировали еще через несколько дней запустить аэростат, наполненный горячим воздухом, чтобы с его помощью доставить первые фрагменты ледяной шапки к подножию горы, где их уже ждал фургон-рефрижератор. Я понял, что мой долг профессионального журналиста – во что бы то ни стало оказаться на вершине и увидеть все происходящее там своими глазами. Я вскарабкался на гору – возможно, слишком быстро, если учесть, о каких высотах мы говорим, – и вошел в залитый полуденным солнцем лагерь бурильщиков за несколько часов до запланированного запуска аэростата. У меня с собой был только легкий рюкзак, и я не догадался даже захватить спальный мешок.

Мне тут же стало понятно, что я попал в чрезвычайно необычный мир – мир очень специфической работы, зверского холода и захватывающих пейзажей под огромным лазурным небом. Впрочем, команда бурильщиков была равнодушна к окружающим красотам. Эти люди приехали сюда работать, а не любоваться ландшафтами, и их приверженность своему делу была заметна с первых минут. Они отлично знали друг друга. Они десятилетиями вместе бурили вместе по всему миру и годами вместе жили на ледниках. Их разговоры ограничивались обсуждением текущих задач. В те моменты, когда они с помощью своих элегантных буров на солнечных батареях извлекали метровые керны, регистрировали их в лабораторном блокноте, а затем упаковывали образцы в теплоизолирующие короба и закапывали в норы, вырытые в снегу, на вершине царило почти медитативное молчание. Затем керны спускали к подножию, после чего они отправлялись к конечной точке путешествия на другую сторону земного шара – в огромный холодильник Лонни в Университете штата Огайо.

Поначалу я почти не замечал Брюса. Нужно сказать, что и он сам не стремился особенно попадаться мне на глаза. Но я никогда не забуду свой первый разговор с ним, который я даже описал в своей книге 2005 года «Тонкий лед»<sup>7</sup>:

Вскоре солнце опустилось слишком низко, чтобы обеспечивать питание для наших батарей. Пирамидальная тень горы протянулась по пустыне до самого горизонта. Небо стало пурпурным, а затем серым. Мы спустились в снежную пещеру, прямоугольное отверстие длиной 4,5 метра и шириной в полтора – слишком низкое для того, чтобы встать там во весь рост. Пещера служила одновременно столовой, гостиной и спальней. Мы сели друг напротив друга на некое подобие скамеек, вырубленных в снегу, колена к колена, нога

к ноге, спиной к ледяным стенам и принялись пить чай и есть суп почти в полном молчании.

После ужина мне пришлось признаться о том, что у меня нет с собой нужного снаряжения для ночлега. Тогда Брюс Коси медленно поднялся и скрылся в глубине пещеры. Через несколько минут он подозвал меня. В руках у него были четыре куска пенопласта толщиной в 15 см, которые бурильщики использовали в качестве теплоизолирующих прокладок для льда, и два самых мягких спальных мешка, которые мне только доводилось трогать в жизни, – несравненное более теплые, чем мой спальник, оставшийся в лагере. Коси помог мне перенести пенопласт в мою палатку и расстелить на нем спальники.

«Вот, – сказал он. – А теперь обернись ими, как лиса оборачивается своим хвостом»<sup>8</sup>.

Это было первое из множества проявлений щедрости по отношению ко мне и другим людям, которые Брюс затем демонстрировал все годы нашего знакомства.

К тому времени он уже почти 20 лет работал с Лонни в качестве ведущего бурильщика. Эта пара совместно изобрела в начале 1980-х технологию бурения с помощью солнечной энергии и в 1983 году добыла первый в мире высокогорный ледяной керн на ледниковой шапке Келькайя в Перу, к северу от Сахама. Брюс был вежливым, тихим и скромным человеком, уникальным в своем роде и обладавшим глубокой духовной связью с миром природы. После того как я уехал из экспедиции и завершил свою статью, мне очень захотелось еще раз встретиться и с ним, и с Лонни.

Поначалу это было непросто, поскольку оба они после боливийской экспедиции провели дома – Брюс у себя на Аляске, Лонни в Огайо – всего две недели, а затем отправились на три месяца в Тибет. Наконец, в середине ноября я получил письмо от Брюса:

Марк,

я только что вернулся из Тибета, на самом деле недели три назад, но только что наконец собрался с силами, чтобы прочитать сотни отправленных мне сообщений. Работа в Сахама была довольно успешной, все получилось и в Тибете, где мы пробурили несколько кернов до самого скального основания... Вскоре я направляюсь на Южный полюс, где мы будем бурить дырки глубиной 2400 метров, чтобы с их помощью искать нейтрино. Этот проект кажется мне очень интересным, это самый что ни на есть передний край того, что сейчас происходит в астрофизике высоких энергий, так что мы наверняка наделаем кучу ошибок...

Мир тебе,  
БК.

Я захотел больше узнать об этом физическом проекте. Брюс написал, что проект называется AMANDA (сокращение от *Antarctic Muon And Neutrino Detector Array* – «Антарктический массив мюонных и нейтринных детекторов»):

Интересно, что наши проекты совершенно не похожи друг на друга. Мы с Лонни обычно используем легкое оборудование и с его помощью вытаскиваем на поверхность тяжеленные ледяные керны. А в AMANDA у нас будет огромный бур (весит 90 тонн), но данные, которые мы будем получать, не весят ровным счетом ничего.

Брюс связал меня с Фрэнсисом Халзенем и его коллегой Бобом Морсом из Висконсинского университета – ведущего научного учреждения в рамках проекта AMANDA. Это была

пара очень приветливых ученых, которые отлично дополняли друг друга: Фрэнсис – теоретик, а Боб – экспериментатор. Боб был главным человеком непосредственно на месте, в Антарктиде, и руководителем проекта. Его работа финансировалась грантом Национального научного фонда (*National Science Foundation, NSF*), основного спонсора AMANDA. Как ни странно, Фрэнсис, придумавший весь этот проект, был назначен заместителем Морса, то есть не имел тех же полномочий, что и Боб, – по крайней мере на бумаге. Однако в процессе работы быстро стало понятно, что у Фрэнсиса гораздо больше функций и ответственности, чем кажется на первый взгляд. Какой бы ни была формальная иерархия, именно он оставался интеллектуальным лидером, душой проекта, а в случае провала именно его голова оказалась бы на плахе.

Как бы то ни было, и Боб, и Фрэнсис вели себя свободно, дружелюбно и довольно открыто. Они пригласили меня на встречу участников проекта, которая должна было пройти в рамках открытого семинара Калифорнийского университета в Ирвайне весной 1998 года.

Участников на тот момент было сравнительно немного. Основателями проекта еще в 1990 году стали Висконсинский университет и университеты штата Калифорния в Беркли и в Ирвайне; в 1992 году к американцам присоединился шведский контингент из университетов Стокгольма и Упсалы, а еще через два года – группа из одного небольшого института физики высоких энергий, находившегося на территории бывшей ГДР. Участники проводили закрытые встречи примерно три раза в год, время от времени совмещая их с семинарами.

Цель нынешнего семинара состояла в том, чтобы собрать вместе теоретиков, у которых были какие-то идеи относительно астрофизических источников нейтрино, астрономов, изучающих нейтрино, ученых и инженеров, знакомых с подходящими в данном случае технологиями, экспертов по антарктической логистике и представителей спонсоров. Предстояло обсудить «концептуальный дизайн *IceCube* – километровой установки, призванной изучать нейтрино в Антарктиде». Основная идея заключалась в «расширении технологий AMANDA на километровые масштабы»<sup>9</sup>. Как выяснилось позже, этот был первый семинар, посвященный конкретно телескопу *IceCube*.

Причина, по которой нужно было масштабировать технологию AMANDA, заключается в том, что степень чувствительности и угловая разрешающая способность нейтринного телескопа прямо связаны с его размером. Из-за «уклончивости» нейтрино ученым придется следить за максимально большим объемом льда, поскольку это дает больше шансов на то, что оказавшиеся здесь нейтрино «снизойдут» до того, чтобы взаимодействовать, умереть и дать жизнь какому-то потомку, доступному для наблюдения.

Теория гласила, что минимальный размер, необходимый для так называемого потенциала открытия, то есть результативного наблюдения за экзотическими космическими объектами, способными излучать нейтрино, составляет около одного кубического километра. Проект AMANDA должен был проверить концепцию *IceCube* и протестировать принципиальную возможность увидеть нейтрино в глубине антарктического льда. Помимо этого, проект был полигоном для испытания технологий, которые можно было использовать в более крупном инструменте. А еще он давал возможность изучить Восточно-Антарктический ледниковый щит толщиной более трех километров – и это тоже была не такая уж легкая задача. В проекте AMANDA использовались потрясающие технологии, особенно это касается бура Брюса Коси.

Несмотря на небольшое число участников, уже в то же время AMANDA могла похвастаться некоторыми значительными параметрами. Команда работала над проектом уже около восьми лет. Область мониторинга представляла собой ледяной цилиндр диаметром 120 метров и высотой 500 метров (чуть выше Эйфелевой башни), находившийся на глубине полутора километров от поверхности – всего примерно шесть миллионов тонн льда.

\* \* \*

Вскоре я обнаружил, что далеко не все участники союза AMANDA столь же дружелюбны, как Боб и Фрэнсис. В ночь накануне весенней встречи ее организатор Стивен Барвик, профессор из Ирвайна, устраивал для приехавших гостей вечеринку. Когда я, прощаясь, поблагодарил его за прием, Стив сообщил мне, что нескольким участникам союза не нравится идея моего присутствия на собрании и что меня не допустят. Я могу участвовать в открытом семинаре, однако сейчас мне придется немного притормозить и подождать несколько дней, пока он начнется. Я попытался рационально осмыслить свое разочарование, и мне пришло в голову, что самые интересные разговоры обычно происходят в кулуарах подобных мероприятий, особенно после пары глотков чего-нибудь горячительного.

И действительно, после вечеринки мы зашли с Фрэнсисом Халзенем в бар нашей гостиницы, чтобы пропустить еще по одной на сон грядущий. Крепко сложенный и моложавый Фрэнсис показался мне одним из счастливейших людей, которых мне только доводилось видеть. Он сам подошел ко мне на вечеринке – просто так, без особого повода.

Фрэнсис не любит долгих монологов. Обычно он разговаривает афоризмами-недомолвками, подмигивая при этом; он любит собеседников, способных правильно понять его шутки. Один из его старейших коллег и друзей, Том Гайссер из Делавэрского университета, говорит, что комментарии Фрэнсиса во время телефонных конференций напоминают «изречения оракула или сивиллы»: они всегда двусмысленны и часто помогают разговору сдвинуться с мертвой точки. В своих размышлениях Фрэнсис часто на два-три шага опережает остальных. Он говорит глубоким голосом с сильным фламандским акцентом и часто предваряет свою основную мысль словами «возможно, я не должен этого говорить, поскольку это, очевидно, следует из уже сказанного мной» – хотя, например, для меня это было совершенно не очевидно. В общем, он понравился мне с первых секунд.

Порой нам представляется, что физики постоянно погружены в размышления, а синапсы и нейроны в их мозге напряженно ищут решения разных загадок. Именно такое волнующее и приятное ощущение чаще всего возникает на собраниях участников проекта, и кажется, что именно Фрэнсис здесь расцветает больше всех остальных. В те дни его научные размышления становились кульминацией собраний. Он рассказывал о некоторых своих недавних озарениях, причем новые идеи рождались в его голове настолько быстро и были такими яркими, что он просто не успевал закрыть рот. Он напоминал двигатель, сжигающий слишком много кислорода вместе с топливом, а его слова были словно внезапные резкие хлопки такого мотора.

Тем вечером, пока мы выпивали, он завел со мной одну из своих типичных игр, в которых всегда опережал собеседника на несколько шагов. Он убедил меня в том, что, хотя проект AMANDA и не смог пока обнаружить ни одного полноценного нейтрино, лучшая часть истории уже позади и главное открытие уже сделано: этот инструмент в самом деле может работать! Уверенность в этом появилась у Фрэнсиса уже два года назад, когда участники проекта поняли, что глубинный лед под полюсом обладает чрезвычайной степенью чистоты. Для такого теоретика, как Фрэнсис, все остальное было второстепенными деталями; в тот момент уже стало очевидным, что инструмент будет работать. Потребовалось два года на то, чтобы убедить в этом остальных членов физического сообщества – не говоря уже о некоторых упорствующих участниках проекта, – однако семинар, который должен был начаться через несколько дней, был признаком того, что сообщество (в том числе критически важные для успеха проекта спонсоры) было готово одобрить строительство *IceCube*.

По словам Фрэнсиса, это был исторический момент. Мечта о нейтринном телескопе витала в воздухе уже около 40 лет, с конца 1950-х. За прошедшие десятилетия предпринимались несколько попыток его построить, и ученые продолжали неторопливо обсуждать еще

пару других вариантов решения этой задачи, однако именно проект AMANDA первым доказал свою перспективность и обещал какие-то реальные результаты.

Фрэнсис пару раз упомянул в разговоре слово DUMAND. В течение недели я уже множество раз слышал эту аббревиатуру слов *Deep Underwater Muon and Neutrino Detector* – «глубоководный детектор мюонов и нейтрино». Это была первая известная – и, к сожалению, печально известная – попытка воплотить в жизнь идею нейтринного телескопа. Генетические следы этой идеи до сих пор можно проследить повсюду в области нейтринной астрономии. Несколько ветеранов DUMAND затем работали на AMANDA, и как минимум один из них до сих пор работает на *IceCube*. Этот недостаточно хорошо продуманный проект, получивший первое финансирование в 1980 году, предполагал, что нейтринный телескоп будет размещаться на глубине пяти километров на дне Тихого океана, в 30 км от побережья острова Гавайи, и использовать в качестве среды для обнаружения нейтрино не лед, а морскую воду. В 1996 году, после долгой серии неудач, проект DUMAND был закрыт. За 16 лет своего существования ему удалось обнаружить (хотя даже это оспаривается) одно восходящее нейтрино<sup>10</sup>. Другие конкурирующие проекты также предполагали использовать воду в качестве рабочей среды.

Я с большим удивлением услышал, что Фрэнсис считает технически более простым делом постройку столь необычного устройства на Южном полюсе, чем в теплых тропических водах. Простой аргумент: лед как минимум позволяет вам ходить по вашей собственной экспериментальной площадке. Основной проблемой инструментов, использующих воду в качестве рабочей среды, была и остается сложность глубоководной инженерии. Как писал один из первопроходцев DUMAND в 1992 году, через 12 лет от начала проекта им так и не удалось разместить на дне океана хотя бы временную конструкцию:

Моряки уже давно знают то, что нам пришлось познать на собственном болезненном опыте, – море никому ничего не прощает<sup>11</sup>.

С другой стороны, несмотря на мороз и полярную ночь, не позволяющую работать на полюсе более четырех месяцев в году, первые детекторы AMANDA были размещены во льду со второй попытки, всего через два года после запуска проекта. А вполне работоспособный прототип был построен за пять лет.

Под конец нашего разговора Фрэнсис в привычной для него манере посоветовал мне проигнорировать рекомендации Стива Барвика и просто явиться в зал заседаний на следующее утро. Я так и сделал, однако Стив быстренько выставил меня оттуда.

Следующие несколько дней внезапно выдались свободными. Я хорошенько выспался и вдоволь побегал вдоль пляжа Хантингтон-Бич. Кроме того, я постоянно общался с «амандроидами» (так называли себя участники собрания) во время кофе-брейков и перерывов на обед, а также – это оказалось самым полезным – выпивал с ними после ужина. Я старался проводить как можно больше времени с Брюсом Коси, который в стерильной Южной Калифорнии выглядел точно так же, как на вершине горы в Боливии. Каждое утро он являлся на собрание в обтягивающих джинсах и поношенных кроссовках, мешковатой замшевой рубашке навыпуск и со старым заслуженным рюкзаком, с которым провел немало дней в горах. Никогда за все годы своего знакомства с Брюсом я не видел, чтобы он хоть раз причесался.

По экологическим мотивам Брюс настоял на том, что будет ходить из гостиницы к месту конференции и обратно пешком. Несколько дней по утрам шел дождь, и тогда он накидывал поверх мятой рубашки ветровку, которая когда-то была голубой, но стала почти белой из-за многомесячного (если не многолетнего) воздействия солнца, ветра и дождя. Одним утром Брюса даже задержала полиция кампуса, приняв его за обычного бездомного в поисках пристанища.

В основном Брюс появлялся на этих собраниях ради того, чтобы быть в курсе последних научных новостей, которые помогли бы ему правильно настроиться на предстоящие суровые будни бурения. Он был одним из тех редких инженеров, которые понимают, что не надо следовать детальным спецификациям, если в результате построенная тобой машина не сможет делать того, что нужно ученым. Более того, как правило, ни сами инженеры, ни ученые понятия не имели, как именно должны были бы выглядеть такие спецификации. Как-то раз он описал свои отношения с Лонни Томпсоном как «один из самых долгих дружеских союзов науки и инженерного дела в истории».

Брюс представлял собой одну из сторон интересного контраста, который я сразу заметил в ходе семинара после собрания участников проекта. Другую сторону воплощали теоретики, в том числе вдохновлявший всех Джон Бакал. Он познакомил нас с несколькими волнующими идеями относительно космических ускорителей, которые со временем сможет наблюдать *IceCube*. И если Бакал в своих рассуждениях, похоже, прочно стоял обеими ногами на твердой земле, то остальные теоретики подчас высказывали слишком пыльные, почти бессвязные идеи. Предлагаемые ими модели были похожи на вспышки сорвавшегося с цепи воображения – словно они бросали дротики во время игры в дартс в надежде на то, что через десять или двадцать лет, когда *IceCube* наконец начнет приносить результаты, один из этих дротиков вдруг пришьит к мишени достаточно убедительное экспериментальное подтверждение. И тогда везунчик-победитель сможет заявить, что это именно он когда-то сделал достаточно точный прогноз, – совершенно не упоминая того обстоятельства, что одновременно он сделал и множество других, которые так и не сбылись.

Другую сторону представляли экспериментаторы, обладавшие такой же настойчивостью и упорством, что и Брюс. Мне потребовалось некоторое время, чтобы понять, что к тому моменту участники проекта AMANDA уже безумно устали после неистовой четырехмесячной вахты в Антарктиде, закончившейся лишь несколькими неделями ранее. Это был успешный сезон, который, впрочем, не обошелся без разочарований и конфликтов между участниками. В конце концов, они же строили крупнейший детектор элементарных частиц в мире! Им приходилось иметь дело с невероятным количеством деталей в процессе настройки этого удивительного, почти инфернального устройства, подготовки его к работе в одном из самых негостеприимных мест на планете. В отличие от теоретиков, они не умели перескакивать с одной интересной проблемы на другую в течение одной-двух недель. *IceCube* ведь еще не был даже спроектирован. Работа над ним не будет завершена еще целых 12 лет.

В последнее утро конференции, когда, согласно повестке дня, должны были начаться слушания, я присоединился к завтраку «амандроидов». Завтрак-буфет, состоявший из бейглов, сока и кофе, был накрыт в холле перед переговорными комнатами. Стив Барвик подошел ко мне и сказал:

– Марк, участники проекта решили дать вам шанс рассказать, чего вы от нас хотите. Мы хотели бы, чтобы вы сделали презентацию.

– Когда?! – воскликнул я.

– Прямо сейчас.

Я начал с того, что извинился перед аудиторией за то, что не успел подготовить набор диапозитивов для проектора (эпоха *PowerPoint* еще не наступила). Аудитория отреагировала благожелательным смехом. Затем я объяснил, что мне понятны нужды и опасения собравшихся ученых. Я не собираюсь организовывать утечки непроверенных результатов или распространять слухи и сплетни. Я полностью уверен, что я искренне заинтересован в успехе проекта. Один профессор из Ирвайна напомнил собравшимся о книге Генри Тобса «Мечты о Нобелевке» (с подзаголовком «Власть, обман и окончательный эксперимент») <sup>12</sup>, в которой был дан неприглядный портрет нобелевского лауреата Карло Руббиа – друга или как минимум коллеги

многих из присутствующих здесь. Я ответил, что до тех пор, пока написанное мной увидит свет, пройдет очень много времени (если бы я тогда знал, *насколько* много...). Меня попросили ненадолго выйти, а затем пригласили обратно и приветствовали в качестве участника проекта.

С этого момента я получил достаточно свободный доступ к информации – более того, в течение нескольких лет у меня был *полный* доступ: я даже посещал закрытые собрания руководителей проекта. А в конце 1999 года смог поработать с Брюсом Коси, бурившим лед на Южном полюсе. Кое-кто из участников считал, что проект AMANDA в целом интереснее, чем один только телескоп *IceCube*. На первых этапах работы над подобными проектами требуется больше гибкости мышления и готовности брать на себя риски, чем позже, когда проект постепенно доводится до совершенства (хотя и этот этап проекта может быть не менее вдохновляющим). Предварительная подготовка всегда имеет намного больший охват и масштаб.

В каком-то смысле работа состояла в том, чтобы делать ошибки. Во времена AMANDA на льду делалось немало безрассудных вещей: тогда никто слыхом не слыхивал о протоколах техники безопасности или стандартных операционных процедурах, а антарктическая станция «Амундсен – Скотт», как и многие другие исследовательские площадки тех дней, больше напоминала пограничный форпост на Диком Западе. Будет справедливым сказать, что AMANDA – это сердце моей истории. Фрэнсис Халзен утверждает, что именно благодаря проекту AMANDA «родилась нейтринная астрономия». Оказалось также, что я познакомился с этим сплоченным братством в самое благоприятное время. Фрэнсис был не вполне прав, когда говорил, что лучшее в этой истории уже завершилось. Следующие шесть месяцев стали, пожалуй, самым восхитительным периодом в истории проекта – даже с учетом фундаментального открытия, сделанного *IceCube* 15 лет спустя.

# Часть I

## Рождение и юность нейтрино

### Глава 1

#### Безумное дитя

*Изучать физиков намного интереснее, чем саму физику.*  
– Роберт Милликен

Частица, известная нам как нейтрино, впервые возникла в воображении венского физика Вольфганга Паули ближе к концу 1930 года.

Это время можно считать серединой одного из самых интересных периодов в истории науки, когда в течение восьми лет великие мыслители – Нильс Бор, Вернер Гейзенберг, Эрвин Шрёдингер, Макс Борн, Поль Дирак, Альберт Эйнштейн (постоянно выступавший с возражениями) и сам Паули – изучали поразительные загадки атома и создавали современную теорию квантовой механики<sup>13</sup>. В 1930 году основное внимание сместилось со структуры атома на более глубокий уровень – на уровень его ядра.

В том году Паули исполнилось 30 лет. Он родился в 1900-м – в силу совпадения, в том самом году, когда Макс Планк сформулировал идею гранулярности энергии, переносимой излучением определенного типа, так называемого кванта действия. Тем самым Планк открыл своего рода ящик Пандоры в мире ядерных исследований (как мы увидим чуть ниже, Паули далеко не всегда верил в совпадения).

Паули, необыкновенные способности которого в математике и физике были отмечены еще в детстве, впервые произвел серьезное впечатление на научный мир сразу же после окончания средней школы, когда он написал три работы на тему сложной в математическом отношении общей теории относительности Эйнштейна, которую великий ученый сформулировал всего тремя годами ранее. Затем Паули направился в Мюнхенский университет и начал учиться у Арнольда Зоммерфельда – возможно, ведущего авторитета в области «старой» квантовой теории Бора – Зоммерфельда, предложенной Бором в 1913 году. Паули получил свой диплом с отличием за минимально допустимое время – три года. Его научная работа была посвящена молекулярному водороду и представляла собой в высшей степени смелое развитие теории Бора – Зоммерфельда. При этом ему каким-то образом удалось тогда же найти время для публикации магистерской работы, 237-страничного трактата на тему относительности<sup>14</sup>. Этот трактат удостоился похвалы от самого Эйнштейна:

Никто из тех, кто изучил этот зрелый, величественно продуманный труд, не мог поверить, что автору всего 21 год от роду. Интересно, чем следует восхищаться больше всего: психологическим пониманием развития идей, уверенностью математической дедукции, глубоким физическим прозрением, способностью к ясному систематическому изложению, полной трактовкой предмета или достоверностью критических оценок<sup>15</sup>.

В 1924 году молодой человек выдвинул идею, известную в наши дни под названием «принцип запрета Паули» и позволяющую объяснить, каким образом электроны в атоме сортируются по орбитам, соответствующим рядам периодической таблицы элементов. Из несколь-

ких его работ, вполне заслуживающих Нобелевской премии, именно эта позволила ученому получить премию через пару десятилетий, в 1945 году. Паули, имевший еврейские корни, в то время находился в Принстоне, штат Нью-Джерси, – он принял приглашение на работу в Институте перспективных исследований, позволившее ему избежать преследований со стороны нацистов. Эйнштейн, номинировавший его на премию, также работал в то время в Принстоне, поскольку Институт перспективных исследований и был, в сущности, создан, чтобы обеспечить Эйнштейну место работы за пределами Германии<sup>16</sup>.

Поскольку у Паули не было действующего паспорта, он не мог приехать в Стокгольм на церемонию вручения, поэтому для него был устроен шикарный банкет в Принстоне. В какой-то момент во время банкета Эйнштейн, к всеобщему удивлению, встал и произнес импровизированный тост, в котором назвал Паули своим интеллектуальным и духовным наследником. «Я никогда не забуду эту речь, – писал Паули Макс Борну десятью годами позже. – Она была похожа на отречение короля, назначавшего меня своим избранным „сыном“ – преемником»<sup>17</sup>.

Борн был не единственным, кто считал, что гений Паули вполне сопоставим с гением Эйнштейна и что Паули, возможно, даже более великий ученый (хотя и не столь же великий человек)<sup>18</sup>. Паули совершенно не интересовался практическими аспектами применения научных знаний. Он не читал газет. К примеру, когда ему предложили постоянную должность в Институте перспективных исследований, он отказался и вернулся на позицию в Швейцарской высшей технической школе (ETH) в Цюрихе, которую занимал до войны, поскольку, по его мнению, исследования в области ядерного оружия плохо сказываются на репутации американской физики в целом.

Он не обращал особого внимания на беспощадную конкуренцию в научном мире; единственное, к чему он страстно стремился, была ясность. Он также не заботился о признании; обычно он находил популярность утомительной, хотя при каждой возможности воздавал должное другим ученым. Паули сделал множество важных открытий, с которыми в наши дни связываются имена совсем других людей (причем сделал независимо от них и зачастую раньше, чем они), однако редко говорил об этом. Кроме того, он не был скован узкими рамками подхода «непременно публикуйся или будешь забыт», который исповедует большинство ученых. Список опубликованных работ Паули не так уж велик. Однако в своих многолетних поисках четкого видения он написал тысячи писем многим гигантам мира физики того времени – а также экспертам в других областях, особенно философии, психологии и истории искусства. В совокупности его научная корреспонденция насчитывает более 7000 листов. Многие из самых важных идей Паули сначала были сформулированы именно в этих письмах, притом что в научных работах он их так и не опубликовал. Письма копировались, передавались из рук в руки и изучались коллегами, словно послания, доставленные на Землю прямо с небес<sup>19</sup>.

Хотя имя Паули обычно не ассоциируется с изобретением квантовой теории в той же мере, что имена Бора, Гейзенберга или Шрёдингера, эти письма демонстрируют, что он был глубоко вовлечен в процесс. Никто не видел картину в целом так же хорошо, как Паули, и коллеги уважали его не только за это, но и за его точность и глубокое внимание к классическим традициям физики. Не кто иной, как Нильс Бор как-то описал роль Паули в революционные годы с 1925-го по 1933-й, в период зарождения квантовой теории, как «совесть всего сообщества физиков-теоретиков» и «нерушимую скалу в бушующем море»<sup>20</sup>.

Чарльз Энц, биограф и последний ассистент Паули, пишет, что именно он «был критическим и аналитическим разумом», стоявшим за развитием теории: «И Бор, и Гейзенберг считали его главным арбитром»<sup>21</sup>. Они обращались к нему со своими идеями как к идеальному слушателю – и всегда были готовы услышать его ядовитые комментарии. Паули был первым человеком, с которым Гейзенберг поделился идеей своего знаменитого принципа неопределенности в 14-страничном письме, заканчивавшемся словами:

Я понимаю, что эта тема пока что полна неясностей, однако должен написать вам, чтобы добиться хоть какой-то ясности. А теперь я жду вашей безжалостной критики<sup>22</sup>.

Они с Паули уже встречались в Мюнхене, вместе учились у Зоммерфельда и на всю жизнь остались друзьями. Их переписка в особенно важный период между 1925 и 1927 годами, когда Гейзенберг изобретал квантовую механику, демонстрирует, что его работа была во многом вдохновлена прозрениями и предложениями со стороны Паули<sup>23</sup>.

Несмотря на свой легендарно язвительный язык, Паули мог быть приятным и даже очаровательным, а огромный круг друзей, который он накопил за свою короткую жизнь, показывает, что они вполне могли увидеть за всеми его «колючками» доброе и щедрое сердце. После смерти Паули Бор посвятил своему более молодому коллеге трогательные слова в некрологе:

Комментарии Паули всегда помогали нам, даже в случаях, когда мы время от времени не хотели с ними соглашаться. Если он чувствовал, что ему стоит изменить свою точку зрения, он это признавал с присущим ему благородством. Со своей стороны, нам было очень приятно, когда развитие наших идей вызывало его одобрение<sup>24</sup>.

«Безжалостная критика» со стороны Паули была неизменно направлена на расплывчатое или вульгарное мышление. Его друг и коллега-физик Пауль Эренфест дал Паули кличку «бич божий»<sup>25</sup>. Широко известна его реплика после прочтения работы, которую он посчитал особенно глупой: «Это не только неправильно, это даже не ошибочно!»

Можно сказать, что в 1930-м – в том же году, когда идея таинственной новой частицы впервые начала формироваться в мыслях Паули, – он процветал в профессиональном плане. Он получил признание в мировых физических кругах и занимал постоянную должность профессора в ЕТН.

Однако его эмоциональная жизнь двигалась в совершенно ином направлении. Он переехал в Цюрих из Гамбурга, где занимал сразу несколько позиций в нескольких научных учреждениях и, по своему обыкновению, завел несколько друзей на всю жизнь. Пять лет, прожитых Паули в Гамбурге, были для него наиболее продуктивными – именно тогда он сформулировал принцип запрета, – однако именно в эти же годы он начал все чаще срывать с цепи.

Гамбург был широко известен своей ночной жизнью, и Паули часто наслаждался ей в компании своих друзей («После второй бутылки вина или шампанского, – писал он в одном письме, – я обычно становлюсь хорошим собеседником (чего никогда не случается, когда я трезв) и способен производить очень хорошее впечатление на окружающих, особенно женского пола»<sup>26</sup>). Без ведома своих товарищей он часто продолжал свои вечеринки даже после того, как они расходились по домам, и перемещался в печально известный район «красных фонарей». Район носил название Санкт-Паули, и хотите верить, хотите нет, но это было еще одной кличкой, которой наградил Паули Эренфест. Он курил и пил в сомнительных заведениях, дрался, знакомился с женщинами – степенный профессор днем и отчаянный гуляка ночью, доктор Джекил и мистер Хайд<sup>27</sup>.

Переехав в Цюрих, Паули стал более осмотрительным. Он принимал активное участие в бурлящей интеллектуальной жизни города и в элегантных светских развлечениях, общался с Джеймсом Джойсом, Томасом Манном и художниками Максом Эрнстом и Германом Галлером. При этом он продолжал удовлетворять свои темные желания во время периодических наездов в Гамбург и Берлин.

Паули вырос в убеждении, что он от рождения христианин, католик. Но в детстве ему не сказали о том, что его отец, всемирно известный врач и профессор химии, в молодые годы сменил фамилию и перешел из иудаизма в католичество ради карьеры в антисемитском мире австрийской науки<sup>28</sup>. Мать Паули также была католичкой еврейского происхождения, и при этом оба родителя вдобавок перешли в протестантизм, когда сыну было около 11 лет. Мать Паули была особенно религиозной. Не вполне ясно, когда Паули узнал о своем еврейском происхождении – возможно, это произошло в подростковые годы или когда ему уже исполнилось 20 лет, – однако он чувствовал, что ему недостает ясности в этом вопросе, который очень смущал его все те годы, когда формировалась его личность<sup>29</sup>.

В последний год жизни Паули в Гамбурге его отец, заядлый ловелас, бросил его мать и ушел к молодой скульпторше – ровеснице своего сына, а в ноябре 1927 года мать Паули покончила с собой. В тот же месяц он получил предложение о работе из ЕТН.

Через полтора года после смерти матери Паули отказался от христианства и объявил о возвращении к своим еврейским корням. Еще через шесть месяцев он женился на немке-танцовщице из кабаре, и эта история была настоящим бедствием с самого начала: еще до свадьбы невеста заявила, что любит другого, и со временем бросила Паули и ушла к этому мужчине. Их союз прожил меньше года, а развод был оформлен 26 ноября 1930 года.

Итак, в начале декабря у 30-летнего ученого, приступившего к размышлениям о составе ядра, забот было выше головы.

Первая загадка была связана с хорошо известным явлением радиоактивного бета-распада, при котором ядро одного элемента спонтанным образом превращается в ядро другого и испускает электрон (этот феномен называется бета-излучением). Суть загадки состояла в том, что бета-распад, казалось ученым, нарушает один из самых священных законов физики – принцип сохранения энергии.

С практической точки зрения этот принцип напоминает бухгалтерский баланс: любая физическая система, вовлеченная в какую-то «операцию», то есть претерпевающая какие-либо изменения, должна после завершения операции содержать тот же объем энергии, что и до ее начала. Энергия может оказаться в каком-то другом месте, но не может исчезнуть из мира без следа.

Частным примером бета-распада может служить радиоактивный распад углерода-14 и его превращение в азот-14. Именно этот процесс лежит в основе определения возраста радиоуглеродным методом. Этот метод позволяет определить возраст некогда живых объектов, таких как ствол древнего дерева или ископаемые кости, и широко используется в археологии и геологии. Углерод – шестой элемент периодической таблицы, а это значит, что его ядро содержит шесть протонов с положительным зарядом, а число 14 означает атомный вес. Согласно тому, что мы знаем, ядро углерода-14 имеет, помимо шести протонов, восемь нейтронов с нейтральным зарядом, то есть всего 14 «нуклонов».

Тот факт, что в 1930 году нейтрон еще не был открыт, серьезно усиливал неразбериху. Примитивная теория того времени утверждала, что ядро строится из протонов с положительным зарядом и электронов с отрицательным зарядом. Соответственно, в нашем примере ядро углерода-14 должно было бы состоять из 14 протонов и 8 электронов. Было известно, что величина его электрического заряда равна 6, то есть электроны должны были компенсировать соответствующую величину положительного заряда со стороны протонов.

В процессе бета-распада ядро углерода-14 превращается в ядро азота-14, изотопа седьмого элемента периодической таблицы, который, согласно принятому в то время ходу мыслей, должен был бы состоять из 14 протонов – так же как и углерод-14 – и 7 электронов, на один меньше, чем до этого. Это позволяло объяснить изменение величины электрического заряда,

поскольку величина заряда у ядра азота равна 7; казалось, все сходится, поскольку после распада электрон с высокой скоростью покидает ядро.

Но все сходилось только до того момента, когда вы обращали внимание на энергию.

В 1905 году Эйнштейн продемонстрировал эквивалентность энергии ( $E$ ) и массы ( $m$ ) с помощью своего знаменитого уравнения  $E=mc^2$ . (Буква  $c$  обозначает скорость света, постоянную величину.) Таким образом, с точки зрения энергии до распада мы имеем обычную энергию массы ядра углерода-14, а после него у нас возникают величины энергии массы ядра азота и электрона плюс так называемая кинетическая энергия, которой обладает электрон из-за своего движения. Поскольку массы ядра азота и электрона постоянны, но их совокупная масса меньше, чем масса изначального ядра углерода, то ядерная модель 1930 года утверждала, что каждый электрон, испускаемый в ходе бета-распада, должен обладать одной и той же кинетической энергией или скоростью. Эта энергия должна быть достаточной для того, чтобы компенсировать разницу в величине энергии массы между частицей, существовавшей до распада, и двумя частицами, возникшими после него.

Проблема состояла в том, что у возникавших электронов имелся целый *диапазон*, или спектр энергий. Если бы все электроны покидали ядро с самым высоким уровнем энергии в диапазоне, то все было бы нормально, однако на практике такое, казалось, происходило крайне редко (более того, сейчас мы уже знаем, что этого не происходит в принципе). Казалось, что небольшая доля энергии каким-то образом исчезает.

Эта проблема оставалась нерешенной более 20 лет<sup>30</sup>. Лиза Мейтнер, австрийский ученый-экспериментатор с хорошей теоретической подготовкой, и Отто Ган, знаменитый немецкий радиохимик, занялись изучением спектра бета-излучения в 1907 году. Они считали, что им вообще не удастся найти никакого спектра, и поначалу все шло именно так, как они ожидали, – и это было чрезвычайно странной ошибкой для столь профессиональной команды экспериментаторов. Вскоре они выявили некоторые недостатки своих методов, улучшили их и в 1911 году получили первые, изрядно смутившие их свидетельства того, что электроны *действительно* обладают определенным спектром. Мейтнер, единственный теоретик в команде, не была готова согласиться со своими собственными результатами. Она выдвинула целый ряд предположений относительно возможных проблем в технике нового эксперимента или вторичных процессов в ядре, которые могли бы как-то изменить изначальное чистый поток. Однако большинство сомнений экспериментаторов рассеялось в 1914 году, когда Джеймс Чедвик, работавший под руководством великого Эрнеста Резерфорда в Кавендишской лаборатории в британском Кембридже, завершил то, что ныне считается первым четким экспериментом, доказавшим существование спектра<sup>31</sup>.

Однако Лиза Мейтнер продолжала настаивать на своем. Последовали новые эксперименты, к которым присоединились другие ученые, в том числе еще один британец – Чарльз Драммонд Эллис. Битва над загадкой продолжалась еще 13 лет, до 1927 года, когда Эллис и его коллега Уильям Вустер смогли не только исключить влияние вторичных процессов, но и доказать, что какая-то энергия действительно пропадала, поскольку *средняя* скорость возникающих электронов была слишком низкой для того, чтобы обеспечить разницу в величине энергии массы между старым ядром (которое существовало до распада) и новыми ядром и электроном, возникшими после распада<sup>32</sup>. Разумеется, одного эксперимента было недостаточно для того, чтобы убедить все научное сообщество, и в частности Лизу Мейтнер. Поэтому только после того, как через два года, в самом конце 1929 года, она вместе со своим ассистентом Вильгельмом Ортманном подтвердила и развила результаты Эллиса и Вустера, физическое сообщество было вынуждено признать тот факт, что в процессе бета-распада происходит что-то непонятное<sup>33</sup>.

За предыдущие несколько десятилетий атом преподносил ученым так много сюрпризов, что архитекторы новой квантовой теории, в частности Нильс Бор, желали подвергнуть сомнению любые классические «истины». В рукописи, отправленной Паули в середине 1929 года, Бор предположил, что наличие недостающей энергии может служить свидетельством того, что священный закон сохранения не работает в квантовой реальности.

Это стало серьезным ударом по представлениям Паули, глубоко ощущавшего симметрию в мире физики (мало кто из простых смертных понимает, насколько сильно красота и элегантность способны мотивировать физика-теоретика и что принципы симметрии не просто красивы, а представляют собой один из самых мощных инструментов в его работе). Паули не мог понять, почему в ходе бета-распада электрический заряд должен сохраняться, а энергия – основа успешной специальной теории относительности Эйнштейна – нет<sup>34</sup>. Паули ответил своему наставнику (Паули учился у Бора в его институте в Копенгагене) с типичной для себя откровенностью:

Должен сказать, что ваша работа меня совсем не удовлетворила... В реальности мы совершенно не представляем себе, в чем дело. Этого не знаете и вы... В любом случае дайте этому вопросу хорошенько отлежаться, и да будут сиять над нами мирные звезды!<sup>35</sup>

Получив этот ответ, Бор так никогда и не опубликовал свою рукопись, Паули же последовал своему собственному совету и отложил вопрос в сторону. Со временем он начал подозревать, что проблема недостающей энергии может быть связана с другой, недавно возникшей головоломкой в имевшейся ядерной модели, а именно головоломкой спина. Спин чем-то напоминает вращение планеты, с тем исключением, что спин – это естественное свойство элементарных частиц наряду с их массой или электрическим зарядом. Частицы постоянно вращаются.

В 1924 году, предложив принцип запрета, Паули фактически предположил существование спина еще до его открытия. Старая квантовая модель атома, предложенная Бором, – подлинный шедевр того времени – говорила, что на каждом уровне энергии, или орбите, окружающей ядро атома, может быть не более двух электронов. Однако это было всего лишь предложением, не имевшим под собой никакой объективной основы. Паули же создал эту основу, которая стала новым законом физики. В своей простейшей форме принцип запрета утверждает, что никакие два электрона не могут пребывать в одном и том же квантовом состоянии. А поскольку на каждой орбите Бора имелось по два электрона, Паули пришел к выводу, что электрон должен обладать каким-то еще не открытым свойством. Однако, считая, что было бы непродуктивно использовать свой классически настроенный ум для визуализации происходящего в странном мире кванта, он отказался выдвигать какие-либо идеи о том, как может выглядеть это свойство. Паули назвал его «классически не описываемой двухзначностью»<sup>36</sup>. Через год голландские физики Джордж Уленбек и Сэмюэль Гаудсмит объяснили некоторые тонкости конкретного свойства эмиссионного спектра водорода, которое они и определили как спин<sup>37</sup>.

Частицы ведут себя по-разному в зависимости от своего спина. И, как почти всегда в мире квантовой механики, это свойство проявляется на квантовом уровне. Частицы с полуполным спином, такие как электрон, протон и нейтрон, следуют принципу запрета. А частицы с целым спином, такие как фотон или частица света, – нет. Им *нравится* быть вместе. Идея спина позволила создать новую интересную форму для атомной модели Бора, поскольку электрон, обладающий полуполным спином, может иметь лишь два спиновых состояния: направленные вверх и вниз. Спин, направленный вверх, будет выстраивать пару со спином, направленным

вниз, на каждой атомной орбите, и участники этой пары не будут подпускать на свою орбиту никого другого.

Однако эта конструкция начала распадаться уже в 1929 году, когда несколько экспериментов показали, что ядро азота имеет общий спин, равный 1, и, соответственно, не следует принципу запрета<sup>38</sup>. Кроме того, возникало противоречие с принципами протонно-электронной модели ядра, согласно которым ядро азота должно содержать 14 протонов и 7 электронов – всего 21 частицу с полуцелым спином. Соответственно, не было и никакой возможности расставить нечетное количество спинов с полуцелым значением так, чтобы в итоге возникал спин с величиной, равной 1. К примеру, 10 спинов могли быть направлены вверх, а другие 10 – вниз, аннулируя, таким образом, влияние друг друга, однако последняя оставшаяся частица все равно создавала величину спина, равную половине целого значения.

Эти две головоломки не давали покоя Паули в течение пары лет, несмотря на боль, которую он испытывал после смерти матери, и на переживания из-за рухнувшего брака. Возможно, что отчасти понимание пришло к нему именно благодаря разводу – всего через восемь дней после этого события Паули написал остроумное «Открытое письмо группе радиоактивных участников конференции в Тюбингене», в котором предлагалось возможное решение для обеих задач<sup>39</sup>.

Его приглашали приехать на эту конференцию в Тюбинген, однако Паули написал, что не сможет прибыть туда лично. Причиной, по его собственным словам, был «бал, намеченный в Цюрихе в ночь с 6 на 7 декабря». Письмо на конференцию доставил один из друзей Паули. Оно было адресовано в первую очередь двум экспериментаторам, которых Паули очень уважал, – Лизе Мейтнер и Хансу Гейгеру, изобретателю счетчика частиц, названного в его честь.

Письмо начиналось обращением к «дорогим радиоактивным леди и джентльменам», затем Паули сообщал:

Мне удалось... нащупать необычное средство для спасения статистического закона чередования [принцип запрета] и закона сохранения энергии. Возможно, что в ядре могут существовать частицы с нейтральным электрическим зарядом, которые я предлагаю называть нейтронами и которые обладают спином  $\frac{1}{2}$ , следуют принципу запрета и отличаются от квантов света тем, что не движутся со скоростью света. Масса нейтронов должна быть сопоставима с массой электронов и в любом случае не должна составлять более 0,01 массы протона.

Таким образом, мы сможем найти объяснение наличия  $\beta$ -спектра при условии, что в процессе  $\beta$ -распада, помимо электрона, излучается и нейтрон, причем таким образом, что сумма энергий нейтрона и электрона сохраняет свою стабильность<sup>40</sup>.

Чтобы избежать дальнейшей путаницы в терминах, сразу скажу, что частица, которую описывает Паули, в наши дни известна под названием «нейтрино». В сущности, частица Паули представляла собой довольно неуклюжую комбинацию нейтрино и другой частицы, известной нам как нейтрон (и поэтому находятся люди, считающие, что Паули открыл и то и другое<sup>41</sup>). Однако, как бы то ни было, Паули сформулировал часть уравнения, связанную с нейтрино, почти безошибочно: энергия, исчезающая в процессе бета-распада, могла забираться доселе невиданной, легкой, электрически нейтральной частицей с полуцелым спином. Пятью годами позже итальянский физик Бруно Понтекорво заметил:

Сложно найти другой пример, в котором слово «интуиция» характеризует какое-либо человеческое достижение лучше, чем в случае с идеей нейтрино, предложенной Паули<sup>42</sup>.

Паули предполагал, что энергия каким-то образом делится между его новой, невиданной частицей и кинетической энергией электрона. Часть энергии питала электрон, отлетавший от ядра, а оставшаяся направлялась в нейтрино. Общая величина энергии оставалась постоянной, однако ее доля, распределявшаяся по нейтрино, могла случайным образом меняться от одного распада к следующему. Это позволяло обеспечить сохранение энергии для каждого отдельного бета-распада и объяснить постоянно возникавший спектр энергии. Предположив, что электрически нейтральная частица со спином, равным полуцелому значению, может «существовать в ядре» – по одной для каждого электрона, – Паули мог решить загадку нечетного количества частиц в ядре и предложить решение для азотной аномалии.

Однако его предвидение выглядело не столь четким, когда речь заходила о составляющих ядра. Нейтрон, который, как мы знаем, «существует в ядре», имеет два таких же свойства, что и нейтрино, – электрическая нейтральность и полуцелое значение спина, – однако он весит почти столько же, как протон, и не излучается в ходе бета-распада. Для решения двух головоломок нужны были две частицы, несколько теоретических открытий и серия экспериментов, которые и были произведены в следующие несколько лет.

Паули был достаточно проникновенен, чтобы понимать, что он блуждает в темноте:

Я допускаю, что мой прием может на первый взгляд показаться довольно невероятным, потому что, если бы нейтрон существовал, он давно был бы открыт. Тем не менее кто не рискует, тот не выигрывает. И тяжесть ситуации в отношении непрерывного  $\beta$ -спектра подтверждается высказыванием уважаемого предшественника на моей позиции, господина Дебая [Петера Дебая, получившего Нобелевскую премию по химии в 1936 году], который не так давно сказал мне в Брюсселе: об этом лучше вообще не думать, так же как о новых налогах. Поэтому мы должны серьезным образом обсуждать любой путь к спасению.

Итак, дорогие радиоактивные коллеги, прошу вас подвергнуть мою идею тестированию и обсуждению.

Под «радиоактивными коллегами» Паули имел в виду прежде всего Лизу Мейтнер и Гейгера. Они благосклонно (насколько это было в их силах) отнеслись к новой идее. С одной стороны, им не было известно ни одно экспериментальное свидетельство, которое *противоречило бы* идее Паули, однако с другой – они не знали и ни одного ее подтверждения. И такое положение вещей сохранялось еще в течение следующих 26 лет.

Ву Цзяньсюн, американский физик-экспериментатор китайского происхождения, с которой мы еще встретимся в этой книге, как-то заметила, что

будущие поколения, знающие о триумфальном успехе гипотезы о нейтрино, возможно, так никогда и не смогут в полной мере оценить те смелость и прозрение, которые потребовались [в 1930 году], чтобы выдвинуть столь странную идею, как существование неуловимой частицы<sup>43</sup>.

Поразительно, что подобное странное и призрачное создание возникло в мыслях человека, находившегося в самом разгаре глубокого эмоционального кризиса. Несмотря на то что

нейтрино была первой из выявленных учеными субатомных частиц, она до сих ставит множество вопросов перед физиками. Даже сейчас, спустя столетие после прозрения Паули, крошечные частицы продолжают указывать путь новой физике, располагающейся за пределами стандартной модели. В письме, написанном в 1958 году, за два месяца до смерти, он описывал нейтрино как

безумное дитя, порождение кризиса в моей жизни (1930–1931), которое и само вело себя безумным образом<sup>44</sup>.

Всегда осторожный, создатель «нейтрона» Паули в течение следующей пары лет говорил о нем довольно неохотно: он боялся, что построил всего лишь некий воздушный замок. Британский астроном Фред Хойл однажды рассказал историю, услышанную им от астронома Вальтера Бааде, который познакомился с Паули в Гамбурге, а затем стал одним из его друзей на всю жизнь. Как-то вечером в 1930 или 1931 году (возможно, в тот самый день, когда Паули написал свое знаменитое письмо) Бааде зашел домой к Паули в Цюрихе, и тот заявил гостю: «Сегодня я совершил нечто ужасное, нечто, чего никогда не следует делать физику-теоретику: я выдвинул предложение, которое никогда не будет возможно проверить экспериментальным путем»<sup>45</sup>. По словам Хойла, «Бааде тут же побился с приятелем об заклад на ящик шампанского – любимого напитка Паули – на то, что нейтрино рано или поздно все же будет обнаружено экспериментально».

Паули провел лето 1931 года в США, читая лекции в Чикаго, Анн-Арборе и Нью-Йорке. В июне он впервые представил «свою» частицу на публике на совместном заседании Американской ассоциации содействия развитию науки и Американского физического общества, проходившем в калифорнийской Пасадене<sup>46</sup>. Статья в *New York Times* следующим образом описывала происходившее:

Физики неохотно признают третью частицу. Что касается протонов и электронов, они позволили сузить описание атома до очень простых понятий. Третья частица добавляет усложнения, которые физики так не любят. Кроме того, нет никаких экспериментальных свидетельств существования нейтронов. Они чем-то напоминают среднего человека из мира статистиков – исключительно математическое творение<sup>47</sup>.

В самом деле, многие уважаемые физики на протяжении ряда следующих десятилетий воспринимали идею нейтрино как всего лишь полезный для работы математический трюк.

\* \* \*

Ментальное состояние Паули тем временем продолжало ухудшаться. Сухой закон в США, судя по всему, не был для него проблемой. К примеру, ничего не стоило контрабандой доставить виски в Анн-Арбор, находившийся неподалеку от границы с Канадой. Как-то на званом обеде в этом городе Паули так напился, что скатился по лестнице с самого верха пролета и сломал руку. Ему пришлось совершить долгий переезд в Пасадену с загипсованной рукой, «вытянутой вверх, как у дорожного регулировщика», а позднее он шутил, что это был единственный раз в его жизни, когда он поднимал руку в нацистском приветствии.

В конце октября Паули отправился через Атлантический океан в Рим, чтобы посетить конференцию, которую организовал новый влиятельный игрок в мире физики – Энрико

Ферми. Сэмюель Гаудсмит, один из первооткрывателей спина, который также присутствовал на конференции, позднее описывал ее как «первую встречу, посвященную теме ядерной физики». А прибытие Паули через день или два после начала послужило отличным примером уже ставшего к тому времени легендарным «эффекта Паули». Гаудсмит вспоминал, что «он вошел в зал в тот самый момент, когда я произнес его имя! Это было настоящим волшебством! Когда я сказал об этом, вся аудитория разразилась смехом»<sup>48</sup>.

Всю жизнь Паули преследовали странные совпадения. Казалось, что в его присутствии все ломается и вечно происходят несчастные случаи, причем все эти бедствия никогда не приносили никаких неудобств самому Паули<sup>49</sup>. Один из его учеников Маркус Фирц пишет, что

даже достаточно прагматично настроенные физики-экспериментаторы были убеждены, что Паули вызывает какие-то странные эффекты. В частности, они верили, что один факт его присутствия в лаборатории может привести к всевозможным сбоям в ходе экспериментов... По этой причине его друг [со времен работы в Гамбурге, лауреат Нобелевской премии] Отто Штерн, мастер работы с молекулярными пучками, никогда не позволял Паули входить в свою лабораторию...

Сам Паули так же искренне верил, что с ним действительно связан какой-то эффект. Как-то раз он рассказал мне, что заранее почувствовал приближение какой-то неприятности, а когда она наконец произошла – одна в череде многих! – он испытал странное чувство освобождения и просветления<sup>50</sup>.

Возможно, самый знаменитый подобный пример – случай, когда у нобелевского лауреата Джеймса Франка, работавшего в немецком Геттингене, без каких-либо видимых причин отказал один из элементов оборудования. Франк полагал, что Паули в этот момент находился в Швейцарии, и в письме ему высказал ироническое предположение, что в данном случае Паули уж точно никак не мог повлиять на случившееся. Однако Паули ответил, что как раз в названный день ехал в Копенгаген и его поезд сделал короткую остановку в Геттингене именно в момент поломки!<sup>51</sup> На одном приеме, устроенном в честь Паули, его друзья решили его разыграть. Они подвесили люстру на веревке и хотели отпустить ее в тот момент, когда Паули войдет в комнату. Однако в самый последний момент веревка запуталась в шкиве, и розыгрыш не получился<sup>52</sup>.

Энрико Ферми был на год моложе Паули. Впервые они встретились в Геттингене в 1923 году, когда оба учились у Макса Борна. К 1930 году Ферми собрал вокруг себя группу молодых воодушевленных ученых, получившую название «Парни с улицы Панисперна» (*I ragazzi di Via Panisperna*) – в честь улицы в Риме, где располагался их институт. Ферми обладал практическим складом ума (в отличие от Паули) и умел глубоко вникать в детали. Ферми был одним из немногих великих теоретиков, который также занимался прорывными экспериментами и был открыт для новых идей.

Он пригласил Паули рассказать о «его» новой частице на конференции, однако Паули «все еще сохранял осторожность и *не выступал* публично в Риме... ограничиваясь лишь частными беседами» («Ужасная ситуация, – жаловался он. – Мне пришлось пожимать руку Муссолини!»<sup>53</sup>). Несколько раз он плодотворно пообщался с Ферми, который «сразу же проявил живой интерес к моей идее и очень позитивно отнесся к моим новым нейтральным частицам». Кроме того, он поучаствовал в неизбежном споре с Бором, который, «напротив, упорно защи-

щал свою идею о том, что в ходе бета-распада энергия сохраняется лишь в статистическом смысле»<sup>54</sup>. Бор был известен как отъявленный спорщик.

Вернувшись домой в Цюрих, Паули достиг нового дна в ночных приключениях, выпивке, вечеринках и драках. Он стал настолько сварливым в отношениях со своими коллегами, что ему пригрозили увольнением из ЕТН<sup>55</sup>. В отчаянии он последовал совету презираемого им отца и обратился за помощью к психологу и психиатру Карлу Юнгу, который впоследствии следующим образом вспоминал их первую встречу:

Что можно сказать об упорном ученом-рационалисте, создававшем в своем воображении и фантазиях одну мандалу за другой? Ему было необходимо проконсультироваться с психиатром. Он был на грани потери рассудка из-за того, что его вдруг начали атаковать самые удивительные мечты и видения... Придя ко мне на первую консультацию, он находился в настолько паническом состоянии, что не только он сам, но и я почувствовал дуновение ветерка из психиатрической лечебницы<sup>56</sup>.

Тем не менее, понимая, что он имеет дело с экстраординарной личностью, мышление которой наполнено «архаическим материалом», Юнг решил «провести интересный эксперимент и получить совершенно чистый материал, без какого-либо влияния с моей стороны»<sup>57</sup>. У Юнга были подозрения о том, что у Паули имеются проблемы в отношениях с противоположным полом, и поэтому он попросил коллегу – молодую и не слишком опытную женщину-психотерапевта – стать лечащим врачом Паули, а сам следил за ходом терапии со стороны (молодая женщина произвела на пациента довольно тревожное первое впечатление: во время первого сеанса Паули был настолько переполнен эмоциями, что, рассказывая свои истории, он принимался время от времени кататься по полу<sup>58</sup>).

Наука в этот период активно двигалась вперед. В феврале 1932 года, примерно в то же время, когда Паули начал посещать психотерапевта, Джеймс Чедвик открыл нейтрон<sup>59</sup>. Частице Паули теперь требовалось новое имя, и она получила его благодаря «парням с улицы Панисперна»: по словам современного итальянского физика Луизы Бонолис,

слово «нейтрино», забавное и грамматически неверное сокращение итальянского слова *neutronino* («крошечный нейтрон»), вошло в международный словарь благодаря Ферми<sup>60</sup>.

Начался взрывной рост физики элементарных частиц. В августе 1932 года Карл Андерсон из Калифорнийского технологического института открыл позитрон в потоке космических лучей, падающих на Землю<sup>61</sup>.

\* \* \*

Физика космических лучей – это огромная и чрезвычайно уважаемая область науки, которая тесно связана не только с физикой частиц, но и с ядерной и квантовой физикой. Кроме того, физика космических лучей обеспечивает надежное жизненное пространство для развития нейтринной астрономии. До середины 1950-х годов, когда на сцену вышли ускорители элементарных частиц, физика космических лучей служила своего рода питательным бульоном для множества прорывов в ядерной физике и физике частиц. Отличными примерами могут служить сделанное Андерсоном открытие позитрона, оказавшее самое серьезное влияние на

нейтринную физику, а также принадлежащее ему же открытие мюона, тесно связанное с изучением нейтрино.

Физика космических лучей родилась в 1912 году, когда австрийский физик Виктор Гесс произвел с помощью водородного аэростата первые измерения на высоте около пяти километров. Эти измерения доказали повсеместное присутствие «ионизирующего излучения», которое постоянно проникает из космоса в атмосферу, а через нее и в наши тела и в глубь планеты<sup>62</sup>. Как нам известно сегодня, эти «лучи» состоят в основном из протонов и более крупных атомных ядер – а после того как мы научились выявлять нейтрино, то поняли, что в лучах присутствуют и они. Создать астрономию, основанную на космических лучах из заряженных частиц, невозможно, поскольку межзвездные магнитные поля искривляют траекторию частицы при движении в космосе и ее текущее направление не позволяет понять, откуда именно она пришла. С другой стороны, поскольку нейтрино не имеет заряда, то оно движется по прямой, как свет, и поэтому *может* использоваться для целей астрономии.

Возможно, величайшим физиком, изучавшим космические лучи, можно считать француза Пьера Оже, который как-то назвал ранних первопроходцев науки «альпинистами, шахтерами, ныряльщиками и воздушными гонщиками»<sup>63</sup>. Он писал:

Невозможно даже перечислить все места, в которых могут проводиться измерения. Как-то я услышал великолепную историю, которую рассказал один русский физик, читавший лекцию по-французски: «Я измерял излучение в море и в горах; я измерял его на дне озер и в верхних слоях атмосферы, в соляных и угольных шахтах, в самых глубоких пещерах. И, наконец, я смог измерить его *en fer* [франц. «в аду»]». Разумеется, он желал сказать: *dans le fer* [франц. «в железе»]!<sup>64</sup>

Полевые исследователи и в наши дни работают в удаленных и труднодоступных местах. Один серьезный эксперимент проводится сейчас на Тибетском нагорье, а другой – на высоте четырех километров на склонах мексиканского вулкана. Обсерватория имени Пьера Оже, названная в честь легендарного ученого-первопроходца, располагается на площади, примерно равной размеру штата Род-Айленд, на обширном высокогорном плато Пампа-Амарилья на западе Аргентины.

\* \* \*

Позитрон Андерсона был первой так называемой античастицей (в данном случае «анти» по отношению к электрону. Позитрон имеет ту же массу и спин, но при этом положительный электрический заряд). (Антиматерия не так уж экзотична, как может показаться. Абрахам Пайс указывает, что «это такая же материя, ничуть не в меньшей степени, чем известная нам»<sup>65</sup>). Кроме того, открытие позитрона позволило ответить на вопрос, поднятый в так называемом уравнении Дирака<sup>66</sup> (о котором молодой Поль Дирак думал зимой 1927–1928 годов и которое многие считают самым красивым уравнением во всей физике<sup>67</sup>).

Поначалу Дирак не очень понимал, как именно интерпретировать свое творение, поскольку оно содержало абсурдное предсказание о том, что электрон может обладать отрицательной энергией. Однако эта математика вполне подходила для случая, когда обсуждаемая частица обладает позитивным электрическим зарядом и может обладать положительной энергией. После размышлений, продолжавшихся несколько дней, Дирак в 1931 году выдвинул предположение о существовании «антиэлектрона» с позитивным зарядом<sup>68</sup>, а менее чем через

год позитрон оставил свой первый след в диффузионной камере. Андерсон и Виктор Гесс разделили в 1936 году Нобелевскую премию в области физики.

В 1927 году Дирак внес еще один теоретический вклад, позволивший развить идею нейтрино. Он применил новую квантовую теорию к случаю взаимодействия атома с электромагнитным полем, предложив, таким образом, первую теорию «квантовой электродинамики»<sup>69</sup>. Теперь, в классическом виде, свет должен был представлять собой волну в электромагнитном поле; однако в начале столетия Эйнштейн уже указал, что он порой может вести себя как частица, то есть как фотон. Демонстрируя в своей новой теории, что фотон может спонтанно появляться и исчезать в пустоте, Дирак дал понять, что то же самое могут делать и другие элементарные частицы. А когда нейтрону Чедвика удалось, по сути дела, «изгнать» электрон из ядра, некоторые ученые начали подозревать, что электрон, излучаемый в ходе бета-распада, может возникать спонтанным образом<sup>70</sup>. Те из них, кто отнесся к идее нейтрино серьезно, начали подозревать, что и оно способно на это. Позднее Паули вспоминал, что «ясность в целом» пришла к нему и другим на седьмой Сольвеевской конференции, которая прошла в Брюсселе в октябре 1933 года<sup>71</sup>.

Поскольку новые открытия следовали одно за другим, организаторам конференции пришлось несколько раз на ходу менять повестку дня. На конференции присутствовали многие важные действующие лица эпической саги о бета-лучах – такие как Эрнест Резерфорд, Лиза Мейтнер, Джеймс Чедвик и Чарльз Драммонд Эллис<sup>72</sup>. Бор и Паули приехали в сопровождении своих коллег-теоретиков – Шрёдингера, Гейзенберга и Дирака, – и к ним присоединились две восходящие звезды, Энрико Ферми и Рудольф Пайерлс (в свое время Пайерлс учился вместе с Паули).

Здесь же была и Мари Кюри – «королева радиоактивности» (в следующем году она умерла от лейкемии, вызванной облучением), а также ее дочь и зять, Ирен и Фредерик Жолио-Кюри, – оба супруга к тому времени уже сделали собственную успешную научную карьеру. Им удалось обнаружить нейтрон и позитрон в своих лабораториях еще до открытия этих частиц Чедвиком и Андерсоном, однако они так и не поняли, что именно им удалось открыть.

Удача начала поворачиваться лицом к Жолио-Кюри в Брюсселе, когда они представили первые проблески одного из самых примечательных открытий XX века – явления ядерного распада, «расщепления атома», которое через 13 лет обеспечит начинкой атомную бомбу. Они начали бомбардировать тонкие листы алюминия и бора альфа-частицами, иными словами – ядрами атома гелия, состоящего из двух протонов и двух нейтронов. В результате им удалось создать первые искусственные радиоактивные субстанции: нестабильные изотопы фосфора и углерода. Однако, как и во многих других случаях, супруги Жолио-Кюри к моменту конференции еще не до конца осознали, что им удалось создать эти изотопы, – и как раз обсуждения в Брюсселе позволили им прийти к полноценному открытию примерно тремя месяцами позже. Однако они представили свидетельства, крайне важные для открытия нейтрино: новую форму бета-распада, создававшую позитрон вместо электрона<sup>73</sup>. И теперь, когда Чедвик нашел для нейтрона четкое место в ядре, появилась возможность понять суть двух форм бета-распада, напоминающих две стороны одной и той же монеты.

Фосфор располагается на две позиции правее алюминия в периодической таблице элементов: в его ядре на два протона больше. Жолио-Кюри удалось заставить ядро атома алюминия принять оба протона из альфа-частицы. Созданный ими искусственный фосфор затем выпустил один позитрон и превратился в кремний, располагающийся в таблице между алюминием и фосфором. Теперь мы уже знаем, что при такой форме бета-распада протон заменяется нейтроном и, таким образом, в результате распада возникает элемент, находящийся на предыдущем месте в периодической таблице, – в прежнем процессе нейтрон менялся на протон и появлялся *следующий* элемент. Электрический заряд сохраняется в каждом из этих случаев,

поскольку возникновение позитрона компенсирует *исчезновение* протона в процессе, использованном Жолио-Кюри, в то время как в изначальном процессе возникновение электрона компенсировало *появление* протона.

Следующий элемент ясности в идею Паули добавил Чарльз Драммонд Эллис. Можно сказать, что он забил последний гвоздь в гроб альтернативной гипотезы бета-распада, предложенной Нильсом Бором. Как мы помним, Бор предположил, что принцип сохранения энергии может не выдерживаться в отдельных случаях распада, однако работает в процессе в целом. Это предполагало, что высокие значения в спектре энергии бета-электронов будут встречаться редко, однако у спектра не будет четкой верхней границы. В ходе конференции Эллис и его ученик У. Дж. Хендерсон представили результаты, согласно которым спектр энергии все же *имел* верхнюю границу, причем именно там, где она ожидалась по итогам обсуждений энергии массы<sup>74</sup>. Это значило, что средняя энергия электронов должна была быть ниже этой границы, то есть энергия терялась даже *в среднем* — если только в процессе не участвовала хотя бы одна другая частица. Кое-кто утверждает даже, что в ходе этого эксперимента Эллис и Хендерсон *открыли* нейтрино, и по сегодняшним стандартам научного открытия с этим можно было бы согласиться. Однако Бор по-прежнему демонстрировал необычайное упорство и не сдавался еще три года<sup>75</sup>.

Сложив все эти новые открытия в одну картину, Паули понял, что обе формы бета-распада представляют собой еще одну проблему с точки зрения сохранения энергии. Он подумал о спине, который *требовал* излучения нейтрино: если вы помните, каждая частица, вовлеченная в любую из форм бета-распада, обладает полуцелым спином. К примеру, если в процессе Жолио-Кюри протон в нестабильном ядре атома фосфора меняется на нейтрон и происходит излучение одного лишь позитрона, возникает еще один полуцелый спин: два полуцелых спина могут вместе создать значение, равное 1 или 0, но не изначальное полуцелое значение.

Однако в случае, когда происходит также выброс нейтрино со значением спина, равным 1/2, спин сохраняется. Через много лет Паули писал<sup>76</sup>:

С учетом этой новой ситуации мое желание отложить публикацию представляется излишним... я отказался от своих идей в отношении нейтрино (как эта частица называется теперь) в ходе дискуссии на конференции<sup>77</sup>.

Крошечная частица еще не окончательно родилась, однако по прошествии трех лет можно было сказать, что она хотя бы была зачата. К тому времени и сознание ее первооткрывателя вновь обрело ясность.

\* \* \*

Психотерапевтические сеансы Паули у молодой женщины-врача продолжались пять месяцев, «а затем в течение еще трех месяцев он работал над собой самостоятельно», пишет Юнг, «пунктуально отслеживая собственное бессознательное. В этом деле он был очень талантлив»<sup>78</sup>. В середине 1933 года, за несколько месяцев до Сольвеевской конференции, Паули приступил к терапии с самим Юнгом.

Через шесть месяцев после конференции Паули вступил во второй, более успешный брак, который сохранился до конца его жизни. Еще через несколько месяцев завершилась и его терапия, однако они с Юнгом сохранили дружеские отношения. По просьбе психолога Паули продолжал записывать свои яркие и примечательные сны — всего таких записей было сделано больше тысячи («они содержали совершенно сказочные серии архетипических образов», сооб-

щает Юнг<sup>79</sup>). Эти сны легли в основу нескольких важнейших лекций и научных работ Юнга; при этом личность Паули не раскрывалась и пациент в этих рассказах Юнга всегда оставался анонимным<sup>80</sup>. То, что этим пациентом Юнга был именно Паули, стало известно лишь через пару десятилетий после смерти их обоих.

Они переписывались до конца жизни Паули и часто встречались вечерами для бесед в доме Юнга на берегу Цюрихского озера. Психологическое выздоровление (на юнгианском языке – индивидуация) Паули и его идеи о нейтринно привели к серьезному перевороту в его научной деятельности. Разумеется, Паули, как и прежде, вносил большой вклад в чистую физику, однако при этом он начинал постепенно превращаться в натурфилософа в традициях Ньютона, Кеплера и средневековых алхимиков, чрезвычайно интересовавших Юнга.

И психолог Юнг, и физик Паули считали традиционный научный подход к познанию природы неполным. Они принялись искать пути для его развития<sup>81</sup>. Помимо прочего, они вместе начали исследовать область, которую Юнг однажды назвал «нейтральной территорией между Физикой и Психологией Непознанного... самым увлекательным, но и самым таинственным полем для охоты в наше время<sup>82</sup>».

Возможно, самая революционная особенность квантовой механики – это знаменитая «неотделимость наблюдателя от наблюдаемого объекта», поскольку она предполагает отсутствие так называемой объективной реальности (Эйнштейн считал это следствие теории особенно неприятным). То, что именно человек наблюдает, зависит от того, как именно он это делает, и сам факт наблюдения неминуемо меняет состояние наблюдаемой системы. Однако в области квантовой механики наблюдатель все еще отчужден от объекта: неотделимость носит лишь физический характер и связана лишь с вещами типа того, как настроен аппарат измерения.

Паули подозревал, что теория в этом направлении продвинулась недостаточно далеко и что «наблюдатель в физике наших дней все еще полностью отчужден»<sup>83</sup>. Паули и Юнг верили, что мышление и материя представляют собой зеркальное отражение друг друга, «дополняющие друг друга аспекты одной и той же реальности... управляемые одними и теми же принципами»<sup>84</sup>. Этими принципами были архетипы Юнга. Выше я уже упоминал о глубоком значении и красоте симметрии в законах физики. Паули был буквально одержим симметрией во всех ее видах, и в частности зеркальной симметрией.

В 1952 году Паули и Юнг стали соавторами книги «Интерпретация природы и психе» (*The Interpretation of Nature and Psyche*)<sup>85</sup>, состоявшей из двух монографий. Юнг написал знаменитую (возможно, печально знаменитую) работу «Синхроничность: акаузальный связующий принцип», в которой описал механизм, лежащий в основе осмысленного совпадения и определенных паранормальных явлений типа телепатии. Разумеется, у Паули имелся свой личный интерес к акаузальным связям, отчасти связанный с эффектом, названным его именем. Паули подозревал, что этот эффект представляет собой «синхронистическое выражение глубокого конфликта между его рациональной и иррациональной» сторонами<sup>86</sup>. Ему не составило особого труда убедить Юнга пуститься в исследование этой опасной реальности, и он сам внес большой вклад в работу последнего.

Собственная монография Паули под названием «Влияние архетипических представлений на формирование естественнонаучных теорий у Кеплера»<sup>87</sup> была посвящена изучению роли бессознательного в процессе научного открытия. Конечно, нам стоит быть осторожными, когда мы пытаемся кратко изложить необычайно точный и строгий ход мысли Паули. Однако я думаю, что будет правильным дать следующее резюме: Паули верил в то, что новые открытия становятся возможны лишь тогда, когда коллективный разум общества уже способен предста-

вить их себе или воспринять их; движущей силой этого параллельного развития, идущего, как я уже говорил, скачкообразно, от теории к эксперименту, выступают именно архетипы.

Готовя свою концепцию к печати и обретая свою индивидуацию, Паули несколько отвлекся от дальнейшего развития идеи нейтрино. Однако его безумное дитя готовило Паули еще один большой удар.

## Глава 2

### Детство и юность

Сольвеевская конференция 1933 года позволила обрести «полную ясность» и Энрико Ферми. Вернувшись в Рим, он погрузился в создание квантовой теории бета-распада и завершил работу над ней в декабре, менее чем через два месяца после конференции.

Ферми подвергал проверке всё новые и новые идеи. Так, он предположил, что электрон и нейтрино могут возникать одновременно, что протоны и нейтроны способны обмениваться своими идентичностями, а также согласился с Паули в том, что все известные нам законы сохранения энергии работают и в новых условиях. Воспользовавшись подсказкой Гейзенберга, который заявил в Брюсселе (ошибочно, как выяснилось позднее), что протон и нейтрон могут представлять собой различные состояния одной и той же фундаментальной частицы, Ферми предположил, что электрон и нейтрино тоже должны быть как-то с этим связаны, – и этот вывод скоро начал завоевывать все больше сторонников<sup>88</sup>.

Хотя сам Ферми ничего не говорил на эту тему, но предложенная им модель бета-распада оказалась первой рудиментарной теорией слабого ядерного взаимодействия. Иными словами, можно считать, что он открыл третью фундаментальную силу природы после гравитации и электромагнетизма (в наши дни известны четыре такие силы – вскоре после описываемых событий было открыто сильное ядерное взаимодействие). Кое-кто считает модель Ферми первым примером современной теории поля<sup>89</sup>, а Фрэнсис Халзен, вдохновитель *IceCube*, отмечает, что ее также можно считать стартовой точкой для стандартной модели физики элементарных частиц, которая была сформулирована лишь через 40–50 лет.

Теория с блеском выдержала самую главную проверку – тест на прогностическую ценность. Ферми использовал теорию, чтобы получить на основе базовых принципов кривую, которая терзала и теоретиков, и экспериментаторов на протяжении 20 с лишним лет, – форму спектра энергии электрона при бета-распаде. Хотя к тому моменту еще никому не удалось увидеть нейтрино, важная роль этой частицы в теории и ее соответствие данным последующих экспериментов сделали факт существования нейтрино почти неопровержимым – хотя многие физики все равно продолжали упорствовать. Когда Ферми представил свою теорию в журнал *Nature* – ведущее мировое научное издание, журнал отказал в публикации, поскольку статья «содержит слишком отвлеченные и нереалистичные рассуждения, которые вряд ли заинтересуют читателя» (пятью годами позже редакторы журнала признали, что это было, пожалуй, их самым серьезным профессиональным промахом за всю карьеру<sup>90</sup>). Тогда Ферми опубликовал свою статью в трех более специализированных – и менее известных – физических журналах<sup>91</sup>.

Используя свою теорию для расчета массы нейтрино, Ферми продемонстрировал, что эта масса должна быть «либо равной нулю, либо слишком малой по сравнению с массой электрона»<sup>92</sup>. Это предположение впоследствии также подтвердилось и, в типичной для этой странной частицы логике, сделало нейтрино еще более неуловимым.

Теория содержала в себе и несколько предположений о возможных методах выявления нейтрино – и тем самым она заложила основы нейтринной астрономии. Теория показала, что бета-распад может идти в обратном порядке: невидимое нейтрино, свободно перемещающееся сквозь пространство и время, может пройти достаточно близко к нейтрону или протону, чтобы вступить с ними во взаимодействие, изменить их сущность на обратную и в конце концов создать свободный электрон или позитрон, который затем можно будет выявить. Именно этот процесс стал теоретической основой работы телескопа *IceCube*.

К сожалению, всего через три месяца после публикации выводов Ферми Рудольф Пайерлс и другой выдающийся немецкий теоретик Ханс Бете продемонстрировали, что так назы-

ваемый обратный бета-распад возникает крайне редко<sup>93</sup>. На основе теории Ферми они продемонстрировали, что нейтрино как тип энергии, обычный для бета-распада, может пролететь в воде до тысячи световых лет – то есть в 63 миллиона раз больше расстояния от Земли до Солнца – без какого-либо взаимодействия с другими частицами. Исходя из этого, они пришли к выводу о «практической невозможности наблюдения» за частицей.

Это весьма осторожное замечание, сделанное двумя весьма умными людьми, может служить хорошим примером того, насколько это опасное дело – прогнозы. Бете и Пайерлс не могли и представить себе, что открытия в физике в течение следующих десяти лет значительно изменят сложившееся положение вещей – не говоря уже о нашем восприятии нашего места на планете в целом. Кроме того, вспоминал Пайерлс почти через 50 лет, они и рассчитывать не могли на «подобное мастерство экспериментаторов»<sup>94</sup>.

Затем в роли повивальных бабок нейтрино выступили «парни с улицы Панисперна» – несмотря даже на то, что в течение следующего десятилетия нейтрон, открытый Чедвиком, несколько вытеснил нейтрино из фокуса научных интересов физиков, провоцируя всё новые открытия, которые буквально потрясли основы мироздания.

Примерно в то же время, когда стало известно о существовании частицы Чедвика, Ферми и несколько других проникательных ученых поняли, что нейтрон должен проникать в ядро легче, чем заряженная альфа-частица с позитивным зарядом, поскольку из-за отсутствия заряда нейтрон не будет вступать во взаимодействие с протонами ядра, имеющими позитивный заряд. Используя некоторые догадки Жолио-Кюри, команда Ферми принялась бомбардировать нейтронами все известные науке элементы. В ходе этих экспериментов «парни с улицы Панисперна» совершенно случайно обнаружили, что «медленные», то есть обладающие низкой энергией нейтроны проникают в ядро легче, чем быстрые. В течение следующих нескольких лет им удалось успешно создать радиоактивные изотопы для каждого известного элемента, за исключением двух самых легких – водорода и гелия. За эту серию открытий Ферми получил в 1938 году Нобелевскую премию по физике.

Как вскоре выяснилось, он по чистой случайности остановился в шаге от открытия явления ядерного деления. Принято считать, что «парни с улицы Панисперна» смогли запустить первую искусственную реакцию деления атома в процессе работы с ураном – самым тяжелым из известных на тот момент элементов, – однако не поняли, что именно они сделали, поскольку неправильно определили состав побочных продуктов реакции. Эти парни разбирались в химии намного хуже, чем в физике, – и, возможно, это оказалось благом для всех: как заметил научный писатель и физик-теоретик Джереми Бернштейн,

можно только гадать, что произошло бы, если бы о явлении ядерного распада стало известно в фашистской Италии в 1934 году<sup>95</sup>.

Ферми получил свою премию в непростое время. В том же году Муссолини заключил союз с Гитлером и в Италии был принят ряд антисемитских законов. С присущим Ферми прагматизмом он посоветовал своей жене-еврейке Лауре купить на все имевшиеся у них деньги драгоценности, меха и тому подобное. Поехав в Стокгольм на вручение премии, он взял жену и дочь с собой. Затем они отплыли в США, где использовали призовой фонд и деньги, вырученные от продажи драгоценностей, на обустройство нового семейного гнезда и начало новой жизни. Семейство Ферми никогда больше не жило в Италии.

Покинуть родину были вынуждены и многие другие ученые – герои саги о бета-лучах: Паули, Пайерлс и Лиза Мейтнер. Мейтнер, еврейка по рождению, была крещена, вполне ассимилирована и имела австрийское гражданство, то есть была защищена от расовых законов нацистской Германии, в которой она жила и работала. Однако этот тонкий слой стабильности и защиты был прорван в марте 1938 года после аншлюса – гитлеровской аннексии Австрии.

Лиза Мейтнер в панике бросила свой дом в Берлине и Химический институт кайзера Вильгельма, где в течение четверти века проработала вместе с Отто Ганом, села в поезд и бежала из Германии. Нильс Бор смог найти для нее работу в Стокгольме<sup>96</sup>. Уже из эмиграции Мейтнер продолжила сотрудничать с Ганом единственным возможным способом – путем переписки.

Эта потрясающая пара исследователей также занималась бомбардировкой различных элементов нейтронами, а Ган, возможно самый заслуженный радиохимик своего времени, увлекся изучением урана, все изотопы которого радиоактивны. За несколько дней до Рождества того же печального года, когда Мейтнер отдыхала со своими друзьями на западе Швеции, она получила письмо от Гана, в котором сообщалось, что Ган и его ассистент Фриц Штрассманн смогли обнаружить среди продуктов распада урана, подвергнувшегося бомбардировке нейтронами, изотоп бария.

Атомное число бария равно 56, а урана – 92. Случившееся представляло собой трансмутацию совершенно иного порядка, чем ранее выявленные небольшие движения по периодической таблице: ядро урана разделилось почти пополам.

Незадолго до сочельника 1938 года, гуляя по заснеженному лесу со своим племянником, физиком Отто Фришем, Мейтнер поняла, что если в самом деле удастся сформировать два таких фрагмента, то при их разделении произойдет «выброс огромной энергии»<sup>97</sup>. Суммарная масса продуктов распада настолько меньше массы изначального ядра урана, что в ходе реакции высвобождается невероятный объем энергии-массы Эйнштейна. Позднее Фриш рассчитал, что «энергии каждого распадающегося ядра урана будет достаточно для того, чтобы заставить подпрыгнуть кучку песка». А поскольку в одном грамме урана содержится около  $10^{21}$ , то есть миллиард триллионов ядер<sup>98</sup>, взрыв в результате будет чудовищно сильным. В середине января Фриш назвал процесс *делением*, по аналогии с бинарным делением бактерий<sup>99</sup>.

Дело не ограничивается тем, что каждое отдельно взятое деление ядра создает невероятный всплеск энергии. Задолго до того, как Ган, Штрассманн и Мейтнер совершили свое открытие, несколько прозорливых ученых поняли, что расщепление ядра должно привести к так называемой цепной реакции. Когда один нейтрон расщепляет одно ядро одного изотопа урана, продукты деления проходят через бета-распад и создают новые нейтроны, скорости или энергии которых достаточно для расщепления очередного ядра, продукты распада которого создают еще больше нейтронов, те расщепляют еще больше ядер и так далее.

Второго декабря 1942 года в урановом котле (сердце современного ядерного реактора), управлявшемся Энрико Ферми, произошла первая искусственная и устойчивая ядерная цепная реакция. Реактор, получивший название *Pile* («поленница»), располагался на площадке для игры в сквош под трибунами заброшенного футбольного стадиона Чикагского университета. Вскоре после этого Ферми стал одним из основных архитекторов атомной бомбы, которая через два с половиной года поможет завершить Вторую мировую войну.

Но как все это связано с нейтрино? Дело в том, что каждый случай бета-распада в ходе цепной реакции приводит к созданию как минимум одной призрачной частицы. Таким образом, ядерный взрыв или контролируемый процесс в ядерном реакторе порождает так много нейтрино, что их количество сложно описать каким-либо конкретным числом (для таких случаев больше подходит слово «мириады»). Появление столь мощных источников нейтрино послужило основой для разработки методов выявления частицы.

В годы войны происходили и другие события, которые ускоряли эти процессы и двигали их вперед. Первое такое событие было связано с теорией, предложенной одним из самых загадочных персонажей в истории физики – худощавым, состоятельным, всегда полным пессимизма человеком по имени Этторе Майорана<sup>100</sup>, одним из «парней с улицы Панисперна». Эта группа – шутивно, но почти всерьез – считала себя едва ли не религиозным орденом, в котором

непогрешимый Ферми играл роль папы, а Майорана занимал должность великого инквизитора. Как и Вольфганг Паули, Майорана критиковал любые проявления неряшливости мышления. Ему не приходилось зарабатывать себе на хлеб, поэтому он часто просто слонялся по коридорам института со скучающим видом, а весь его научный вклад – небольшой по объему, но оказавший огромное влияние на развитие науки – был создан менее чем за десять лет. Сказать, что Майорана был незаурядным человеком, – значит ничего не сказать. Он уже при жизни славился нестандартностью своего мышления, а в 1938 году проделал трюк, который превратил его в культурную икону и любимого героя итальянских конспирологов: он сел на корабль, имея при себе паспорт и большую сумму наличных денег, – и исчез. Кое-кто считает, что он покончил с собой, другие – что он уединился в каком-то католическом монастыре, а не так давно появилась версия о том, что Майорана решил начать новую жизнь под вымышленным именем где-то в Южной Америке.

Основной вклад Майораны в нейтринную физику связан с тем, что он сформулировал загадку, остававшуюся без ответа более 80 лет. В работе, опубликованной в 1937 году<sup>101</sup>, за год до своего исчезновения, он представил вариацию уравнения Дирака, согласно которой нейтрино должно одновременно являться и своей собственной античастицей. Эта гипотеза может показаться несколько путанной, но, как мы скоро увидим, она оказала вполне реальное влияние на поиск крохотной частицы.

Второе открытие также произошло в 1937 году, и его автором стал тот же Карл Андерсон, который пять лет назад уже потряс весь мир, став первооткрывателем позитрона. Изучая вместе со своим учеником Сетом Недермайером потоки космических лучей на вершине горы Пайкс-Пик в штате Колорадо, он обнаружил частицу, ныне известную как мюон<sup>102</sup>. Это стало настоящим сюрпризом, поскольку на тот момент было совершенно непонятно, какую возможную роль могла бы играть эта частица. Услышав о ее открытии, будущий нобелевский лауреат Исаак Айзек Раби произнес ставшую знаменитой фразу: «Ну и кто это заказывал?»

Казалось, что частица, изначально получившая название «мезотрон», вполне удовлетворяет требованиям к частице, сформулированным двумя годами ранее японским теоретиком Хидэки Юкавой. Юкава выдвинул гипотезу существования некоей «полевой частицы», способной нести или передавать сильное ядерное взаимодействие, удерживающее протоны и нейтроны вместе в составе ядра. Аналогом этой частицы в области электромагнетизма мог бы считаться фотон, переносящий электромагнитную силу. Юкава предсказал массу частицы, а поскольку масса мезотрона Андерсона оказалась в правильном диапазоне, большинство физиков предположили, что это она и есть. Все шло хорошо, но затем три итальянца, участвовавшие в секретных экспериментах во время войны, доказали, что мезотрон не может быть полевой частицей Юкавы, поскольку на него совершенно не влияет сильное взаимодействие<sup>103</sup>.

И в этот момент на сцене появилась третья ключевая фигура, благодаря которой исследования нейтрино поднялись на новый уровень. Это был Бруно Понтекорво, «высокий, широкоплечий и миловидный чемпион-теннисист из Пизы»<sup>104</sup>. Он присоединился к «парням с улицы Панисперна» еще студентом, в 1931 году, а затем работал с семьей Жолио-Кюри в Париже в 1938-м – как раз когда Муссолини вступил в союз с Гитлером. Будучи евреем, он, как и его наставник, решил уехать с семьей в США. Это оказалось непростым приключением, в ходе которого он, к примеру, выехал из Парижа на велосипеде ровно в тот момент, когда в город входили немецкие войска, – а потом доехал на этом велосипеде до Тулузы<sup>105</sup>.

Когда Понтекорво наконец прибыл в Америку, его бывший коллега Эмилио Сегре помог ему найти работу в нефтяной компании, находившейся в городе Талса, штат Оклахома. Там новый иммигрант, много знавший о нейтронном рассеянии, изобрел несколько методов поиска радиоактивных элементов, в том числе и урана. Это было очень важно с военной точки зрения, поскольку самая сложная часть работы над атомной бомбой была связана с накоплением минимально необходимой, так называемой критической массы оружейного урана или плутония. На решение этой задачи пошла львиная доля материальных ресурсов «Манхэттенского проекта».

В 1943-м Понтекорво получил место в исследовательской лаборатории в монреальском университете Макгилл (лаборатория была подразделением секретной англо-канадской ядерной программы *Tube Alloys*<sup>2</sup>), и его изобретения начали приносить практическую пользу. Британцы и канадцы были союзниками США, и программа *Tube Alloys* представляла собой, по сути, одно из ответвлений «Манхэттенского проекта». Во время работы в университете Макгилл Понтекорво играл ведущую роль в проектировании самого продвинутого на то время ядерного реактора – NRX (*Nuclear Reactor X*) в Чок-Ривер, провинция Онтарио, работавшего на тяжелой воде.

В ходе своей яркой и полной разнообразной анекдотов лекции «Детство и юность нейтринной физики», которую Понтекорво прочел в Париже в 1982 году, он вспоминал, как в середине 1940-х предполагал, что «появление мощных ядерных реакторов превратит процесс обнаружения свободных нейтрино в достаточно уважаемое занятие». В мае 1945 года, за несколько месяцев до первого ядерного испытания «Тринити» в пустыне штата Нью-Мексико, он предложил первый экспериментальный метод выявления нейтрино в техническом отчете для лаборатории Чок-Ривер<sup>106107</sup>. Этот отчет оставался под грифом секретности в течение четырех лет, возможно, из-за того, что в нем несколько раз использовалось слово *pile* – служившее, как мы помним, названием ядерного реактора Ферми<sup>108</sup>.

Базовая идея Понтекорво состояла в том, что если бомбардировать раствор некоего специально подобранного вещества множеством нейтрино, которые могут вступать в процесс обратного бета-распада с исчезающе малой долей растворенных ядер и превращать их в новую, радиоактивную субстанцию, то затем эту субстанцию можно было бы выделить из раствора и измерить ее количество. Каждое ядро, подвергшееся трансмутации, представляло бы собой продукт обратного бета-распада и, таким образом, служило бы четким индикатором смерти свободного нейтрино. Изучая один за другим все известные радиоизотопы, Понтекорво обнаружил, что «почти идеальным» для его целей могло служить ядро хлора<sup>109</sup>, поскольку оно бы превратилось в ядро радиоизотопа аргона, инертного благородного газа, который затем можно было бы легко отделить. Еще одним преимуществом этого изотопа было то, что он обладал сравнительно длинным, 35-дневным периодом полураспада (то есть возвращения в форму обычного хлора при позитронном бета-распаде), то есть его выделение не требовало особой спешки: это можно было делать через определенные промежутки времени и измерять количество, появившееся со времени предыдущей сепарации, с помощью счетчика Гейгера.

В своем отчете, который позже станет легендарным, Понтекорво размышлял о трех потенциальных источниках нейтрино – «мощном реакторе [вариант, которой он сам считал наиболее перспективным], концентрате радиоэлементов, извлеченных из реактора, и... Солнце»<sup>110</sup>.

В 1939 году Ханс Бете, один из двух ученых, ранее выдвинувших предположение о том, что выявить нейтрино будет невозможно, создал общую теорию формирования энергии в звездах, согласно которой Солнце могло считаться невероятно ярким источником нейтрино<sup>111</sup>. Если говорить коротко, то все звезды получают энергию путем ядерного синтеза, маленькие

<sup>2</sup> «Программа получения трубчатых сплавов».

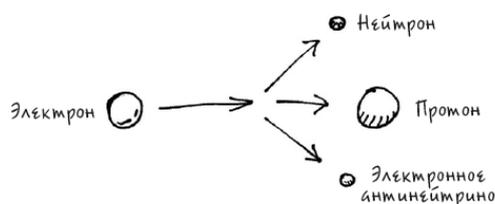
ядра – в основном отдельные протоны и альфа-частицы – связываются вместе, образуя более крупные ядра, и практически каждый шаг этого цикла создает нейтрино (как заметил теоретик в области солнечных нейтрино Джон Бакал, «те же ядерные реакции, которые создают нейтрино, заставляют светить наше Солнце»<sup>112</sup>). Подавляющее большинство из примерно триллиона нейтрино, проходящих сквозь ваше тело, пока вы читаете эти строки, родилось на ближайшей к нам звезде. Разумеется, нейтрино делают это днем и ночью, поскольку проходят сквозь нашу Землю так же легко, как пуля сквозь туман.

К этому моменту вам уже наверняка очевидно, что хорошие физики способны опередить своих коллег на десятилетия, и это вдвойне справедливо в области нейтринной физики, где прогресс идет медленно и для достижения успеха требуются огромные усилия. Уже в 1940-е годы, задолго до экспериментального открытия частицы, о ней было известно очень много. Впрочем, это знание не подкреплялось достаточным количеством фактов и поэтому вызывало вполне разумные сомнения. К примеру, считалось, что ядерные реакторы должны излучать *антинейтрино*, а Солнце – нейтрино.

Это были первые дни физики элементарных частиц. Странные новые создания появлялись почти каждый год, в основном благодаря инструментам по изучению космических лучей, расположенным на горных вершинах. Их классифицировали по группам, и постепенно ученые начали формулировать новые правила их поведения.

В 1945-м – в том же году, когда Понтекорво изобрел свой метод выявления, – теоретики Абрахам Пайс и Кристиан Мёллер придумали термин «*лептон*», от греческого слова *lep* («легкий»). Это позволило им дать характеристику самым легким из известных частиц – электрону и нейтрино. Помимо сравнительно небольшого веса (в то время считалось, что нейтрино вообще не имеет веса), лептоны также отличались от нуклонов тем, что на них никак не влияло сильное ядерное взаимодействие; они были подвержены лишь слабому.

Одно из первых новых правил было связано с понятием «сохранение лептонов». Давайте внимательнее рассмотрим процесс бета-распада, позволивший Паули выдвинуть идею нейтрино. Когда нестабильное ядро углерода-14 преобразуется в ядро азота-14, нейтрон превращается в протон и возникает лептон в виде электрона. Поскольку раньше в этой картине не было лептонов, принцип сохранения лептонов предполагает, что нейтрино, возникающее вместе с электроном, должно иметь форму антинейтрино или антинейтрино. Поэтому нейтрино, придуманное Паули, фактически представляло собой античастицу. А поскольку именно эта форма бета-распада имеет место в ядерных реакторах, эти последние испускают античастицы, причем в больших количествах.



Нейтрон, меняющийся на протон в изначальной форме бета-распада. До начала распада нет никаких лептонов и никакого электрического заряда. После распада отрицательный заряд электрона компенсирует положительный заряд протона, электронное антинейтрино компенсирует и количество лептонов, и аромат (флейвор) электрона.

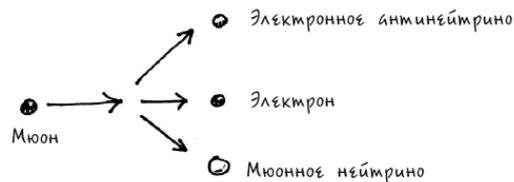
Теперь, на первый взгляд, может показаться, что предложенный Понтекорво метод выявления не *должен был* принимать во внимание наличие античастиц. В его схеме стабильное ядро хлора-37, имевшее 17 протонов и 20 нейтронов, превращалось в радиоактивное ядро аргона-37 с 18 протонами и 19 нейтронами: один нейтрон превратился в протон. При сохранении электрического заряда создание этого протона должно сопровождаться созданием электрона, а поскольку электрон представляет собой материю, а не антиматерию, то и частица, начавшая реакцию, также должна быть материей, а именно нейтрино. Поскольку Солнце излучает нейтрино, метод Понтекорво *должен был* регистрировать их. Однако именно здесь на сцене появляется запутанная гипотеза Этторе Майораны. Если великий инквизитор был прав, значит, нейтрино и антинейтрино идентичны, а метод Понтекорво должен регистрировать обе частицы.

В 1945 году, через несколько месяцев после окончания войны, семья Понтекорво переехала в Чок-Ривер, чтобы быть ближе к реакторному комплексу – новому месту работы отца семейства. Примерно в это же время три итальянских ученых, работавших над своими секретными проектами, рассказали Понтекорво потрясающие новости о мюоне, и интерес Понтекорво достиг своего апогея. «Эта частица показалась мне по-настоящему интригующей, – вспоминал он в Париже много лет спустя. – Я почувствовал дуновение антидогматического ветра и принялся задавать множество вопросов»<sup>113</sup>. Понтекорво вместе с канадским физиком Э. П. «Тэдом» Хинксом организовал в Чок-Ривер лабораторию по изучению космических лучей, и в течение следующих нескольких лет они сделали ряд открытий, которые позволили Понтекорво получить ответы на все его вопросы – и не только<sup>114</sup>.

В результате оказалось, что мюон представлял собой третий лептон. Он имел тот же заряд и тот же спин, что и электрон. На него таким же образом влияет слабое, а не сильное взаимодействие; фактически он имеет настолько много общего со своим более легким родственником, что его часто описывают как «тяжелый электрон». Мюон нестабилен, имеет срок жизни 2,2 миллионных секунды, а затем распадается на электрон и две другие частицы. Понтекорво правильно догадался, что на раннем этапе этой игры в процесс будут вовлечены нейтрино и антинейтрино, и это помогло ему сделать еще одну мудрую догадку: нейтрино должно иметь при себе некое «удостоверение», связанное либо с мюоном, либо с электроном. «Для людей, работавших с мюонами в прежние времена, – вспоминал он в Париже, – вопрос относительно различных типов нейтрино никогда не терял своей актуальности»<sup>115</sup>.

Если каждый мюон, представляющий собой лептон, распадается на три лептона, одним из которых являлся электрон, то сохранение лептонов предполагает, что две другие частицы должны отменить взаимное влияние друг друга: они должны представлять собой лептон и антилептон – иными словами, нейтрино и антинейтрино. Однако когда частица и ее античастица оказываются в тесной близости друг к другу, они обычно аннигилируют и дают жизнь новым частицам. Поскольку Понтекорво и Хинкс обнаружили, что два незаряженных продукта распада мюона не аннигилируют, то Понтекорво пришел к выводу о том, что у них должно иметься некое пока не известное качество, и оно должно быть каким-то образом связано с различием между мюоном и электроном.

Давайте продолжим этот ход размышлений: для сохранения «мюонности», известной в наши дни под названием «аромата» мюона, новое нейтрино должно быть мюонным, а для сохранения аромата электрона, равного до распада нулю, антинейтрино, созданное в связке с новым электроном, должно быть электронным. И теперь мы можем сказать, что именно это предвидел Вольфганг Паули еще в 1930 году: поскольку электрон создается в изначальной форме бета-распада, соответствующее ему нейтрино должно быть электронным антинейтрино.



Мюон распадается на три частицы. До распада имеется один лептон с ароматом мюона и отрицательным электрическим зарядом. После распада электрон несет электрический заряд, мюонное нейтрино – аромат мюона, а электронное антинейтрино компенсирует аромат электрона и количество лептонов. Таким образом, сохраняются число лептонов, аромат лептонов и электрический заряд.

А теперь вернемся обратно на землю (или, скажем точнее, на антарктический лед). Судя по всему, аромат имеет важное значение для нейтринной астрономии. Мюонное нейтрино может инициировать бета-распад точно так же, как и его электронный родственник, с одним важным отличием, позволяющим родиться именно мюону, а не электрону. Представляется, что выявить мюон проще, поскольку он проникает сквозь лед легче, чем электрон. Выявление мюона было основным принципом работы Антарктического массива мюонно-нейтринных детекторов (проект AMANDA) и до сих пор остается хлебом насущным для *IceCube*. Мюон – это рабочая лошадка нейтринной астрономии.

В 1947 году, пока Понтекорво и Хинкс все еще занимались своими исследованиями, следы новой частицы (пиона) были обнаружены на фотоэмульсии, проявленной на вершинах гор в Пиренеях и Боливийских Андах. Ученые вскоре поняли не только то, что это – частица, существование которой предсказал Юкава, но и то, что пион превращается в мюон, – это позволяло объяснять, почему на более низких высотах обнаруживалась лишь последняя из этих двух частиц.

Пион также играет ключевую роль как в нейтринной астрономии, так и в экспериментальной физике нейтрино, поскольку он обеспечивает самый очевидный механизм создания высокоэнергетических нейтрино в ускорителях частиц – как рукотворных, так и космических. Когда протон ускоряется в электромагнитном поле, на Земле или в космосе, а затем сталкивается с какой-то другой частицей, такой как фотон или ядро атома, то в результате рождается пион.

Если этот пион не имеет заряда, он распадется на два гамма-луча (фотона). Если же он заряжен, то он может распасться одним из двух путей: либо на мюон и мюонное нейтрино, либо на электрон и электронное нейтрино. Поэтому мы вполне можем создать «нейтринную фабрику» на Земле. Для этого нам нужно каким-то образом направить рукотворный протонный пучок на цель или «поглотитель пучка», создающий пионы, а затем манипулировать заряженным пучком пионов и продуктами его распада так, чтобы создать чистый пучок нейтрино. Предполагается, что космические ускорители, такие как звездные скопления с активным ядром, остатки сверхновых и их потомки, будут ускорять протоны и другие ядра своим особым образом. Эти частицы будут сталкиваться с космическими поглотителями пучка, создавая пионы, а вследствие этого и космические высокоэнергетические нейтрино, поиском которых и занимается *IceCube*.

В эти продуктивные годы Бруно Понтекорво с успехом жонглировал одновременно несколькими задачами. Они с Марианной, шведской женой Понтекорво, не только воспитывали детей, но и минимум четыре раза сменили место жительства. В 1948 году, отвергнув несколько предложений от ведущих университетов США и Италии, Понтекорво занял руко-

водящую должность в британской национальной лаборатории прикладных ядерных исследований (*Atomic Energy Research Establishment*) в Харвелле, и семья отправилась в обратный путь через Атлантику.

К тому времени самым трудным из мячей, которые Понтекорво приходилось одновременно держать в воздухе, были подозрения властей в том, что они с Марианной – убежденные коммунисты. Как и многие итальянские интеллектуалы, Бруно вступил в коммунистическую партию в 1936 году, когда началась гражданская война в Испании. Он познакомился с Марианной в Париже, где работал с супругами Жолио-Кюри (также активными участниками коммунистического движения). В годы работы в Париже Понтекорво выступал против нацизма и фашизма. Его брат Джилло, получивший международное признание в качестве кинорежиссера (более всего он известен по фильму «*Битва за Алжир*»), тоже был членом Коммунистической партии Италии, а их двоюродный брат занимал в партии высокий пост.

Через год после того, как семья Понтекорво переехала в Великобританию, СССР взорвал свою первую атомную бомбу (точную копию американской), а в марте 1950 года немецкий физик Клаус Фукс, убежденный социалист, также работавший в Харвелле, был обвинен в передаче ядерных секретов Советскому Союзу. Запад захлестнула волна антикоммунистической истерии. Летом того же года сенатор США Джозеф Маккарти начал свою печально известную кампанию против коммунистической «пятой колонны». И давление на Бруно Понтекорво становилось все сильнее.

В сентябре 1950 года Бруно с женой и тремя их маленькими детьми отправились в отпуск в Италию, а затем исчезли. Примерно через месяц правительство Великобритании было вынуждено признать, что один из ведущих ядерных физиков страны, скорее всего, сбежал в Советский Союз. Эта новость тут же оказалась на первых полосах британских газет<sup>116</sup>.

Люди, которым довелось жить в то непростое время, помнят, как Понтекорво называли шпионом. Общественное мнение эпохи холодной войны объединило его в одну шайку с Клаусом Фуксом, а также Юлиусом и Этель Розенбергами (последние были приговорены в США к смертной казни примерно через шесть месяцев после побега Понтекорво), Кимом Филби и другими советскими агентами. После вынесения приговора Розенбергам журнал *Time* опубликовал статью под названием «Шпионы: хуже, чем убийство», в которой объявил Понтекорво одним из членов «ближнего круга» зловещих злоумышленников и объяснил, насколько хорошо его предполагаемые преступления (доказательств которых в статье приведено не было) укладываются в общую картину глобального коммунистического заговора.

С тех пор так и не появилось никаких новых фактов, доказывающих, что Понтекорво действительно был шпионом. Современный историк науки доктор Симоне Турчетти – возможно, главный специалист по «делу Понтекорво» – убежден в невинности Бруно<sup>117</sup>. Недавно опубликованные секретные документы также показывают, что сотрудники британских правительственных служб прекрасно знали о том, что Понтекорво ни в чем не виноват, однако не стали предавать эту информацию гласности: они в это время вели деликатные переговоры с США о передаче Британии американских ядерных технологий, а миф об измене Понтекорво был весьма удобен определенным политическим фракциям и ряду правительственных агентств, в том числе и ФБР. Так что ни у кого не было никаких причин развенчивать этот миф. Охота на ведьм служила множеству политических целей, однако не имела никакого смысла с точки зрения установления истины.

О местонахождении Понтекорво стало известно лишь через пять лет: в 1955 году он выступил на пресс-конференции в Объединенном институте ядерных исследований в Дубне, неподалеку от Москвы, – известной советской лаборатории, занимавшейся ядерной физикой и физикой частиц. Понтекорво заявил, что оставил Англию, поскольку боялся охоты на ведьм и «давления, которое оказывали на него спецслужбы в ходе проверок»<sup>118</sup>. По его словам, «он

сбежал в СССР, чтобы скорректировать баланс между Востоком и Западом, и он работает в Советском Союзе исключительно в области мирного использования атомной энергии»<sup>119</sup>. После 1978 года, когда советские власти наконец разрешили Понтекорво выезжать на Запад, он активно участвовал в кампаниях по ядерному разоружению.

Возможно, мы никогда не узнаем всей правды, однако Турчетти смог найти множество документов, говорящих о невинности Понтекорво, в том числе стенограммы его совещаний с вышестоящими руководителями. Из этих записей видно, что Понтекорво открыто говорил о своих опасениях еще до того, как принял свое судьбоносное решение. Вполне возможно, что он действительно сыграл определенную роль не только в советской программе ядерной энергетики, но и в разработке советского атомного оружия, но только *после* своего бегства. Маловероятно, что он действовал в интересах СССР до этого.

Но это был неудачный шаг, в том числе и с точки зрения карьеры. В результате своего бегства этот ученый мирового уровня, находившийся в первых рядах в своей научной области, оказался на задворках науки. Конечно, по ту сторону железного занавеса Понтекорво мог и дальше много делать для развития теории, однако Советский Союз серьезно отстал от Запада в технологиях ускорения частиц – а именно в этой области прежде всего и шло главное развитие физики частиц до конца XX столетия.

Одиннадцать человек (все – экспериментаторы) получили Нобелевские премии за свою деятельность, в основе которой лежала теоретическая работа Понтекорво в области нейтринной физики<sup>120</sup> (это довольно большая ирония, поскольку и сам Понтекорво тоже был, в сущности, экспериментатором). Если бы он счел возможным остаться на Западе – и прожил бы достаточно долго, – то вполне вероятно, что он разделит бы со своими коллегами хотя бы одну из премий<sup>121</sup>.

Понтекорво умер в Дубне в 1993 году. Согласно его воле, половина его праха была похоронена там, а другая половина – в Риме. Если Вольфганг Паули первым осмыслил идею нейтрино, а Энрико Ферми дал нейтрино жизнь, то Бруно Понтекорво наделил нейтрино личностью. Его догадка о наличии у нейтрино разных ароматов оказалась верной: в 1962 году было открыто мюонное нейтрино<sup>122</sup>. А в 1958 году, уже из-за железного занавеса, Понтекорво выдвинул предположение о самом странном и загадочном свойстве частицы: о том, что она будет менять аромат, или «осциллировать», в процессе своего движения<sup>123</sup>.

Итак, нам известны три заряженных лептона: электрон, мюон и тау-частица, открытая в 1975 году<sup>124</sup>. Тау – это самая тяжелая частица из трех, ее масса почти в 3500 раз больше массы электрона, а ее нейтрино было найдено в 2001 году<sup>125</sup>. Соответственно, всего существует шесть лептонов в трех парах, и каждый из них обладает античастицей.

Осцилляция, возникающая лишь при наличии у нейтрино массы, означает, что электронное нейтрино в процессе своего движения может превратиться, скажем, в мюонное нейтрино, затем, возможно, в тау-нейтрино, затем обратно в электронное нейтрино и так далее. Представьте себе, к примеру, что во время утренней прогулки ваша собака превращается в кошку, затем в оцелота, а затем обратно в собаку. Истинность гипотезы Понтекорво, выдвинутой в 1958 году, была доказана через 40 лет (и через пять лет после его смерти) с помощью инструмента, вполне привычного для AMANDA/IceCube. Впрочем, не будем торопить события<sup>126</sup>.

## Глава 3

### От полтергейста до частицы<sup>127</sup>

*Нейтрино делают теоретиков мужественными, а экспериментаторов – настойчивыми.*  
– Морис Голдхабер

К началу 1950-х годов все было готово к открытию нейтрино. И решением этой задачи занялись два совершенно не похожих друг на друга человека. Одним из них был эффективный, дотошный и (как показали дальнейшие события) невероятно терпеливый ученый по имени Рэй Дэвис<sup>128</sup>, физик-химик из Брукхейвенской национальной лаборатории, заявленная миссия которой состояла в изучении «мирного атома». В те добрые старые дни ученых активно побуждали заниматься разными экспериментами. Когда Дэвис поступил на работу и спросил главу кафедры химии, чем он должен заниматься, его попросили самого придумать себе занятие.

Он отправился в библиотеку. Почти тут же он увлекся идеей нейтрино, и интерес к этой идее остался у него на всю жизнь. Несколько лет он проработал над косвенным методом выявления частицы, а в 1951 году приступил к реализации на практике прямого радиохимического метода Понтекорво<sup>129</sup>.

Заявленная Дэвисом цель первых экспериментов состояла в попытке выявления нейтрино, прилетающих со стороны Солнца. Он хотел понять, будет ли «реакторное» антинейтрино вести себя таким же образом, что и его солнечный собрат<sup>130</sup>. Суть радиохимического метода состоит в извлечении небольшого числа атомов аргона из большой емкости со специальной жидкостью после того, как нейтрино вступит с ними во взаимодействие. Понятно, что этот метод не позволял определять направление движения прилетающих нейтрино.

Инструменты Дэвиса нельзя было считать телескопами. Тем не менее, направив их на Солнце, он тем самым произвел первый эксперимент в области нейтринной астрономии.

Дэвис решил использовать в качестве специальной жидкости обычное жидкое моющее средство – перхлорэтилен, содержащий четыре атома хлора. Он выстроил два детектора, сравнительно больших для того времени. В одном работало около 200 литров жидкости, а во втором – 3900. Воспользовавшись в качестве источника антинейтрино высокопоточным реактором в Брукхейвене, Дэвис смог уловить с помощью большего по размеру инструмента вполне заметный сигнал, но посчитал, что его источником служат не нейтрино, а поток протонов из реактора. Затем он закопал емкость на глубине около пяти с половиной метров, на значительном расстоянии от реактора. Таким образом он рассчитывал экранировать емкость от влияния космических лучей, и сигнал исчез. Совершенно случайно этот шаг привел к формированию традиции, дожившей до наших дней, – детекторы нейтрино и телескопы располагаются в угольных шахтах и туннелях, а также в других необычных и удаленных от цивилизации местах, например в горах.

Затем Дэвис в рамках уже этой традиции дождался августа и перевез свой инструмент меньшего размера на вершину четырехкилометровой горы Эванс в штате Колорадо. Там он смог измерить еще один ложный сигнал и посчитал, что его источником также служат космические лучи. Как я уже говорил, Дэвис был очень дотошным и аккуратным человеком. Когда он наконец опубликовал свои результаты в 1955 году<sup>131</sup>, он не стал заявлять, что ему удалось найти нейтрино (в какой-либо форме). С другой стороны, он использовал свой нулевой результат и очевидно низкую чувствительность своего инструмента для расчета верхней границы нейтринной яркости Солнца. (Ограничения, как мы еще убедимся, очень важны в физике: если вы чего-то не видите, но точно знаете, насколько чувствителен ваш инструмент, то вы можете

сказать, что, какой бы источник вы сейчас ни изучали, он недостаточно яркий для того, чтобы вы увидели его сигнал, а это уже говорит вам что-то о физике этого источника.)

Позднее Дэвис рассказывал, что одного из рецензентов научного журнала совершенно не впечатлили соображения Дэвиса о верхней границе, поскольку эксперимент, по мнению рецензента, был слишком грубым для того, чтобы он вообще позволял сделать какие-либо заключения о существовании нейтрино<sup>132</sup>. Рецензент проиллюстрировал свою точку зрения замечанием о том, что «ученый не вправе выдавать за научную работу описание эксперимента, который заключается в том, что экспериментатор стоит на вершине горы, пытается дотянуться до Луны, а потом приходит к заключению, что расстояние до Луны больше, чем несколько метров». Чуть позже результаты других экспериментов самого Дэвиса показывали, что его изначальная граница была завышена примерно в 15 000 раз – или, если говорить простым языком, что его инструмент был в 15 000 раз менее чувствительным, чем требуется для выявления солнечных нейтрино. Дэвис вновь вернулся к чертежной доске.

Вторым человеком, посвятившим себя этой загадке, был физик по имени Фред Рейнес, на год моложе Дэвиса<sup>133</sup>. Изначально Рейнес был теоретиком. Он получил свою докторскую степень в 1944-м, защитив диссертацию под названием «Жидкокапельная модель ядерного деления». С учетом высокой актуальности этой темы (публикация диссертации была отложена на послевоенное время), его тут же пригласили в «Манхэттенский проект» в Лос-Аламосе. Однако он пришел туда слишком поздно, чтобы внести какой-то существенный вклад в создание бомб, использовавшихся в ходе войны. Рейнес остался в Лос-Аламосе, участвовал в испытании многих ядерных устройств в южной части Тихого океана и со временем получил должность руководителя испытаний с кодовым названием «Операция „Парник“» на атолле Эниветок. Испытания были частью программы создания водородной и термоядерной бомбы.

В 1951 году, устав от прикладных задач и желая заняться чем-то более фундаментальным, Рейнес попросился у своего начальника – также человека открытого и готового обсуждать необычные предложения – в отпуск, во время которого он мог бы «поразмышлять». Позднее, вспоминая Рейнес, он

переехал в пустой кабинет и там в течение нескольких месяцев таранился в чистый блокнот в поисках осмысленной темы, которая могла бы стать достойным делом всей жизни. Это было очень сложное время. Шли месяцы, а все, что мне удалось извлечь из подсознания, – это идея возможного использования бомбы для прямого обнаружения нейтрино<sup>134</sup>.

Случилось так, что тем летом в Лос-Аламос приехал Энрико Ферми, поэтому Рейнес

прошел по коридору, тихо постучал в дверь и сказал: «Я бы хотел поговорить с вами пару минут о возможных методах выявления нейтрино». Ферми был ко мне расположен и спросил: «Расскажите, что вы об этом думаете?» На это я ответил: «Что касается источника, то думаю, что лучший – это бомба». После короткого раздумья Ферми произнес: «Да, бомба – это лучший источник».

Это было хорошее начало, и я продолжил: «Но для этого нужен очень большой детектор, а я не знаю, как его сделать». Ферми немного подумал и признался, что тоже этого не знает. Я вернулся от Мастера совершенно уничтоженным.

Рейнес вновь обратился к своему чистому блокноту. Несколько месяцев спустя он и его коллега из Лос-Аламоса по имени Клайд Кован летели по делам на восток, у их самолета возникли неполадки с двигателем, и они были вынуждены приземлиться в Канзас-Сити. У Рейнеса и Кована было несколько свободных часов, пока чинили двигатель, и они принялись обсуждать разные идеи. В конце концов оба согласились, что надо бы «поработать над нейтрино». Кован «знал о нейтрино не больше моего», писал Рейнес, «но он был хорошим экспериментатором и отчаянно храбрым человеком. Мы обменялись рукопожатием и приступили к исследованиям нейтрино»<sup>135</sup>.

Им удалось сконструировать детектор, который можно было бы использовать вместе с бомбой. Они задумали закрепить его на весу в подземной вертикальной шахте, из которой был откачан воздух; шахта была расположена примерно в 60 метрах от башни, на которой была размещена бомба. Ученые планировали освободить детектор в момент детонации бомбы: он начал бы падать в вакууме, и его не смогла бы разрушить ударная волна. После того как детектор наконец приземлялся на подушку из пуха и пенорезины на дне шахты, он мог начать регистрировать множество антинейтрино, излучаемых многочисленными побочными продуктами деления в результате взрыва. Через несколько дней, когда степень радиоактивности на поверхности упала бы до приемлемых значений, детектор можно было поднять из шахты и прочесть результаты, записанные на устройстве.

Впрочем, эта смелая концепция так и не была реализована. Когда ученые представили ее на семинаре в Лос-Аламосе, один из их коллег предложил заменить бомбу реактором. Рейнес и Кован оперативно создали новую концепцию и вновь обратились к Ферми, на этот раз в письме. Теперь мастер был более оптимистичен:

Очевидно, что ваш новый метод намного проще с точки зрения реализации и обладает серьезным преимуществом – вы можете повторять измерения любое количество раз... Я не вижу ни одной причины, по которой эта идея не сработала бы<sup>136</sup>.

Метод Рейнеса и Кована в корне отличался от того, что предлагал Понтекорво. У нового метода имелось и еще одно преимущество – детектор можно было настроить на улавливание *антинейтрино*, которые, как ожидалось, будут исходить из реакторов.

Детектор напоминал по форме сэндвич с ветчиной: у него было два слоя «ветчины» и три слоя «хлеба», один из которых располагался в центре, между «ветчинными» слоями, а еще два – сверху и снизу. «Ветчинные» слои представляли собой емкости с водным раствором хлорида кадмия, а «хлебные» – емкости с жидким сцинтиллятором, состояние которого контролировали оптические детекторы (сцинтилляторы – это материалы, которые отдают свет при прохождении через них заряженных частиц или гамма-лучей).

Метод был основан на процессе обратного бета-распада с участием позитрона (этот процесс был описан Жолио-Кюри). Антинейтрино из реактора сталкивается со свободным протоном в воде целевого слоя, в результате чего превращается в нейтрон и выбрасывает позитрон. Это приводит к появлению двух вспышек света. Первая возникает почти сразу же после того, как позитрон находит ближайший электрон, и они подвергаются взаимной аннигиляции, отправляя два фотона в противоположных направлениях. Именно поэтому между целевыми, «ветчинными» слоями располагаются «хлебные» слои, предназначенные для выявления нейтрино: аннигиляция одновременно осветит соседние емкости со сцинтиллятором. Затем новорожденный нейтрон задерживается в жидкости «ветчинной» емкости в течение примерно пяти миллионов секунды, после чего его захватывает одно из ядер растворенного кадмия. Возни-

кающая при этом секундная вспышка гамма-луча освещает две емкости, наполненные сцинтиллятором. Задержка в пять микросекунд служит признаком нейтринного взаимодействия, позволяющим отделить его от шума, создаваемого заряженными частицами в составе космических лучей, которые будут неминуемо просачиваться сквозь детектор и рассеивать нейтроны и протоны из реактора.

Кован и Рейнес провели первый этап своих экспериментов в начале весны 1953 года на реакторе в Хэнфорде, штат Вашингтон (этот реактор в свое время использовался для создания оружейного плутония для бомбы, которая затем будет сброшена на Нагасаки<sup>137</sup>). Несмотря на высокий уровень шума от космических лучей, ученые заметили усиление сигнала при активации работы реактора и после нескольких месяцев убедились в том, что это усиление объективно происходит. В ноябре они заявили, что, «возможно», обнаружили свободное нейтрино. Заявление было несколько поспешным, и можно предположить, что на нем настоял именно Рейнес: он был намного более агрессивным, чем Кован – скромный и глубоко верующий католик. Рейнес несколько затмевал Кована в течение всего их сотрудничества – так же, впрочем, он поступал в отношении большинства своих коллег. Позднее Кован писал, что это их «свидетельство не выдержало бы испытания в суде» и что «правдивость» этого свидетельства стала ясной лишь в ретроспективе<sup>138</sup>.

Тем не менее это была серьезная новость, и вскоре она перелетела Атлантический океан и дошла до человека, который придумал эту частицу двумя десятилетиями ранее. Молодой постдокторант Уильям Баркер, работавший в то время с Паули, пишет, что, когда новость дошла до Цюриха, несколько друзей и преданных соратников великого ученого устроили для него праздничный ужин на холме Утлиберг неподалеку от города:

На обратном пути вниз мы с Конрадом Блейлером заметили, что Паули слегка пошатывается от красного вина, которое мы пили за ужином (как вежливый человек, он не пропускал ни одного тоста своих коллег). Блейлер сказал мне: «Возьми его под левую руку, а я возьму под правую – теперь мы не можем позволить себе его потерять»<sup>139</sup>.

Праздник был несколько преждевременным, поскольку эксперимент Рейнеса и Кована нельзя было назвать полностью совершенным, но, откровенно говоря, Паули был рад любому поводу для хорошей вечеринки.

Кован и Рейнес отправились обратно в Лос-Аламос, чтобы заняться усовершенствованием своего детектора, и вскоре узнали от теоретика Джона Арчибальда Уилера, что на территории полигона радиоактивных отходов Саванна-Ривер в Эйкене, штат Южная Каролина, завершается строительство самого мощного реактора в мире<sup>140</sup>. Осенью 1955 года Кован и Рейнес, захватив с собой семьи, отправились на другой конец страны, чтобы провести на этом реакторе вторую серию экспериментов. Все это напоминало атмосферу какого-то летнего скаутского лагеря: они рассказали о своем методе Рэю Дэвису, и тот тоже запустил второй этап своих экспериментов бок о бок с ними. Дэвис снова ничего не нашел, однако Кован и Рейнес нащупали золотую жилу.

Новый реактор создавал намного больше нейтрино, а ряд усовершенствований в конструкции позволил ученым снизить уровень фонового шума. К началу июня 1956 года они получили вполне конкретный результат. О степени «застенчивости» нейтрино может говорить то, что, согласно их расчетам, реактор излучал около 12 триллионов электронных антинейтрино сквозь каждый квадратный сантиметр детектора каждую секунду, однако при этом ученым удавалось выявлять лишь три случая обратного бета-распада в час<sup>141</sup>. Кован писал:

Мы сделали то, что хотели. Мы испытали совершенно незабываемые ощущения от того, что открыли для человечества новое научное знание, и до какого-то момента были единственными в мире, кто обладал этим знанием. Мы доказали, что нейтрино существует в качестве объективного и поддающегося обнаружению явления природы. Великим законам сохранения энергии удалось выстоять. И наша небольшая группа смогла внести в это свой вклад<sup>142</sup>.

К тому моменту Рейнес и Кован уже были полностью уверены в своих результатах и осмелились обратиться к Паули напрямую. 14 июня они отправили в Цюрих телеграмму:

Мы счастливы сообщить вам, что определенно зарегистрировали нейтрино от фрагментов деления при наблюдении за обратным бета-распадом протонов. Наблюдаемые значения поперечного сечения соответствуют ожидаемому значению  $6 \times 10^{-44}$  квадратных сантиметров.

Телеграмма была переправлена Паули, который в то время сидел на собрании в ЦЕРН – европейской лаборатории, находящейся в пригороде Женевы. Получив через 26 лет столь явное подтверждение своих мыслей о «необычном средстве», способном разрешить кризис в ситуации бета-распада, Паули прервал ход собрания, чтобы зачитать телеграмму вслух и сделать несколько спонтанных комментариев. Затем он ответил Ковану и Рейнесу ночной телеграммой (которая оплачивается по более низкому тарифу), процитировав в ней китайскую поговорку:

Спасибо за ваше сообщение. Все приходит к тому, кто умеет ждать.

Однако эффект Паули проявился и в этом случае, поскольку телеграмма так и не дошла до адресата!<sup>143</sup> Рейнес получил копию телеграммы от Чарльза Энца, последнего из ассистентов Паули, лишь через 30 лет.

Теперь оставалось завершить небольшое пари на ящик шампанского, которое Паули заключил в свое время с Вальтером Бааде и о котором мы знаем со слов Фреда Хойла. На конференции, посвященной нейтрино, проходившей в лондонском Королевском обществе в 1967 году, Хойл рассказал, что Паули рассчитался за проигрыш: «Я знаю это точно, поскольку лично выпил часть этого проигрыша»<sup>144</sup>. Впрочем, Паули, верный себе, также выпил немалую его часть.

\* \* \*

Можно было бы предположить, что открытие такого масштаба должно стать безусловным успехом, однако у крошечной частицы были свои собственные планы. По словам Чарльза Энца, «несколько последующих экспериментов заставили ученых заметить некий встроенный дефект»<sup>145</sup>. Возможно, Ковану и Рейнесу действительно *удалось* найти нейтрино, однако они слишком поторопились с публикацией четкого значения так называемого сечения. Эта величина описывает вероятность возникновения взаимодействия, связанного со столкновением или чем-то подобным, и имеет размерность площади. Для удобства понимания представьте

себе окно, в которое вставлено стекло – настолько прочное, что если какой-то ребенок бросит в него жесткий бейсбольный мяч, то стекло разобьется лишь в одном случае из десяти. В данном случае сечением для соприкосновения мяча со стеклом будет считаться площадь окна, а сечение для случая, когда стекло разобьется, будет в 10 раз меньше.

Помимо публикации числа  $-6 \times 10^{-44} \text{ см}^2$ , указанного в телеграмме в адрес Паули, Кован и Рейнес сделали следующий шаг и заявили, что это значение находится «в пределах 5 %» от теоретически предсказанного значения сечения, с величиной погрешности в пределах около 10 %. Таким образом, теоретическое значение отлично вписывалось в их экспериментальный диапазон.

Но еще до того, как они рассказали миру о своем новом открытии, два американских теоретика китайского происхождения с восточного побережья США – Ли Чжэндао из Колумбийского университета и Янг Чжэньнин из Института перспективных исследований – начали подозревать, что нейтрино (или, точнее, слабое взаимодействие) может обладать удивительным качеством, способным увеличить теоретическое значение в два раза. Узнав об этой идее, Рейнес решил настаивать на своем и принялся упрямо защищать анализ, который они провели вместе с Кованом. В течение следующих шести месяцев подозрения, выдвинутые Ли и Янгом, были подтверждены другими экспериментами, и расхождение с цифрами, полученными в Саванна-Ривер, стало сложно игнорировать. Еще раз изучив свои методы, Кован и Рейнес поняли, что они «существенно переоценили эффективность обнаружения частицы»<sup>146</sup>.

В 1958 году они провели третий раунд тестов на основе улучшенных методов и получили значение, превышавшее прежнее почти в два раза и вполне соответствовавшее новой теории<sup>147</sup>. Однако о проблеме уже было невозможно забыть. Изначальная позиция глухой обороны, которую занял Рейнес, вкупе с его привычкой слегка подгонять цифры под имевшиеся в то время теории привели к тому, что в ученой среде возникло (и продержалось несколько десятилетий) недоверие и даже неприятие. Кое-кто даже подозревал, что на самом деле Рейнесу и его партнеру вообще не удалось найти нейтрино. Поведение Рейнеса в последующие годы никак не помогло разрешить это напряжение<sup>148</sup>. Все происходило за сорок лет до того, как за это открытие была получена половина Нобелевской премии. К моменту ее вручения Кован уже умер, поэтому Рейнес получил часть премии один. Наверное, будет справедливым сказать, что чрезмерно агрессивная защита Рейнесом своей позиции лишила его партнера шанса получить премию вовремя.

Рейнес, умерший в 1998 году, через три года после получения премии, был «человеком значительных физических параметров», обладавшим чрезмерно сильным характером<sup>149</sup>. Джон Уилер однажды описал Рейнеса следующим образом:

Талант и в области теории, и в эксперименте, большой человек, которому было дано размышлять о невероятных проблемах, и он переходил от одной проблемы к другой в своих ботинках огромного размера<sup>150</sup>.

Вне всякого сомнения, Рейнес был одним из великих экспериментаторов XX столетия, а наследие его неустанной работы можно увидеть во всех основных областях нейтринной физики и нейтринной астрономии (как мы увидим чуть позже). Он очень любил поэзию, сам писал стихи и обладал красивым баритоном. В какой-то момент в молодости ему нужно было даже сделать выбор между оперой и физикой. В зрелом возрасте он пел в хоре Кливлендского симфонического оркестра под управлением композитора и легендарного дирижера Джорджа Шелла. Джон Лёрнд, один из основателей DUMAND, также не лишенный музыкального слуха,

говорит, что «голос Фреда был глубоким и богатым, намного лучше, чем у большинства смертных».

Однако у Рейнеса имелись и темные стороны. Он постоянно стремился к соперничеству, даже со своими собственными учениками, которых он крайне редко поддерживал. За годы ему удалось нажать массу врагов. Лёрнд вспоминает, как Рейнес как-то сказал ему, что они с Кованом «не пытались *измерить* какие-либо физические параметры» в ходе своего первого эксперимента в Саванна-Ривер: они хотели «лишь показать, что им удалось найти неуловимое нейтрино». «При должном уровне скромности и открытости», добавляет Лёрнд, «всех последовавших за этим открытием проблем можно было бы избежать».

Научный писатель и физик Джереми Бернштейн называет полтора года, начавшиеся с появления у Ли и Янга новой догадки, «славной революцией»<sup>151</sup> (в былые времена кое-кто даже называл этот период менее политкорректно: «китайская революция»). Идея Ли и Янга потрясла всю физику настолько, как этого не случалось со времен открытия явления деления ядра. Два теоретика поняли, что слабое взаимодействие – и, в свою очередь, нейтрино – может нарушать один из самых священных законов физики: закон зеркальной симметрии, согласно которому зеркальное отображение любой физической системы будет вести себя так же, как и сама система. На техническом языке это называется четностью.

Сомнения в сохранении четности возникли у Ли и Янга из-за поведения нового поколения частиц, которые незадолго до этого были найдены в потоках космических лучей. Они обладали ранее неизвестным качеством, которое впоследствии было названо *странностью*. Два из этих странных существ, тета ( $\theta$ ) и тау ( $\tau$ ), казались практически одинаковыми – у них были идентичные значения массы, спина и срока жизни, – но разница заключалась в том, что тета распадалась на два пиона, а тау – на три. «Физики были бы счастливы считать тету и тау идентичными»<sup>152</sup>, пишет Бернштейн, однако это привело бы к нарушению принципа сохранения четности, то есть закона, «который нельзя было перекраивать по своему усмотрению»<sup>153</sup>.

Ли и Янг были очень энергичны в своей деятельности<sup>154</sup>. Когда их захватывала какая-то идея, они могли обсуждать ее по-китайски целыми днями напролет – причем, по словам их коллег, делали это довольно громко. Время от времени они прерывали свою дискуссию, расходились по разным углам, и каждый погружался в свои вычисления. Затем они вновь встречались и продолжали обсуждение. Однажды, во время беседы в бродвейском ресторане на Манхэттене, напротив Колумбийского университета, они поняли, что для разрешения загадки тета- и тау-частиц им нужно изучить все когда-либо проведенные эксперименты со слабым взаимодействием и посмотреть, что говорят их результаты о сохранении четности. Занявшись этим, Ли и Янг обнаружили, что ни один из экспериментов не занимался тестированием закона как такового. Через восемь дней после того, как Кован и Рейнес отправили свою триумфальную телеграмму Вольфгангу Паули, Ли и Янг представили в уважаемый американский журнал *Physical Review* свою статью, в которой предположили, что

один из способов разрешения проблемы с тета – тау состоит в следующем: мы можем предположить, что четность не сохраняется достаточно жестким образом и, соответственно, тета и тау предоставляют собой два различных вида распада одной и той же частицы, иными словами, зеркально отображают друг друга<sup>155</sup>.

Отметив, что четность сохраняется с большой долей точности в экспериментах с сильными и электромагнитными взаимодействиями, Ли и Янг бросили вызов всему сообществу

физиков-экспериментаторов, предложив несколько методов для тестирования сохранения четности при слабом взаимодействии. Подавляющее большинство физиков ожидали, что принципу сохранения четности удастся выстоять.

Первый эксперимент, нацеленный на получение максимально точного ответа, был основан на прямом бета-распаде. Его провела Ву Цзяньсюн, близкая подруга Ли и Янга, также работавшая в Колумбийском университете и выросшая в Китае еще до коммунистической революции. Ву была элегантной и привлекательной, а как ученый – признана во всем мире за свои точные и аккуратные экспериментальные работы.

Ву стала размышлять об использовании магнитного поля для поляризации спинов радиоактивных ядер кобальта-60 (представляющих собой, по сути, крошечные магниты) и наблюдении за направлением излучаемых ими бета-электронов. Если бы электроны распространялись случайным образом во всех направлениях, это свидетельствовало бы о сохранении четности. Чтобы избежать суеты на уровне атомов, возникающей при более высоких температурах и способной выбить ядро из равновесного состояния, было необходимо охладить кобальт почти до температуры абсолютного нуля, и в связи с этим Ли сотрудничала с командой из Национального бюро стандартов США в Вашингтоне.

После шести напряженных месяцев настройки аппарата Ву начала эксперимент и получила ответ уже через несколько минут: бета-электроны двигались чаще всего в направлении, обратном направлению магнитного поля. Принцип сохранения четности на ее глазах корчился в предсмертных конвульсиях.

Разумеется, Ву поддерживала постоянную связь с Ли и Янгом. В четверг 3 января 1957 года она позвонила Ли, чтобы рассказать о своих результатах. Ли завел на кафедре физики Колумбийского университета традицию собираться на обед по пятницам в одном из отличных китайских ресторанов неподалеку от кампуса. На следующий день он поделился новостями с коллегами... и погрузил в глубокую задумчивость своего коллегу-профессора Леона Ледермана. Возможно, это был самый короткий в истории науки промежуток между формулированием концепции и получением результата (для открытия такого масштаба): уже к вечеру того же дня Ледерман и его коллега Ричард Гарвин придумали новый метод для тестирования паритета слабого взаимодействия; к двум часам ночи они опробовали его на циклотроне в лаборатории Невис, подразделении Колумбийского университета, в нескольких километрах вверх по реке Гудзон; а к шести утра в следующий вторник у них уже появился вполне конкретный результат, подтвердивший выводы Ву<sup>156</sup>. Группа из Чикагского университета, также проводившая аналогичный эксперимент в течение нескольких месяцев, получила еще через несколько дней результат, совпавший с результатом Гарвина и Ледермана. Закон сохранения четности не просто умер; он аннигилировался<sup>157</sup>.

15 января, меньше чем через две недели после того, как Ву позвонила Ли, Колумбийский университет сделал необычный шаг и провел пресс-конференцию, на которой было объявлено о результатах (таким образом присвоив себе также и всю славу чикагской группы, которая вообще не была упомянута). В статье, появившейся на первой полосе газеты *New York Times*<sup>158</sup>, была процитирована фраза И. А. Раби, заведующего кафедрой физики Колумбийского университета:

Можно сказать, что достаточно цельная теоретическая структура оказалась потрясена до основания, и мы не уверены, сможем ли собрать ее по кусочкам заново.

Вот какие масштабные разрушения произвел в науке факт открытия нейтрино.

Чуть позже в том же году Ли и Ян получили Нобелевскую премию. Многие считают, что премию могла бы получить и Ву Цзяньсюн. В том же полном событий году элегантный эксперимент в Брукхейвене продемонстрировал, что нейтрино можно считать «левой» – частица во время своего движения в космосе вращается против часовой стрелки<sup>159</sup>. И это заставляет нас снова вспомнить об Этторе Майоране.

Из нулевого результата Рэя Дэвиса при работе с «реакторными» нейтрино и доказанного Кованом и Рейнесом факта того, что нейтрино и его античастица отличаются друг от друга, можно сделать вывод о том, что нейтрино *действительно* имеет античастицу. Однако оказывается, что это не всегда так. Теория утверждает, что реакция превращения хлора в аргон, лежащая в основе метода Дэвиса, зависит не от различий между частицей и античастицей, а от ориентации: инициировать реакцию может лишь частица-«левша». И даже через 80 лет после того, как Майорана предположил, что нейтрино может представлять собой свою собственную античастицу, свидетельств этому так и не было получено. Если он был прав, то Кован и Рейнес нашли не антинейтрино, а правостороннее нейтрино. В последующие десятилетия, по мере дальнейшего развития физики, гипотеза Майораны приобрела дополнительный смысл. Теперь физики понимают, что эта гипотеза имеет значение не только для нейтринной физики, но и для некоторых важнейших вопросов физики частиц и космологии, пока что остающихся без ответа<sup>160</sup>.

Луи Пастер сказал как-то, что «в области наблюдений удача вознаграждает лишь подготовленные умы». И Рэй Дэвис, и Фред Рейнес достаточно хорошо подготовили свои умы, однако удача благоволила Рейнесу (учитывая, как мало было известно о нейтрино в то время, это действительно был вопрос удачи). Но Дэвис, истинный ученый и отличный провидец, не сдался. Доказав самому себе, что его метод не позволяет выявить «реакторные» нейтрино (это доказательство заняло у него еще несколько лет), он обратил свое внимание к Солнцу.

\* \* \*

Сидя в своем теплом цюрихском уголке, Вольфганг Паули с огромным интересом наблюдал за развитием «славной революции». В конце концов, идея пространственной четности представляла собой одно из его основных наваждений; он признавался в наличии у себя «зеркального комплекса»<sup>161</sup>. За четыре года до начала революции, писал он сам позднее Карлу Юнгу, «в мире физики не происходило ничего, что могло бы заставить нас сфокусироваться на этом конкретном вопросе»<sup>162</sup>. Паули начал свое собственное исследование более глубокой формы симметрии, включавшей в себя не только пространственную четность ( $P$ ), но и обращение времени ( $T$ ), то есть течение времени в обратном направлении, и зарядовое сопряжение ( $C$ ), представляющее собой превращение каждой частицы в системе в античастицу (в лабораторных условиях можно обратить время вспять на атомном уровне). Если система остается неизменной при зеркальном отображении всех этих трех свойств в одно и то же время – то есть при трансформации, которую Паули называл «сильным отражением», – значит, она обладает СРТ-симметрией, или СРТ-инвариантна.

В 1952 году Паули начал проверять, следуют ли этой симметрии фундаментальные уравнения квантовой механики и относительности, и наконец доказал истинность этого ближе к концу 1954 года<sup>163</sup>. По сей день никакие эксперименты не смогли опровергнуть СРТ-теорему Паули, и она считается его третьим великим вкладом в физику – после принципа запрета и предсказания нейтрино.

С учетом крушения принципа сохранения четности, и особенно с учетом той важной роли, которую сыграло в этом крушение «его» нейтрино, Паули и его новая теорема оказались

у всех на устах<sup>164</sup>. «Для многих физиков», по словам Т. Д. Ли, «СРТ превратилась в краеугольную точку, вокруг которой вращалось все остальное»<sup>165</sup>.

Если вы помните, Паули поделился с Юнгом идеей о зеркальной связи между психологией и физикой. «„Зеркальное отображение“ можно считать архетипом»<sup>166</sup> – заявил он в одном интервью в 1957 году, после того как стала известна новость о нарушении четности:

Это каким-то образом связано с физикой. Физика основана на зеркальной симметрии мышления и природы... [Во время работы над теоремой СРТ] у меня были очень живые, почти парапсихологические мечты о зеркалах в те моменты, пока я занимался математическими вычислениями в течение дня... Я бы назвал это синхронностью особого рода, поскольку в каждом активном занятии всегда присутствуют подсознательные мотивы.

Вскоре после завершения своей исчерпывающей работы над теоремой Паули увидел, по его словам, «очень впечатляющий сон»<sup>167</sup>:

Я нахожусь в какой-то комнате вместе с Темной Женщиной, и какие-то другие люди проводят там эксперименты с появлением отражений. Участники опытов воспринимают отражения как реальные объекты, но мы с Темной Женщиной знаем, что это всего лишь зеркальные образы. Это становится нашим общим секретом. Этот секрет наполняет нас ощущением понимания. После этого мы вдвоем с Темной Женщиной идем вниз по крутому горному склону...

В длинном письме Юнгу, отправленном в 1957 году, Паули подробно излагает этот сон и напоминает Юнгу о «китайке», которую постоянно видел в своих снах и считал «особым отображением – возможно, парапсихологическим – „Темной Женщины“». Юнг вспоминал, что в более ранних снах у китайки «был ребенок, однако „люди“ отказались это признать». Паули считал, что «другие люди» в его снах представляют его собственные «привычные возражения против определенных идей – и страх перед ними». Секрет, которым он делится с Темной Женщиной и который наполняет его пониманием, – это факт «отсутствия симметрии [объектов] и отражений во сне, поскольку самое главное как раз и связано с поиском различий между ними». Иными словами, сон говорит о нарушении пространственной четности.

Этот впечатляющий сон приснился Паули примерно за полтора года до того, как Ли и Янг поставили под сомнение закон сохранения пространственной четности, и за два года до того, как еще одна китайка доказала, что закон в самом деле неверен. Паули встречался с мадам Ву в Беркли в 1941-м и «был очень впечатлен ею – и как физиком-экспериментатором, и как умной и красивой молодой китайской дамой»<sup>168</sup>. В своих исследованиях Паули не удосужился изучить фундаментальную природу самой пространственной четности, поскольку в то время был уверен в универсальности принципа ее сохранения. Он придерживался этой точки зрения и после начала «славной революции». И даже когда Ли и Янг призвали к проведению экспериментов для тестирования пространственной четности, Паули был твердо убежден в том, что принципу сохранения четности удастся выжить.

Через шесть месяцев появились результаты, и всего через несколько дней они уже пересекли Атлантический океан. 17 января 1957 года, в тот же день, когда газета *New York Times* на первой полосе объявила о крушении принципа сохранения четности, Паули чуть не заключил новое пари с почти гарантированным проигрышем: «Я *не верю* в то, что Бог плохо играет левой

рукой, – писал он своему ученику Виктору Вайсскопфу, – и готов поставить очень крупную сумму на то, что эксперименты продемонстрируют симметричные результаты»<sup>169</sup>.

День расплаты наступил всего через четыре дня, с утренней почтой. В ней Паули обнаружил копию статьи из *Times*, которую ему, вместе с двумя теоретическими статьями Ли и Янга, посвященными последствиям нарушения сохранения четности, отправил еще один бывший ученик<sup>170</sup>. Ближе к вечеру Паули получил письмо с детальным описанием всех трех экспериментов от Валентина Телегди, лидера чикагской группы. По очередному «совпадению» Паули тем же вечером должен был читать лекцию об истории нейтрино в Цюрихском обществе естественных наук. По словам очевидцев, это была прекрасная лекция, а сам Паули был очень воодушевлен<sup>171</sup>. В конце выступления он поделился новостями о нарушении сохранения четности и своими «размышлениями» об этой проблеме и ее важности.

Несмотря на его очевидную браваду, смерть принципа сохранения четности стала шоком для этого человека, поскольку симметрия имела для него чуть ли не мистическую важность. В день, когда до него дошли новости, он нашел время, чтобы написать мадам Ву:

Я поздравляю вас (но не себя самого)<sup>172</sup>. Эта частица, нейтрино, к существованию которой я приложил руку, до сих пор наказывает меня.

А в своем письме Юнгу, написанном в 1957 году, он говорил, что был «очень расстроен» после получения новостей и «некоторое время вел себя нерациональным образом»<sup>173</sup>. Через шесть дней после своего поражения он писал Вайсскопфу:

Теперь, после того как прошел первый шок, я начинаю вновь собираться с силами. Хорошо, что я не заключил пари. Я потерял бы много денег (а я не могу себе этого позволить); однако я все же выставил себя дураком (и думаю, что это я очень хорошо умею)... Я потрясен скорее не тем фактом, что Господь предпочитает ту или иную руку, а тем, что, когда он выражает себя сильным образом, левосторонняя симметрия все же сохраняется. Короче говоря, главный вопрос теперь выглядит так: почему сильные взаимодействия все же сохраняют и левую, и правую симметрию?<sup>174</sup>

В уравнениях физики нет ничего, способного объяснить, почему слабое взаимодействие должно нарушать четность. Сильное взаимодействие, равно как и электромагнитная сила или гравитация, продолжают следовать этому принципу. Со временем Паули успокоился на том, что идея сильного отражения, или СРТ-симметрии, сохранила свою актуальность, и это спокойствие наглядно проявлялось в его размышлениях. Последним научным трудом Вольфганга Паули было эссе на тему истории нейтрино, основанное на его же лекции, прочитанной в тот странный вечер в Цюрихе<sup>175</sup>. Паули было приятно не только то, что Кован и Рейнес смогли доказать истинность его давнего прозрения, но и то, какую шумиху и какой сильный импульс к дальнейшему развитию физики породила его крошечная частица. Завершив работу над эссе в сентябре 1958 года, он отправил копию Лизе Мейтнер в качестве подарка к 80-летию<sup>176</sup>.

Паули умер внезапно, 15 декабря, за несколько месяцев до своего 59-летия, через несколько дней после того, как у него был диагностирован рак поджелудочной железы. До самого момента смерти этого блестящего и незаурядного человека преследовали странные совпадения. Еще одно из его наваждений было связано с тем, что он, как и многие другие, очень серьезно относился к так называемой постоянной тонкой структуры – соотношению фунда-

ментальных физических констант, которое выражается простым числом со значением, примерно равным  $1/137$ <sup>177</sup>.

Как-то Паули написал, что «теоретическая интерпретация этого численного значения представляет собой одну из важнейших нерешенных проблем атомной физики»<sup>178</sup>. Чарльз Энц добавляет, что «число 137 имело иррациональное, магическое значение для Паули»<sup>179</sup>.

Паули умер в больнице Красного Креста в Цюрихе, в палате № 137.

## Часть II

# Мечта о нейтринной астрономии

### Глава 4

## Физика по-висконсински

*Я жду зажигания, я ищу искру.  
Удар – и я зажгусь во тьме.*

– Питер Гэбриел

Как-то Фред Рейнес сказал Фрэнсису Халзену, что после того, как он и Клайд Кован доказали, «что частица действительно существует, буквально все тут же начали говорить о том, что пучки нейтрино могут использоваться в изучении астрономии»<sup>180</sup>.

Однако очень немногие решали написать об этом предположении<sup>181</sup>, и впервые оно появилось в научной литературе в 1958-м, в год смерти Вольфганга Паули. Это была дипломная работа Игоря Железных<sup>182</sup> – ученика уважаемого теоретика частиц Моисея Маркова из Московского государственного университета (Железных с готовностью признает, что идея статьи принадлежала его наставнику<sup>183</sup>). Впервые Марков представил свою концепцию публике в ходе конференции по физике высоких энергий в Рочестере, штат Нью-Йорк, в 1960 году<sup>184</sup>, и примерно в то же время Кеннет Грейзен из Корнелльского университета, ранее работавший в «Манхэттенском проекте», выдвинул аналогичную идею на конференции в Беркли<sup>185</sup>.

Хотя концепции Маркова и Грейзена были основаны на одном и том же базовом принципе, между ними имелись фундаментальные различия, в результате чего на протяжении ряда лет исследования и эксперименты шли по двум совершенно разным направлениям.

В своей речи в Рочестере Марков предложил

установить некий аппарат в подводном озере или глубоко в океане для того, чтобы отделить направление заряженной частицы по черенковскому излучению<sup>186</sup>.

Затем он расширил эту идею в журнальной статье, написанной вместе с Железных и опубликованной в январе следующего года<sup>187</sup>:

Все известные частицы, за исключением нейтрино, поглощаются километрами [толщи Земли] и, таким образом, полностью экранируются планетой... Примечательно, что в ходе эксперимента можно выявить не только  $\mu$ -мезоны [мюоны] (от реакций с участием нейтрино), возникающие в самом детекторе, но и  $\mu$ -мезоны с примыкающих слоев земли (так называемой подушки).

Это было первое описание телескопа, предназначенного для того, чтобы ловить нейтрино, прошедшие свой путь сквозь всю планету. И именно этот метод отлично работает для целей проекта AMANDA и телескопа *IceCube*.

В своем примечательном выступлении в Беркли Грейзен предрекал будущее развитие

высокоэнергетической нейтринной астрономии... Нейтрино будут передавать новый тип астрономической информации, отличной от той, которую переносят световые и радиоволны<sup>188</sup>.

А в конце уже ставшей классикой обзорной статьи на тему потоков космических лучей<sup>189</sup>, опубликованной в декабре 1960 года, он предложил «разместить глубоко под землей большой черенковский счетчик, около 15 метров в диаметре». Поскольку такой инструмент обладал бы очень небольшим значением углового разрешения, то он представлял бы собой скорее детектор, а не телескоп – зато его можно было подготовить к работе и получить нужные результаты быстрее, чем прибор, предложенный Марковым.

Оба этих провидца уделяли особое внимание вопросу обнаружения  $\mu$ -мезонов, или мюонов. Нужно сказать, что они значительно опережали в своих размышлениях других исследователей, поскольку в 1960 году еще не было доказано, что мюонные нейтрино вообще существуют. Они были найдены только через два года командой физиков, в которую входил тот самый Леон Ледерман, который сыграл важную роль в открытии принципа несохранения четности<sup>190</sup>. Экспериментальный метод, требовавший необычайно мощного для того времени ускорителя, был изобретен Бруно Понтекорво в России раньше, чем эта идея пришла в головы команде Ледермана<sup>191</sup>, однако советским ученым так и не удалось его реализовать (в отличие от американцев), так что именно Ледерман и его товарищи получили в 1988 году Нобелевскую премию по физике. Несмотря на то что в основе их работы лежали идеи Понтекорво, сам он не вошел в число лауреатов.

Принцип, лежащий в основе концепций Маркова и Грейзена (по сути дела, это третий метод выявления нейтрино), состоит в следующем: когда мюонное нейтрино сталкивается с нуклоном и создает мюон путем обратного бета-распада, то новорожденный мюон будет быстро удаляться от места гибели своего родителя почти в том же направлении, что и нейтрино, – примерно так же, как бильярдный шар после прямого удара шара-битка, – и будет излучать при этом слабое голубое «черенковское излучение». Установив набор оптических детекторов внутри или вокруг определенного носителя по своему выбору, экспериментатор может определить направление мюона и, соответственно, его родителя-нейтрино. По этой причине обе концепции имеют общее название «детекторов Черенкова».

Эта форма излучения названа в честь русского физика Павла Алексеевича Черенкова, получившего за ее открытие в 1958 году часть Нобелевской премии по физике. Излучение возникает каждый раз, когда заряженная частица, например мюон, движется в преломляющей среде быстрее скорости света. Самым распространенным примером излучения выступает желтоватый синий свет, возникающий в бассейновых ядерных реакторах или при погружении в воду отработанных ядерных батарей. В этих случаях свет создается электронами, излучаемыми при бета-распаде многих радиоактивных побочных продуктов уранового реакторного топлива.

Если вы сейчас вспоминаете постулат специальной теории относительности Эйнштейна о том, что ничто не способно перемещаться быстрее скорости света, то не беспокойтесь – в данном случае постулат никак не нарушается. Эйнштейн говорил о скорости света в вакууме. В рефракционной среде, такой как вода, лед, стекло или даже воздух, свет будет двигаться не так быстро, поэтому в таких средах скорость частиц иного рода может оказаться выше, то есть общий закон не нарушается.

Черенковское излучение представляет собой оптический эквивалент звукового удара, который возникает, когда реактивный самолет «преодолеывает звуковой барьер», то есть начинает двигаться быстрее скорости звука. Поскольку звук не может догнать самолет, он движется вслед за ним точно так же, как волны, расходящиеся по воде под углом позади скоростного катера. В ситуации с тремя измерениями – как в случае реактивного самолета или ускоряющегося мюона – звуковые или световые волны принимают форму конуса, а не *V*-образную форму, как волны позади катера. Иными словами, мюон «тащит» за собой конус черенковского излучения. Если бы мюон проходил сквозь проекционный экран, то в этот момент на экране появлялось бы пятно света, которое тут же превращалось бы в крошечный кружок. Затем этот кружок постепенно бы рос и становился менее ярким по мере того, как мюон удалялся бы от экрана.

В сущности, основное различие между концепциями Грейзена и Маркова связано с геометрией. Идея Маркова состояла в том, чтобы поместить трехмерную сетку оптических детекторов в естественный водоем и наблюдать за тем, как мюоны, рожденные нейтрино, будут проходить сквозь нее. Давайте договоримся называть такой тип конструкции марковской или «пудинговой»<sup>192</sup>, поскольку детекторы в ней расположены *внутри* так называемой зоны обнаружения.

Идея Грейзена состояла в том, чтобы окружить рукотворную емкость с водой оболочкой из детекторов, и в этом случае детекторы будут очевидным образом располагаться *за пределами* зоны обнаружения. Такой тип конструкции мы назовем «конструкцией Грейзена» или «оболочковой» конструкцией. В обоих случаях, чем больше зона обнаружения у детектора, тем более чувствительным он будет, поскольку повышается вероятность того, что сквозь него пройдет нейтрино или рожденный последним мюон.

Давайте сейчас перенесемся на несколько десятилетий вперед и представим себе конус черенковского излучения, тянущийся за мюоном в то время, как тот проходит сквозь *IceCube*. Конус – это трехмерный вариант волн от лодки, плывущей по поверхности тихого озера. Трехмерная сетка оптических детекторов, которую ученые помещают внутрь льда, по своей сути аналогична двухмерной сетке из поплавков, плавающих на поверхности озера. По мере того как лодка будет проходить мимо поплавков, они начнут колебаться вверх и вниз. Если вам известна скорость волн, то с помощью простых алгебраических и геометрических построений вы можете определить скорость и направление движения лодки – для этого достаточно знать время, в которое волны ударяются о тот или иной поплавок. Точно таким же образом ученые, работающие с *IceCube*, восстанавливают направление и скорость невидимого мюона, проходящего сквозь трехмерный детектор. Фрэнсис Халзен объясняет это так:

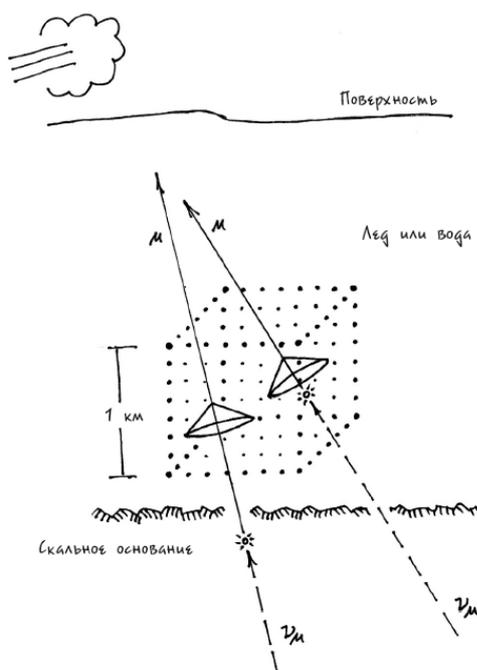
Представьте себе, что вы летите над озером на самолете. Возможно, вы и не увидите саму лодку, но волны скажут вам, где она находится и куда направляется.

Причина, по которой Марков и Грейзен сосредоточились на мюонах, а не на электронах, заключалась в том, что они понимали, какую частицу проще выявить. Дело в том, что мюон обладает достаточной массой и, соответственно, импульсом для движения по прямой практически в любой среде; электрон, масса которого в 200 раз меньше, будет отклоняться под воздействием электрических полей расположенных неподалеку ядер и начинает колебаться на расстоянии нескольких метров от места своего рождения. С каждым колебанием электрон создает так называемое тормозное излучение: фотоны, которые, в свою очередь, при наличии достаточной энергии создадут пары электрон-позитрон. Эти вторичные пары также начнут

колебаться и создавать еще больше тормозного излучения, будут появляться все новые пары и так далее. В результате (в конкретном случае *IceCube*) возникнет так называемый каскад<sup>193</sup>: короткая сигарообразная вспышка света, пропорциональная по своему объему энергии электронного нейтрино, создавшего ее, и указывающая в направлении, в котором двигалось это нейтрино.

Помимо того что длинный и прямой след мюона увидеть намного проще, чем каскад, представляется возможным более точно определить его направление. Соответственно, мы получаем более точное направление движения его родительской частицы – нейтрино. След мюона более полезен для целей астрономии, поскольку он позволяет лучше понять, от какого космического объекта летело нейтрино. Высокоэнергетические мюоны (порожденные высокоэнергетическими нейтрино) имеют и еще одно преимущество – перед своим распадом они могут пролететь несколько километров сквозь лед или камень. Именно это имели в виду Марков и Железных, говоря о «подушке»: «пудинговая» конструкция позволяет выявить мюон, даже если он зародился на большом расстоянии от сетки детектора. Помните, что мы ищем мюоны, направленные вверх, то есть те, что были созданы нейтрино где-то к северу от Южного полюса. *IceCube* может выявить мюон, рожденный во льду или на материковом грунте снизу или сбоку от устройства, поскольку рано или поздно путь мюона будет замечен внутри сетки приборов. Это увеличивает рабочий объем детектора и в целом делает данный тип инструмента более чувствительным именно к мюонным, а не электронным нейтрино.

Детектор нейтрино должен располагаться глубоко под землей (или под водой или льдом), поскольку эти среды экранируют детектор от падающих на Землю космических лучей. Первичные космические лучи, летящие к нашей планете и состоящие в основном из протонов и других заряженных ядер, сталкиваются с ядрами азота, кислорода и других элементов в верхних слоях атмосферы, создавая потоки направленных вниз пионов и других «вторичных» космических лучей. Те в свою очередь распадаются на другие частицы (например мюоны) или сами сталкиваются с атмосферой и создают так называемые воздушные потоки. Все это служит хорошим примером сходства между космическими ускорителями и их рукотворными аналогами.



Два направленных вверх мюонных нейтрино ( $\nu_{\mu}$ ), выявленных марковским инструментом или «пудинговой» конструкцией. Нейтрино слева взаимодействует с нуклоном ниже

инструмента, создавая мюон ( $\mu$ ), который проходит сквозь детектор вместе с конусом черенковского света. Нейтрино справа вступает во взаимодействие внутри детектора. Следы мюонов определяют направление соответствующих нейтрино.

Принцип, лежащий в основе работы всех ускорителей, предполагает использование мощных электромагнитных полей для ускорения пучков заряженных частиц до высоких энергий, после чего эти пучки сталкиваются с мишенями, или «поглотителями пучка». В случае рукотворного ускорителя это может быть слой углерода, а для космических лучей поглотителем выступает атмосфера Земли. Первичные космические лучи, протоны и ядра, получившие ускорение вследствие какого-то космического катаклизма, вылетают в межзвездное пространство, а затем направляются межзвездными электромагнитными полями по сложной траектории в сторону в том числе и нашей планеты. Они сталкиваются с поглотителем пучка в земной атмосфере и создают вторичные частицы, точно так же как это делает пучок в созданном человеком ускорителе.

Как возникает редкая или новая частица в ускорителе? Все начинается с довольно простого появления заряженной частицы, например протона; затем он ускоряется либо по прямой, либо по круговой траектории за счет воздействия сконцентрированных электромагнитных полей; после этого он попадает в поглотитель пучка, а ученые с помощью специальных детекторов изучают возникающие в результате этого осколки и обломки. В некоторых конструкциях два пучка направлены друг на друга (Ричард Фейнман говорил, что это то же самое, что колотить друг о друга парой швейцарских часов, чтобы понять, что у них внутри).

Стандартная единица энергии в физике частиц – это электрон-вольт (эВ), то есть кинетическая энергия, приобретаемая электроном при разности потенциалов в 1 вольт. По нашим привычным меркам это почти ничто – 100-ваттная лампочка каждую секунду испускает почти  $10^{21}$  (один миллиард триллионов) электрон-вольт, – однако этот показатель отлично подходит для описания масс элементарных частиц. К примеру, электрон обладает так называемой массой покоя (то есть энергией массы без учета энергии движения), равной примерно 510 эВ. А поскольку Эйнштейн показал, что масса и энергия эквивалентны, то для того, чтобы создать больше массивных частиц в результате удара потока о поглотитель, нам нужен более мощный пучок энергии. Добиться нужного результата можно либо за счет увеличения размеров ускорителя (что позволяет ускорять пучок на более длинном расстоянии), либо за счет использования более сильных электромагнитных полей.

Нынешний рекордсмен – находящийся в ЦЕРН Большой адронный коллайдер (БАК) стоимостью в 10 млрд долл., с помощью которого в 2012-м был открыт бозон Хиггса. Внутри БАК встречные пучки протонов или тяжелых ионов свинца летят навстречу друг другу по кольцевому туннелю длиной 27 километров, а затем сталкиваются в заранее намеченных точках, создавая энергию (в случае протона) на уровне 14 триллионов электрон-вольт.

Поскольку космические ускорители не ограничены бюджетами на проведение международных научных исследований и соображениями, связанными с недвижимостью, а масштабы их деятельности определяются совсем другими параметрами, такими как размеры Земли или даже Солнечной системы, они создают энергию намного больше той, которую когда-либо смогут создать люди. На данный момент рекорд принадлежит так называемой частице *Oh-My-God* («О боже мой!»)<sup>194</sup>, впервые выявленной в 1991 году детектором под названием «Глаз мухи» в пустыне штата Юта (кстати, этот инструмент изобрел Кеннет Грейзен). Эта единственная субъядерная частица была способна нанести удар такой же силы, что и бейсбольный мяч, летящий со скоростью 100 км в час, что в 300 000 раз превышает возможности БАК. Она могла представлять собой протон, тяжелый ион или даже нейтрино<sup>195</sup>; однако точно это узнать невоз-

можно, поскольку частица погибла при столкновении с атмосферой, дав рождение потоку из примерно 200 миллиардов вторичных частиц и продуктов распада<sup>196</sup>.

Полтора километра льда над *IceCube* служат щитом от направленных вниз космических лучей; тем не менее некоторым из них все равно удается пробиться достаточно глубоко и достичь массива датчиков. На каждый интересный для ученых мюон, родившийся из устремленного вверх нейтрино, приходится около миллиона атмосферных мюонов, попадающих на детектор сверху. Одна из основных проблем этой технологии – разделение следов мюонов, направленных вверх и вниз. Как вы понимаете, выбирать направленные вверх иголки из направленного вниз стога сена – дело непростое.

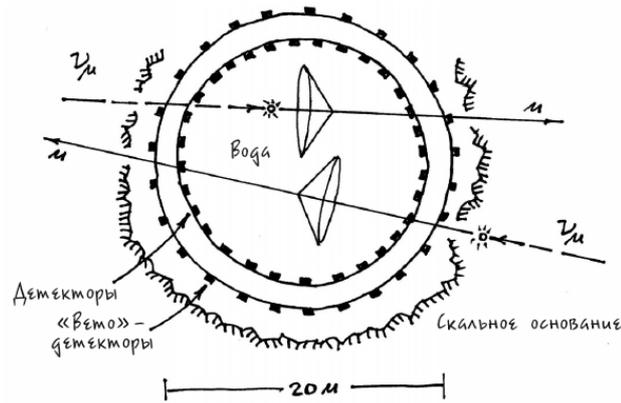
Оболочковая конструкция Грейзена обычно представляет собой большую емкость, наполненную чистой и прозрачной жидкостью (как правило, водой) и полностью окруженную стенками из оптических детекторов, расположенных впритык друг к другу. Конструкция размещается на глубине более полутора километров, например в шахте. Предполагается, что детекторы должны выявлять лишь те мюоны, которые зарождаются внутри емкости, и для помощи этому Грейзен предложил, чтобы первичный детектор «был заключен в оболочку из сцинтиллирующего материала, что позволит различать явления, связанные с нейтрино, и явления, вызываемые мюонами». Иными словами, в конструкции имеется две оболочки: внутренняя, состоящая из первичных оптических детекторов, и внешняя, состоящая из сцинтилляторов и используемая для исключения или «вето» атмосферных и других мюонов, рожденных за пределами детектора. Поскольку эти частицы будут проходить сквозь инструмент, они активизируют сцинтилляторы при входе и выходе, в то время как мюоны, рожденные внутри емкости, будут создавать сигнал только на выходе.

Любой мюон, родившийся в емкости (*или* проходящий сквозь нее), активирует при выходе кольцо первичных детекторов на внешних стенках: сначала один детектор, а потом и другие, расположенные по кругу рядом с ним. Направление движения мюона может быть определено по форме возникающего кольца: если мюон проходит через детекторы под углом, то форма будет ближе к овальной, а не круглой.

Разрешение оболочковой конструкции ограничено 20–30 градусами— этого достаточно лишь для того, чтобы отличить левое направление от правого и движение вверх от движения вниз; а пудинговая конструкция (используемая в *IceCube*) способна работать с точностью до половины градуса, что примерно равно величине углового расхождения лучей при полнолунии. Джон Лёрнд, возглавивший через 20 лет проект DUMAND – первую попытку превратить эти мечты в реальность, отмечает, что

Грейзен так никогда и ничего не сделал в этом направлении. А Рейнес со своей командой с самого начала перехватил инициативу и начал активно работать с идеей в Штатах.

В своей обзорной статье, написанной в 1960 году, Рейнес обсуждал вопросы выявления «нейтрино, возникших за пределами Земли (космических) и в земной атмосфере (из-за воздействия космических лучей)»<sup>197</sup>. Однако он был более консервативен, чем Грейзен и Марков. Возможно, это было связано с последствиями его прежней неудачной попытки выявить рукотворные нейтрино: он предпочел проигнорировать первый вариант, а второй назвал «наиболее серьезным». Тем не менее он начал уже в 1963 году посещать шахты в поисках места для размещения инструмента Грейзена и задумывался об использовании инструмента Маркова в океанских водах как минимум с 1966 года<sup>198</sup>.



Мюонные нейтрино ( $\nu_\mu$ ), проходящие сквозь инструмент Грейзена или оболочковую конструкцию. Верхнее нейтрино, входящее слева, вступает во взаимодействие внутри детектора, поэтому световой конус от возникающего в результате мюона ( $\mu$ ) активизирует детекторы только на выходе. Нижнее нейтрино, входящее справа, вступает во взаимодействие за пределами детектора и создает мюон, который активизирует детекторы при входе и выходе. Таким образом, оболочка из детекторов «вето» помогает исключить из изучения мюоны, рожденные за пределами детектора.

По всей видимости, Рейнес пришел к заключению, что выявление нейтрино по методу Черенкова – дело слишком отдаленного будущего. При этом он прекратил попытки выявления атмосферных (или, по его словам, «создаваемых космическими лучами») нейтрино с помощью какого-то иного метода. Это был большой шаг – первая попытка выявить нейтрино, созданные природой, а не реактором или бомбой.

Атмосферные нейтрино возникают таким же образом, что и атмосферные мюоны, – путем распада вторичных частиц (в том числе мюонов), рожденных при столкновении первичных космических лучей с атмосферой. Ниже мы увидим, что эти нейтрино полезны для некоторых областей физики элементарных частиц, однако никак не связаны с астрономией, поскольку место их рождения находится слишком близко к Земле.

В какой-то момент 1963 года Рейнес узнал об одной докторской диссертации, защита которой прошла в Бомбейском (ныне Мумбайском) университете. В ней выдвигалось предположение о том, что некоторые шахты в индийском золотодобывающем регионе Колар могут быть достаточно глубокими для того, чтобы обеспечить защиту от атмосферных мюонов и возможность выявления атмосферных нейтрино. Рейнес познакомился с индийскими учеными – авторами идеи и даже посетил шахты, о которых шла речь, однако затем все же предпочел самую глубокую шахту в мире – южноафриканскую Ист-Рэнд, расположенную недалеко от Йоханнесбурга. К тому времени он уже покинул Лос-Аламос и возглавил кафедру физики в Технологическом институте Кейс (ныне Университет Кейс-Вестерн-Резерв) в Кливленде, штат Огайо.

В сотрудничестве с группой из Университета Витватерсранда (Йоханнесбург) Рейнес установил крупнейший на то время детектор частиц с 20 тоннами жидкого сцинтиллятора в лаборатории, расположенной в трех километрах под землей. Местные горняки тут же наградили ученых прозвищем *goggafangers* («ловцы жуков») а самого Рейнеса стали величать *makulu bass goggafanger* – «большой человек, начальник ловцов»<sup>199</sup>.

Идея состояла в том, чтобы выявить мюоны,двигающиеся в горизонтальном направлении через две параллельные стенки сцинтилляторов. Поскольку расстояние между детектором и поверхностью Земли в горизонтальном направлении значительно превышало 3 км, то любой

мюон, создаваемый в атмосфере, должен был распасться еще до того, как доберется до детектора. Соответственно, мюоны, которые все же смогут активизировать детекторы, должны были возникнуть из нейтрино в ходе процесса, возникающего где-то в земле между детектором и поверхностью.

К тому времени у Рейнеса появились прямые конкуренты. Группа индийских ученых, которую возглавлял Мамбилликалатил Говинд Кумар Менон и идеи которой Рейнес использовал, установила свой собственный детектор в одной из золотых шахт Колара. Группа Рейнеса обнаружила первый нейтрино естественного происхождения 23 февраля 1965 года (эта дата встречается во многих источниках на тему нейтринной астрономии), а индийцы – примерно через месяц. Однако формальные лавры первооткрывателя получила именно группа Менона, поскольку ей удалось опубликовать свои результаты примерно за две недели до того, как это сделал Рейнес<sup>200</sup> (в данном случае факт публикации очень важен, поскольку предполагает, что ученые проделали тщательный анализ результатов и смогли справиться со всеми неопределенностями и потенциальными ошибками интерпретации). Разумеется, не обошлось без споров (порой кажется, что Рейнес просто притягивает к себе скандалы), однако все участники вынесли из случившегося свои уроки<sup>201</sup>.

И если оставить в стороне разные мелкие вопросы, нейтрино вновь продемонстрировало свою застенчивость: группа из университета Кейс зарегистрировала за шесть лет наблюдений всего 167 атмосферных нейтрино<sup>202</sup>.

\* \* \*

Тем временем семена, посаженные Марковым и Грейзенем, попали в плодородную почву. По всему миру, особенно в США и СССР, ученые-одиночки принялись ездить на далекие озера, погружать в воду короткие нити оптических детекторов и охотиться на мюоны. Одним из таких ученых был молодой Джон Лёрнд, аспирант из Вашингтонского университета.

Джон родился в 1940 году в Платтсбурге, на краю огромного национального парка Адирондак, занимающего значительную долю северной части штата Нью-Йорк. Его дед и бабушка жили там в фамильном доме, принадлежавшем семье уже около 150 лет. Когда Джону было шесть лет, его отец-журналист перевез семью на Статен-Айленд, в Нью-Йорк, однако Джон и его брат не забывали о своих сельских корнях, по-прежнему проводя все лето «без особого присмотра» на севере штата:

Мы охотились, удили рыбу, гуляли и разбивали палатки в лесу там, где хотели. Мы строили в дедушкиной мастерской разные штуки (например, миниатюрные пушки, из которых потом стреляли друг в друга), клеили модели и связывали ножки мухам... Это была идиллия.

Все это развило у Джона страсть к путешествиям, любовь к работе руками и интерес к блужданиям в незнакомом мире – а все это вместе очень похоже на стиль жизни физиков, изучающих космические лучи.

Годы Лёрнда в Бруклинском техническом университете оказались не менее полезными. Он изучил печатное дело, изготовление моделей, возился с разными железками и познакомился с основами литейного производства. В годы учебы в Колумбийском университете он специализировался на физике, а затем несколько лет работал в областях космонавтики и аэрокосмической техники, сначала на востоке в компании *General Dynamics*, а затем на *Boeing* в Сиэтле. Через несколько лет, когда руководители *Boeing* начали уговаривать Лёрнда сосредото-

точиться на менеджменте, он ушел, потому что ему больше нравилась техническая сторона процесса. И зря: позднее оказалось, что опыт менеджмента ему совсем бы не помешал.

Впервые Джон услышал про этот странный спорт – охоту за нейтрино – на первой же лекции в Вашингтонском университете. А в конце концов сделал это темой своей докторской диссертации и попросил стать своим наставником профессором Говарда Дэвиса:

Это было просто великолепно. По сути дела, я работал в полном одиночестве. Я собрал детектор, отвез его на озеро Челан в Каскадных горах. У меня были там плот и лодка. Я погрузил детектор в воду и занялся расчетами космических лучей как функции глубины и так далее. Там было много интересного. Хотя с точки зрения науки в этом не было ничего особенного, но... У всего на свете есть своя история, послушайте мою.

Как-то раз я был на пристани, грузил вещи на свою маленькую баржу, и вдруг ко мне подходит этот старик и спрашивает с сильным немецким акцентом: «Тшем фы занимаетесь?», ну и всякое такое. Я ему рассказал, а он говорит: «О, а мы делали то же самое на озере Констанц в тысяча девятьсот тридцать... третьем, что ли, году или что-то вроде того – короче, еще до Второй мировой войны».

Оказалось, что фамилия этого старика – Регенер, и он действительно проводил свои опыты в том озере много лет назад. Не помню, что именно он использовал для этого... Вроде бы он погружал в воду счетчики Гейгера или что-то подобное... Но это был по-настоящему забавный момент [голосом старика]: «Я делал все это еще в тридцатые годы!» [Своим голосом]: «Да ладно, не может быть!»

Это была и в самом деле чудесная встреча. Эрих Регенер был одновременно и «ныряльщиком», и «пилотом бомбардировщика» той эпохи, которую Пьер Оже называл героическим периодом физики космических частиц. Он начал бросать свою «бомбу Бодензее» в одноименное озеро (Бодензее – немецкое название озера Констанц) уже в 1928 году. Он охотился не на мюоны; к тому времени они еще не были открыты. Регенер пытался ответить на главный вопрос тех дней: представляют ли собой космические лучи частицы или электромагнитные волны – иными словами, свет. Судя по тому, что Регенер дал своему исследовательскому кораблику латинское имя *Undula* («маленькая волна», «волнишка») <sup>203</sup>, сам он явно склонялся ко второй гипотезе. Кроме того, Регенер с помощью аэрозондов измерял зависимость интенсивности космических лучей в атмосфере от высоты, однако не был большим любителем полетов. Он придумал, как присоединять автоматические записывающие устройства к своим детекторам, поэтому ему не нужно было самолично подниматься с ними в воздух, как это делал Виктор Гесс, открывший космические лучи 16 годами ранее.

В годы учебы Лёрнд совершенно не представлял себе, как будет развиваться его карьера. Он думает, что лучшая аналогия здесь – не «карабкаться на гору» (что обычно имеет в виду вполне конкретную цель), «а изучение новых и чрезвычайно интересных территорий». Такое отношение к работе очень помогло ему как первопроходцу в области нейтринной астрономии. На озере Челан он сделал первый крошечный шаг в этой области – стал первым, кому удалось подсчитать атмосферные мюоны в открытом водоеме, а не в закрытой емкости или детекторе <sup>204</sup>.

Ближе к концу учебы Лёрнда в Вашингтонском университете руководитель его лаборатории, опытный специалист в области космических лучей Боб Уильямс спросил, чем Джон хочет заниматься дальше, и тот ответил, что его особенно интересовали бы три эксперимента, и рассказал о них. В те старые добрые дни получить работу можно было без лишних формаль-

ностей. Уильямс позвонил Фреду Миллзу, преподавателю из Висконсинского университета, и Миллз разрешил проведение эксперимента по изучению высокоэнергетических космических лучей эксперимента на горе Эванс в штате Колорадо – это ближайшая к Денверу вершина высотой более 4000 метров.

Там Лёрнд еще раз наткнулся на следы героической эпохи. Один из соратников Оже, нобелевский лауреат Артур Холли Комптон, организовал неподалеку от вершины горы Эванс свою лабораторию (еще в 1927 году к горе была проведена дорога). В этой лаборатории Комптон доказал, что космические лучи состоят в основном из заряженных частиц – иными словами, Регенер был неправ<sup>205</sup>. Через несколько лет итальянский физик Бруно Росси (который, помимо прочего, был научным руководителем Кеннета Грейзена, когда тот писал докторскую диссертацию) использовал данные, полученные на горе Эванс, для первых точных измерений срока жизни мюона<sup>206</sup>.

Понятно, что новая позиция и условия работы идеально подошли Джону. Столь же естественным образом он влился, сам того не до конца понимая, в работу исследовательской группы Висконсинского университета. Эта группа была известна под названием CCFMR – по первым буквам фамилий участников, профессоров Дейва Клайна, Уго Камерини, Уильяма Ф. «Джека» Фрая, Боба Марча и Дона Ридера.

В конце 1960-х и начале 1970-х годов кафедра физики Висконсинского университета в Мэдисоне оказалась точкой пересечения удивительно большого числа людей, позднее сыгравших ведущую роль в создании нейтринной астрономии – и в частности, в проектах AMANDA и *IceCube*. CCFMR был энергетическим центром всей этой деятельности.

Одним из многих мечтателей, прошедших через Мэдисон в то время, был Леонидас Резванис, который впоследствии стал лидером так и не реализованного проекта – километрового нейтринного телескопа на дне Средиземного моря у берегов его родной Греции. В момент нашего знакомства с Лео он с большим достоинством назвал себя «физиком висконсинского типа», имея в виду специфическую атмосферу, окружавшую работу CCFMR. Лео писал мне:

Эти парни были просто фантастическими! Очень толковые, очень творческие – и с отличным нюхом на все, связанное с физикой. Руководствуясь духом полной анархии (то есть чем-то диаметрально противоположным [sic] тому, что считает физикой Нобелевский комитет), они обращались к одному фундаментальному вопросу за другим... Возможно, вам доводилось слышать шутку: «Верблюд – это лошадь, разработанная комитетом». Этим людям направлял тот же дух, что и первопроходцев былых времен. Такого не увидишь в сегодняшних экспериментах.

Боб Морс, ставший позднее одним из главных инициаторов проекта AMANDA, тоже выпускник CCFMR. Он получил степень в Мэдисоне, работая с другой научной группой, затем в течение шести лет поработал на разных проектах в Колорадо, а затем вернулся в университет в 1975 году, чтобы стать старшим научным сотрудником в CCFMR. Когда он вспоминает те дни, на его лице появляется счастливое и вдохновенное выражение:

Элементы дисциплинированного мышления там тоже присутствовали, но в целом, пока в той или иной деятельности был смысл и она соответствовала цели, организация процесса была довольно расслабленной. Порой кто-то мог вдруг возопить: „Боже ж ты мой, у нас же тестовый запуск через три недели! Пора браться за дело!..“ Пожалуй, правильно будет сказать, что происходящее пугало нас намного меньше, чем должно было.

Джон Лёрнд пишет в типичной для себя непосредственной манере:

Стиль: быстрый, толковый, интуитивный, непочтительный. Желание испытать много новых техник и идей, чтобы получить ответы... из всех сил заниматься физикой, а в остальное время веселиться до упаду. Все, за исключением Фрая и Ридера, были не прочь за кем-то приударить... неформальная эмблема университета – летающий красный член с причиндалами, точно такой же, как был нарисован на нашем исследовательском трейлере в Аргонне...<sup>207</sup> Сильный контраст с другими скучными и правильными физиками из университета, которые издевались над нашим имиджем, но с завистью смотрели, как мы умеем веселиться. Но в конечном итоге, несмотря на то что мы были разными, нам всем удавалось успешно заниматься физикой.

Джек Фрай, формальный лидер группы, умел опережать события. Уже в 1952 году он решительно отказался от изучения космических лучей и занялся ускорителем – еще за несколько лет до того, как ускоритель смог создавать энергию, достаточную для использования в физике элементарных частиц<sup>208</sup>. Фрай, большой поклонник итальянской культуры, был известен за пределами физики частиц как автор работы, посвященной акустике инструментов Страдивари. Он сам построил несколько скрипок и посвятил этому вопросу ряд исследований.

По мнению Лёрнда, «реальным центром действий» был Уго Камерини, и Лёрнд порой даже называет CCFMR «группой Камерини». Камерини, сын миланского еврея, успешного переправить семью в Бразилию, чтобы спастись от Муссолини, имел большой опыт и блестящую репутацию в физике космических лучей. Завершив свою магистерскую работу в Сан-Паулу, он снова пустился в путь через Атлантику, чтобы присоединиться к знаменитой группе Пауэлла в Бристольском университете, и принимал участие в поисках пиона в Пиренеях. Позднее Сесил Пауэлл получил за это открытие Нобелевскую премию. Сам Камерини так и не удостоился получить диплом доктора, поскольку поленился возиться с надлежащим оформлением диссертации, которую следовало представить на рассмотрение ученого совета. Вместо этого он поторопился приступить к своему следующему проекту – строительству самой высокогорной в мире станции по изучению космических лучей, расположенной на высоте примерно пяти километров на вершине Чакалтая в Боливии. В 1947 году именно там было подтверждено открытие пиона<sup>209</sup>.

«Уго никогда ничего не доводит до конца; этим приходится заниматься его ученикам, – смеется Морс. – Уго может беспечно разбрасывать свои сверкающие идеи в расчете на то, что их подхватит кто-то еще, а сам он в это время уже увлечен чем-то другим». Лёрнд добавляет, что от Уго «прямо искры сыпались».

Боб Марч учился в Чикагском университете у Ферми. Рассказывают, что ФБР однажды рекомендовало Ферми исключить Марча за то, что тот не стал доносить на своих родителей, членов Коммунистической партии штата Иллинойс, но Ферми благородно отказался. Как и большинство участников группы CCFMR (если не все они), Марч выступал против Вьетнамской войны – в те времена, когда, по словам Лёрнда, «на кафедре произошел политический раскол – на леваков (которые все занимались физикой высоких энергий) и сторонников ультраконсервативного Общества Джона Берча (занимавшихся физикой низких температур). То есть раскол прошел по всему спектру энергий, изучаемых физикой!» Иными словами, чем выше была энергия, которой занимался член группы, тем более левыми были его политические взгляды.

Лёрнд описывает Марча как «невероятно интересную личность, одного из самых ярких людей, которых мне доводилось знать». Марч был знаменитым преподавателем и популяризатором физики – в течение многих лет он вел собственную радиопередачу в Мэдисоне. Марч много сделал для повышения общего культурного уровня в научном мире – к примеру, он боролся за увеличение числа женщин среди аспирантов и ученых<sup>210</sup>. В 1970 году он написал книгу с названием «Физика для поэтов» (*Physics for Poets*), а затем разработал на ее основе целый научный курс в Мэдисоне. Идея прижилась; сегодня аналогичные курсы читают практически во всех колледжах США, а за физиками последовали и представители других специальностей.

Хотя мало кто знает, какие интересы за пределами работы были у Дона Ридера, почти все его знакомые отзываются о нем как о серьезном физике и по-настоящему порядочном человеке. Дейв Клайн как-то признался в том, что Ридер очень помогал Фраю противостоять безумию Камерини, Марча – и особенно самого Клайна.

Дейва Клайна до сих пор вспоминают как самого примечательного участника группы, и с конца 1960-х до середины 1980-х он находился в своей лучшей форме. Не может не потрясать количество прорывных проектов по всему миру, в которых он одновременно участвовал. Он был одним из основных игроков в захватывающей драме, которую представляла собой физика частиц в последней трети XX столетия, и он оставался на переднем крае до момента своей внезапной смерти в возрасте 81 года в 2015 году. Джон Лёрнд описывает его как, «возможно, самого маниакально привязанного к физике человека» из всех известных ему. Клайн был участником и основателем одной из коллабораций ученых, открывших бозон Хиггса, а его основным интересом в последние годы жизни стала холодная темная материя.

Некоторая склонность Клайна к тому, чтобы доводить всё до крайности, может объясняться оттенком фанатизма в его воспитании: Клайн родился в Канзас-Сити, штат Канзас, в семье достойных и любящих родителей-евангелистов. «Психология религии обладает большой силой, и она зажала меня в свои тиски», – как-то сказал он мне. В молодости Клайн подумывал о том, чтобы стать философом, однако во время короткого пребывания в армии (он служил на стартовой площадке комплекса управляемых ракет неподалеку от Эль-Пасо, штат Техас) у него проснулся интерес к физике. Тогда он начал понимать, вспоминал Клайн, что философия тоже не может научить вас всему на свете. По сути дела, физика – вот единственный способ узнать все. Это – единственное, что управляет Вселенной: «Физику создал Бог, и точка!» Но при этом он добавлял, что слишком хорошо изучил астрономию, чтобы верить в Бога.

Клайн специализировался на физике и (в меньшей степени) на философии в Университете штата Канзас. Там же он получил магистерскую степень по физике, а затем отправился в Мэдисон для получения докторской степени под руководством Джека Фрая. В итоге он начал работать в рамках своего диссертационного исследования в Беркли над новым методом выявления элементарных частиц – так называемой пузырьковой камерой. Получив степень в 1965 году, Клайн вернулся в Мэдисон и принялся строить карьеру на кафедре физики невероятно быстрыми темпами, став полноценным штатным профессором всего через три года.

Это были дни, когда стандартная модель физики частиц начала привлекать широкое внимание. В центре исследований оказалась так называемая электрослабая теория, объединявшая физику электромагнитных и слабых ядерных полей (последняя тесно связана с нейтрино). Стандартная модель может использоваться для создания детальных прогнозов относительно частиц, которые еще предстоит открыть, в том числе носителей слабого взаимодействия, частиц *W* и *Z*. Поэтому Клайн, как и положено настоящему экспериментатору, тут же принялся за ее исследование.

В 1969 году, в нежном возрасте 36 лет, Клайн стал основным инициатором того, что самым первым экспериментом, проведенным в Национальной ускорительной лаборатории, стал эксперимент программы E 1A. Лаборатория в Батавии, штат Иллинойс, еще не полу-

чила тогда своего современного имени «Фермилаб», да и вообще она пока только строилась. До конца своих дней Клайн с гордостью рассказывал, что у него был пропуск посетителя «Фермилаб» с номером 1. Самая важная задача этого эксперимента заключалась в поиске  $W$ -частицы с помощью пучка высокоэнергетических нейтрино. Таким образом, «физика нейтрино была одной из главных причин для создания Национальной ускорительной лаборатории имени Ферми»<sup>211</sup>. Однако Боб Морс полагает, что эксперимент E 1A имел еще более серьезные следствия:

Кое-кто даже считает, что этот эксперимент охватил все самые важные аспекты развития физики на 20 лет вперед. Предложение провести E 1A – это невероятно значительный документ, недаром же это Дейв Клайн! Это, может быть, и не сразу видно, но это золото, чистое золото!

Эксперимент E 1A был разработан Альфредом Манном – очень трезво настроенным ученым из Пенсильванского университета, – и Манна настолько впечатлили таланты Клайна, что он сразу пригласил его на работу, чтобы, как он выразился, «сделать предложение Клайна более весомым»<sup>212</sup>. Затем они уже вдвоем пригласили блестящего и увлеченного итальянского физика Карло Руббиа, занимавшего в то время пост преподавателя в Гарварде.

История эксперимента E 1A широко известна<sup>213</sup>. Хотя он и не позволил найти  $W$ -частицу, в процессе удалось открыть так называемое взаимодействие нейтральных токов, при котором нейтрино не погибает при контакте с протоном или нейтроном, как это бывает при обратном бета-распаде. Это было важным шагом вперед, однако проблема состояла в том, что ученые сначала подумали, что открыли что-то новое, потом опровергли собственные надежды, а потом действительно совершили открытие; коллеги шутили, что ученым удалось открыть «переменный ток», и Клайн после этого получил прозвище AC DC. Возможно, чрезмерная осторожность стоила ему Нобелевской премии, поскольку группа в ЦЕРН совершила то же открытие, пока он работал над деталями, и премия досталась его конкурентам.

Однако Клайн и Руббиа не любили оглядываться назад. Они начали новый эксперимент в ЦЕРН, где наконец нашли частицы  $W$  и  $Z$  в 1983 году. В следующем же году Руббиа получил за это открытие Нобелевскую премию. Не вполне понятно, что происходило в кулуарах Нобелевского комитета по физике, однако известно, что Клайн был также номинирован, причем более чем одним нобелевским лауреатом. Возможно, что свою негативную роль сыграло его американское гражданство. В то время между Европой и США шло серьезное соперничество, и эта Нобелевская премия стала первой, которую получила команда ЦЕРН.

Поскольку премия вручается каждый год, то для обычного наблюдателя это может казаться довольно скучным процессом. Однако открытие  $W/Z$  представляло собой настоящий водораздел, поскольку оно наглядно подчеркнуло истинность стандартной модели, тогда еще сравнительно молодой. За последние 30 лет было сделано, пожалуй, только одно открытие, вызвавшее столь же сильное возбуждение, – открытие бозона Хиггса. И, конечно же, Клайн приложил руку к обоим открытиям.

Семидесятые годы были пьянящим временем. Клайн со своими соратниками любил подписывать свои письма словами «да пребудет с нами сила», имея в виду одновременно и слабое взаимодействие, и только что вышедший на экраны кинофильм «Звездные войны». Пройдя через Беркли в правильное время, Дейв превратился в подлинного «радикального хиппи». В книге *Nobel Dreams* он описывает самого себя и Руббиа как «безумцев»<sup>214</sup>. Говорят, как-то раз он «приехал к Руббиа в Женеву в 1972 году, одетый как Баффало Билл: в белом костюме, белой ковбойской шляпе и с волосами до плеч»<sup>215</sup>. Сам Клайн реагировал на эти рассказы

следующим образом: «Это было не совсем так, но такое было вполне возможно. В те дни мы пребывали в эйфории».

«Вполне возможно» такое было отчасти и потому, что Клайн очень хорошо разбирался в одежде. В 1970-е годы, живя в Мэдисоне, он вместе со своей второй женой, с которой познакомился в Беркли, управлял успешной сетью модных бутиков в Сан-Франциско и на Гавайях, откуда она была родом. Клайн не рассказывал об этом побочном занятии своим висконсинским коллегам: «Я и так казался им достаточно сумасшедшим. А это был бы очередной уровень безумия. Кстати, эта женщина была очень красива». Но чтобы вы понимали степень его увлеченности физикой, скажу, что он принял сознательное и сложное решение расторгнуть брак, чтобы сконцентрироваться на поисках *W*. Ему казалось, что постоянные отлучки будут несправедливыми по отношению к семье. И он сомневался в правильности этого решения до конца своих дней.

В качестве импровизированного зала заседаний группа CCFMR использовала один мэдисонский бар под названием «Клуб 602», стены которого, по словам Джона Лёрнда, «были выкрашены в цвет желчи с зеленоватым оттенком». Боб Марч вершил там свой суд почти каждый день после полудня. Клайн вспоминал:

Это был странный клуб, но я считаю его одним из самых моих любимых... Мэдисон был одним из самых интересных и свободных городов в мире, а «Клуб 602» был для нас местом, куда можно пойти всегда... Там можно было встретить немало безумцев.

«Будущий канцлер (ректор университета) Джон Уайли пил тогда очень много пива, – добавляет Боб Морс, – за исключением воскресных вечеров, когда клуб был закрыт и нам приходилось перемещаться в *Glen and Anne*...» Уайли, друг и коллега Морса по аспирантуре, через несколько десятилетий сыграл огромную роль в проектах *AMANDA* и *IceCube*. Боб вспоминает:

В «602» можно было отлично выпить. За 25 центов вы получали пинту пива, и у них не было этого чертового музыкального автомата. А это значило, что вы могли не перекрикивать отвратительную музыку, а разговаривать. Туда приходили люди и с кафедры искусств, и с кафедры философии... Там пересекались друг с другом типы, максимально непохожие друг на друга по всем параметрам, но все мы отлично уживались.

\* \* \*

Фрэнсис Халзен оказался в этой среде в период своего профессионального расцвета, в 1971 году. И совсем не случайно, что его пригласили на работу в Мэдисон именно в баре. Впрочем, этот бар очень отличался от «Клуба 602». Он располагался в гостинице курортного города Мерибель во Французских Альпах.

В том году Халзен посетил – приехав ближе к окончанию – так называемое *Rencontres de Moriond*, престижное собрание физиков, изучавших частицы. Это собрание, вход на которое возможен только по приглашению, обычно проходит на каком-нибудь из французских горнолыжных курортов. В его названии вполне осознанно используется слово *rencontres* – «встречи», а не «конференции», поскольку цель состоит в создании уютной атмосферы «в красивых и вдохновляющих местах», атмосферы, которая стимулировала бы творческий обмен новыми

идеями. Встречи в таком формате проходят до сих пор, однако теперь они стали более регулярными и менее закрытыми, чем в прежние дни. Раньше участники делали перерывы, чтобы покататься на лыжах днем, а по ночам играли друг другу музыку. Отвечать на телефонные звонки считалось плохим тоном. Все основные беседы происходили в баре гостиницы в Мерибеле. За барной стойкой висела грифельная доска со списком спикеров.

В то время Фрэнсис Халзен был восходящей звездой в теоретической физике частиц. Через несколько дней после этой встречи ему исполнилось 27 лет. Он завершал двухлетнюю стажировку в группе теоретиков в ЦЕРН, а дома, в Бельгии, его ждала постоянная работа в университете города Левен. Его пригласили выступить на встрече и рассказать о статье, которую он написал в соавторстве с другим теоретиком, своим ровесником, который не так давно сменил место постдокторанта в Мэдисоне на работу в ЦЕРН<sup>216</sup>. Фрэнсис был уверен, что эта статья «позволит ему получить место где угодно», и действительно – к тому моменту им уже заинтересовались в Калифорнийском технологическом институте. Халзен вспоминал, как во время выступления посмотрел в аудиторию и увидел, как один итальянский физик прихлебывает коньяк.

Фрэнсис приехал на эту встречу на машине из Бельгии, на юг через Женеву, вместе со своей женой Нелли, и они планировали пуститься в обратный путь сразу же, как только закончится его выступление. Нелли ждала его снаружи в спортивном автомобиле MGB «уродского хиппового желто-оранжевого цвета» (в качестве оправдания Фрэнсис объяснил, что у него не было особого выбора и что пришлось купить первую попавшуюся модель). На эту машину Фрэнсис потратил часть денежной премии, полученной на конкурсе докторских диссертаций в Левене двумя годами ранее.

На выходе из гостиницы ему сказали, что кое-кто хочет с ним поговорить. Это должно быть что-то очень важное и очень быстрое, ответил Халзен, потому его жена ждет в машине. Оказалось, что с ним хочет пообщаться Вернон Баргер, теоретик и научный руководитель соавтора Фрэнсиса, написавшего с ним ту самую работу в Мэдисоне. Баргер объяснил, что пока не может предложить Фрэнсису работу, однако может найти способ оплатить пребывание Фрэнсиса в ЦЕРН в течение примерно шести месяцев. Фрэнсис вспоминает:

В то время я был отчасти дилетантом – и возможно, остался им до сих пор. Я не руководствуюсь карьерными планами или амбициями... Я делаю то, что хочу делать; ведь живешь только раз... Тогда мне показалось, что это лучше, чем возвращаться обратно в Бельгию, потому я согласился... Я подумал: а что плохого может случиться за шесть месяцев?

Он ничем особо не рисковал, потому что кафедра в Бельгии оставалась за ним в любом случае. Его пребывание в ЦЕРН началось 6 октября 1971 года («иммиграционная служба сделала все возможное для того, чтобы я никогда не забыл этот день»). Спустя почти полвека Халзен все еще работает там.

Дейв Клайн внес еще один важный вклад в «физику по-висконсински» – он приучил коллег не проводить границу между теорией и экспериментом. Клайн часто сотрудничал с Верноном Баргером. Эта пара стала «почти знаменитой», согласно его собственному ироническому отзыву, после того как доказала, что новая теория так называемых полюсов Редже соответствует данным, полученным с новых ускорителей, – а затем стала «печально знаменитой»: однажды Клайн сфотографировал на какой-то конференции слайд, показал фотографию Баргеру, и они быстренько опубликовали верную интерпретацию данных, опередив авторов слайда.

Дейв долго играл с идеей запуска группы «феноменологии», которая могла бы работать на границе теории и эксперимента. После приезда Фрэнсиса Клайн тут же оценил его ум и эрудицию. Он понял, что Фрэнсис «идеально вписывается в картину». В тот момент Дейв был ведущим исследователем в эксперименте E 1A с бюджетом около полутора миллионов долларов в год. Когда закончились деньги, которые Баргер нашел, чтобы оплатить визит Фрэнсиса, Клайн взял последнего на работу в качестве постдокторанта на проект E 1A (для того времени было неслыханно, чтобы чистый теоретик работал в рамках практического эксперимента) и предложил ему место в еще не существующей, но уже задуманной им группе феноменологии.

В те дни Клайна было не остановить. Группа феноменологии родилась на встрече с ректором магистратуры Мэдисона и сотрудником министерства энергетики США, которое выдавало Клайну гранты на работу. Ректор пообещал выделить Клайну несколько миллионов долларов из фонда Висконсинского университета<sup>3</sup> (чуть позже мы еще поговорим об этом фонде), а менеджер по грантам обязался выделить такую же сумму. Группа состояла из двух экспериментаторов, Клайна и Дона Ридера, и трех теоретиков – Баргера, еще одного профессора по имени Мартин Олссон и Халзена. Идея Клайна относительно феноменологии пришлась очень кстати, и вскоре было признано, что она заслуживает дальнейшей разработки.

Клайн был мастером синтеза. По словам Боба Морса, «он считал, что сделать можно все». Он игнорировал границу между ускорителем и физикой космических лучей. «Для него это не имело значения», – рассказывал Боб с усмешкой:

Дейв сказал: «Мне интересны частицы с определенной энергией». И если это значило, что для их поиска надо заняться изучением космических лучей, то он бы начал это делать... Он не видел никаких границ.

Две наиболее влиятельные работы, созданные Фрэнсисом в первые годы работы в Мэдисоне, были написаны вместе с Клайном, и одна из них как раз была посвящена космическим лучам – впервые в своей жизни Фрэнсис соприкоснулся с областью, в которой ему предстоит создать самый важный труд всей своей жизни. Так совпало, что этот труд также считается одним из самых важных за всю яркую карьеру Клайна<sup>217218</sup>. Фрэнсис включает Клайна в число 3–4 самых важных учителей во всей своей жизни. Он даже дал своему сыну имя Дэвид – в честь Клайна, а также еще одного своего ментора Дэвида Спайсера, помогавшего ему в аспирантуре.

Итак, союз CCFMR направил все свои анархические силы на эксперименты на ускорителях и станциях по изучению высокоэнергетических космических лучей, разбросанных по всему миру. Однако работа с космическими лучами велась в основном лишь на вершинах гор, поэтому диссертационные исследования Джона Лёрнда были отложены на потом. После своего пребывания в Колорадо он несколько лет занимался традиционными экспериментами с высокой энергией на ускорителях в Аргонне и Стэнфорде, в то время как его безбашенные наставники обеспечили ему «должную степень свободы для путешествий» в только зарождавшейся области нейтринной астрономии. Фрэнсис Халзен сохранял приверженность своему делу, создавал одну теоретическую работу за другой и постоянно узнавал с помощью феноменологии что-то новое об экспериментальной стороне вопроса. При этом он пока еще не решался заняться по-настоящему серьезными экспериментами. Это произойдет лишь через 20 лет, когда появится проект AMANDA.

---

<sup>3</sup> *Wisconsin Alumni Research Fund (WARF)* – Исследовательский фонд выпускников Висконсинского университета.

## Глава 5

### Мирные исследования и заинтересованные ученые со всего мира

Джон Лёрнд наконец обрел почву под ногами в 1973 году, когда на проходящей раз в два года Международной конференции по космическим лучам присоединился к нескольким ученым из США, Советского Союза и Японии в неформальной беседе на тему черенковских детекторов. В том году конференция проводилась в Денвере. На ней присутствовал и Фред Рейнес. Советская сторона была представлена Георгием Зацепиным, выдающимся экспериментатором и теоретиком (что для России намного более типично, чем для Запада). Зацепин начал свою научную карьеру в высокогорьях Памира в 1940-е годы и задумался о нейтринной астрономии на основе черенковских устройств почти одновременно с Грейзенем и Марковым, однако так и не удосужился опубликовать свои идеи. Японию представлял Сабуро Мияке, уважаемый специалист по космическому излучению и нейтрино, принимавший участие в эксперименте в Коларе.

Лёрнд вспоминает, что во время собрания «несколько человек сидели в кругу и говорили о том, что нам пора отнестись к происходящему серьезно и начать что-то делать». Рейнес придумал аббревиатуру DUMAND (хотя конкретные очертания подобного инструмента в то время были туманны), а затем был сформирован импровизированный комитет. Первый формальный семинар DUMAND прошел в Университете Западного Вашингтона в Беллингхэме в июле 1975 года.

На семинар в Беллингхэме были приглашены эксперты из разных областей: океанографы, морские инженеры, специалисты по подводным кабелям, а также биологи, которые могли бы рассказать собравшимся о том, каким образом может отреагировать на их эксперименты глубоководная жизнь. «К примеру, мы узнали, что гигантские осьминоги могут воспринять наше устройство как сексуальный объект», – полушутя рассказывал Лёрнд.

Хотя у нас по понятным причинам нет доказательств того, что осьминоги обязательно создадут проблемы, хорошо известно, что многие морские создания выделяют свет в результате процесса, известного под названием биолюминесценции. Это явление заслуживало тщательного изучения, поскольку оно могло создавать помехи для черенковского детектора. На следующем семинаре DUMAND один специалист по морским беспозвоночным осветил эту проблему в докладе под названием «Змеи в астрофизическом Эдеме»<sup>219</sup>.

По итогам голосования на семинаре в Беллингхэме Фред Рейнес и Джон Лёрнд получили должности председателя и вице-председателя формального руководящего комитета DUMAND. После этого Рейнес начал приглашать к сотрудничеству других ученых, в том числе Дейва Клайна, считавшего, что его пригласили из-за его познаний в нейтрино, которые он приобрел в ходе эксперимента E 1A. Коллеги Дейва по CCFMR Уго Камерини и Боб Марч не могли отказаться от искушения присоединиться к этой безумной затее, вследствие чего Висконсинский университет стал одним из основных учреждений в составе проекта DUMAND.

Рейнес пригласил Артура Робертса, которого можно было бы в определенном смысле назвать «научным дедушкой» Джона Лёрнда, поскольку он был научным руководителем у Говарда Дэвиса, руководителя самого Лёрнда. Экскурс в физику космических лучей мог стать кульминацией долгой и полной заслуг карьеры Робертса, а его исследования в рамках DUMAND – его последней научной работой<sup>220</sup>. Как и Рейнес, Робертс в молодости должен был сделать выбор между физикой и музыкой (в его случае – фортепиано), и на протяжении всей своей карьеры он писал сатирические песни в стиле Тома Лерера на темы физики и научной

жизни<sup>221</sup>. Важно было и то, что он знал столько же песен Гилберта и Салливана, что и Рейнес, потому они могли петь дуэтом в перерывах.

Еще одним участником, идеально вписавшимся в компанию, стал Дэвид Шрамм, заслуженный физик и космолог из Чикагского университета. О нем говорили, что он относится к науке так же, как к своему любимому виду спорта – рестлингу. У Шрамма были рыжие волосы и рост больше 190 см. Как-то раз он чуть не попал в состав олимпийской сборной. В течение многих лет, пока у него не начали побаливать колени, он занимался рестлингом в составе команды «Чикаго Буллз». Рассказывают, что, когда он был аспирантом и кто-то заметил, что тема его диссертации может показаться слишком рискованной и спорной, он провел на своем собеседнике удушающий прием «по всей науке»<sup>222</sup>.

Поняв, что успех или неудача проекта полностью зависят от возможностей глубоководной инженерии, Рейнес пригласил для решения соответствующих задач Говарда Блада, директора Центра военно-морских и океанских систем, расположенного в Сан-Диего. Это было стратегически верным важным шагом, поскольку у центра Блада имелось отделение на Гавайях, а когда эксперты-океанологи из Беллингхэма всерьез занялись поисками площадки на глубине около пяти километров с чистой водой и необходимыми коммуникациями на ближайшем берегу, они обратили внимание на два места именно на Гавайских островах.

Одной из самых странных личностей, подключившихся к работе DUMAND, был некто Питер Котцер. Он руководил семинаром в Беллингхэме и редактировал его протоколы<sup>223</sup>. Лёрнд убежден, что этот человек работал на ЦРУ. Правда это или нет, но он действительно, довольно долго и не особенно скрывая это, работал над применением научных идей в военных целях. В годы холодной войны военные пристально следили за наукой, и Котцер к тому времени уже три года занимался проектом UNCLE (*Undersea Cosmic Lepton Experiment* – подводный эксперимент с космическими лептонами)<sup>224</sup>, в сотрудничестве с «Фермилаб» и Военно-морской исследовательской лабораторией в Вашингтоне.

Это была эра ядерного сдерживания, известного как доктрина «взаимного гарантированного уничтожения». Советский Союз и США достигли ядерного паритета, и было выдвинуто предположение, что ни одна из стран не сможет уничтожить другую, не будучи уничтоженной в ответ, и последний удар в этом противостоянии должны были нанести атомные подводные лодки, вооруженные межконтинентальными баллистическими ракетами с ядерными боеголовками. Считалось, что, даже если страна сможет разрушить все наземное или воздушное ядерное оружие противника, подводные лодки все же смогут всплыть на поверхность – где бы они ни находились – и нанести удар возмездия (если только успеют получить необходимый приказ). Поэтому обе стороны работали над сложной проблемой связи с подводными лодками, находящимися на огромных расстояниях и на больших глубинах.

Программа UNCLE представляла собой технико-экономическое обоснование для связи с подводными лодками на основе нейтрино<sup>225</sup>. Хотите верьте, хотите нет, но идея состояла в том, чтобы снабдить подводные лодки черенковскими детекторами и использовать ускоритель частиц для отправки импульсов, состоявших из нейтрино и, по всей видимости, зашифрованных азбукой Морзе. Разумеется, огромное преимущество нейтрино состоит в том, что они способны проникать сквозь любую поверхность, а значит, импульсы могли направляться по прямой на подводную лодку, вне зависимости от ее местонахождения в мировом океане. Радиосвязь в этом случае не подходила, поскольку радиоволны обычных частот не могут проникать сквозь большую толщу воды или земли; на это способны лишь колебания с очень низкими частотами, а для их передачи потребовалась бы очень длинная антенна, находящаяся при этом под землей (впрочем, военные работали и над этой технологией).

Подобным странным занятиям ученые активно предавались в шестидесятые и семидесятые годы. Судя по всему, в них принимал участие даже Клайд Кован, бывлой коллега Фреда

Рейнеса. Он переехал из Лос-Аламоса в Католический университет Америки в Вашингтоне, округ Колумбия, и там принялся сотрудничать с учеными из Военно-морской исследовательской лаборатории (несколько из которых опубликовали работу на тему «Телекоммуникации на основе пучков нейтрино» в журнале *Science* в 1977 году<sup>226</sup>). По словам Кристиана Шпиринга, который впоследствии возглавил немецкий контингент в проектах AMANDA и *IceCube*, советские ученые также интересовались этим вопросом. Идея не получила развития, поскольку для получения сигнала подводные лодки должны были выпускать огромные и неуклюжие «крылья» с оптическими детекторами. К чести людей, принимавших решения от имени ВМФ США, они достаточно быстро отказались от этой идеи. Дейв Клайн вспоминает, как однажды отправился на встречу в Вашингтон, чтобы обсудить вопросы финансирования DUMAND с «важным адмиралом из ВМФ». Он сидел рядом с адмиралом и поэтому услышал, как в момент, когда в комнату вошел Фред Рейнес, тот повернулся к своему помощнику и проворчал: «Надеюсь, это не похоже на идиотскую идею Котцера» (адмирал имел в виду идею UNCLE). К несчастью, военные моряки не заинтересовались проектом DUMAND, поскольку инструмент должен был располагаться слишком глубоко. Подводные лодки в то время имели рабочую глубину погружения всего лишь около 250 метров.

Важность программы DUMAND сложно переоценить. Поначалу все идеи, связанные с ней, были масштабными и смелыми, как и сам Дейв Шрамм. В течение первых пяти лет проект выживал только благодаря материнской заботе небольшой группы первопроходцев. Единственным, кто был сосредоточен исключительно на этом проекте, был Артур Робертс, получавший финансовую поддержку от Роберта Уилсона, «ковбоя» из Вайоминга, управлявшего лабораторией «Фермилаб». Другие участники жили на гранты от других проектов, таких как E 1A, и развивали DUMAND в свободное время. Хотя это название позднее было присвоено вполне конкретному инструменту, DUMAND был и, по сути, остается концепцией, объединяющей подводную и подземную нейтринную астрономию во всех ее формах<sup>227</sup>. Будет вполне справедливым сказать, что практически любое достижение в области нейтринной астрономии за последние четыре десятилетия так или иначе плод именно этой концепции. Ученые даже подумывали об использовании полярного льда в качестве рабочей среды проекта, однако отказались от этой идеи, поскольку понимали, что не смогут справиться с логистикой в полярных регионах – единственных местах на Земле, где ледяной покров обладает достаточной толщиной, чтобы не пропускать космические лучи. Много лет спустя даже те из участников *IceCube*, кто слышал о DUMAND совсем немного, отдадут этому проекту должное. Боб Морс отмечает, что влияние DUMAND было настолько велико, что при разработке AMANDA ученые даже скопировали некоторые ошибки предшественника!

Артур Робертс представил первые идеи по разработке проекта на международной конференции по вопросам нейтрино в немецком городе Ахен в июне 1976 года<sup>228</sup>. Ученые создали три фундаментальные концепции и наделили их мифологическими названиями: UNDINE (*UNderwater Detection of Interstellar Neutrino Emission* – «подводное детектирование межзвездного нейтринного излучения»)<sup>229</sup>, ATHENE (*ATmospheric High Energy Neutrino Experiment* – «эксперимент с атмосферными высокоэнергетическими нейтрино») и UNICORN (*UNderwater Interstellar Cosmic-Ray Neutrinos* – «подводные межзвездные нейтрино из космических лучей»).

Одно из их первых прозрений заключалось в том, что для изучения нейтрино с различными уровнями энергии требуются различные инструменты и что более высокие уровни энергии требуют более крупных инструментов. Это следовало из факта, что мюоны с низкой энергией проходят меньшее расстояние в изучаемой среде, чем мюоны с высокой энергией, а также отдают меньше света, поскольку прежде всего у них имеется меньше энергии для его излучения. Размер каскада, создаваемого электронным нейтрино, будет расти с ростом энергии.

UNDINE, самая маленькая по масштабу из трех концепций, была призвана выявлять низкоэнергетические нейтрино в диапазоне от нескольких миллионов до примерно 100 миллионов электрон-вольт. Такие нейтрино излучаются Солнцем и ближайшей к нам сверхновой – последнее было явлением более интересным с научной точки зрения, но, конечно, более редким. Принято считать, что сверхновые зарождаются в нашей галактике, Млечном Пути, в среднем один раз в 50 лет, однако это событие часто остается не замеченным оптическими телескопами, поскольку сверхновые закрыты от последних за облаками межзвездной пыли. Разумеется, это не представляет проблемы для детектора нейтрино, поскольку нейтрино проходят сквозь пыль, как будто ее там нет, однако 50 лет – это слишком большой срок для большинства научных проектов (не говоря уже о личной карьере большинства ученых), так что концепция UNDINE никого особенно не привлекла. По оценкам ученых, они могли бы теоретически обнаруживать примерно по одной сверхновой в неделю, то есть «дотянуться» до ближайшего кластера в скоплении Девы, однако для этого потребуется детектор весом в 100 миллионов тонн, а об этом не могло быть и речи.

ATHENE и UNICORN были призваны изучать высокоэнергетические нейтрино, обладающие энергией выше миллиарда или триллиона электрон-вольт. ATHENE концентрировалась на атмосферных нейтрино, а UNI-CORN – на самом интересном рубеже науки: на ускорителях космических частиц в глубоком космосе. Иными словами, это фактически был телескоп. Единственное серьезное различие между этими двумя концепциями было связано с размером. UNICORN был больше и, таким образом, более чувствительным, и именно его концепция могла со временем развиться в инструменты типа DUMAND, AMANDA и *IceCube*.

Первопроходцы DUMAND тут же осознали масштаб возможной проблемы: согласно их расчетам, чтобы увидеть объекты за пределами нашей галактики, UNICORN должен был включать как минимум кубический километр воды. Однако идея тем не менее была крайне интересной. «Посвященные начали сходиться теснее»<sup>230</sup>.

\* \* \*

Событие, которое теперь принято считать основополагающей встречей в области нейтринной астрономии, произошло в Гонолулу в сентябре 1976 года, когда ученые из США, Японии, Швейцарии, Германии и СССР собрались на летний семинар, организованный Гавайским университетом.

Все три «мифологические» концепции были к тому времени пересмотрены и уточнены. UNDINE, концепция для изучения низких энергий, была реализована в виде конструкции в духе Грейзена: оболочка из тесно прижатых друг к другу оптических детекторов, внутри которых помещается емкость с водой. В качестве стандартного прибора для ультрачувствительного детектирования света использовался фотоумножитель, или «фотоэлемент», способный при правильных условиях выявить даже одиночный фотон. Однако подобные устройства довольно дороги – каждое из них в комплекте с необходимой электроникой стоит до 3000 долларов; соответственно, на создание большого инструмента оболочкового типа потребовалось бы очень много денег. К примеру, одна из нынешних реинкарнаций UNDINE – это *Super-K*, детектор Супер-Камиоканде, расположенный глубоко в цинковой шахте в Японских Альпах. *Super-K* содержит «всего» 50 000 тонн очищенной воды, то есть его мощность в 20 тысяч раз меньше той, которая необходима для обнаружения сверхновой в скоплении Девы. Тем не менее, чтобы покрыть стенки даже такой емкости, потребовалось 13 000 фотоэлементов, иными словами, на одни лишь фотоэлементы ушло 40 миллионов долларов. Простой расчет показывает, что если бы вы захотели создать инструмент оболочкового типа, способный разглядеть что-то в кластере в скоплении Девы – иными словами, весящий 100 миллионов тонн, – то вам потребовалось бы около 2 миллионов фотоэлементов общей стоимостью около 6 миллиардов долларов.

ATHENE и UNICORN воплотились в пудинговых конструкциях наподобие марковского инструмента, в котором зона обнаружения заполнена сеткой из фотоэлементов. Поскольку такая конструкция требует меньше детекторов на единицу объема, она стоит меньше, чем вариант Грейзена. Кроме того, ее показатели разрешения выше, поэтому она лучше подходит для телескопа.

Конструкция UNDINE была слишком большой и практически не давала шансов найти сверхновую звезду в течение срока жизни хоть кого-то из участников гавайского семинара, поэтому эту идею отвергли. По словам Артура Робертса, «UNDINE вернулась в свою темную и уединенную обитель, а другие участники обрели любовь и признание со стороны ученых»<sup>231</sup>. Поиск победителя был недолгим, а дальнейшая работа с ним оказалась необычайно плодотворной.

Научное наследие гавайского семинара проявляется в наши дни в многочисленных экспериментах по всему миру, которые уже привели к вручению двух Нобелевских премий. Однако, пожалуй, наиболее значительное наследие – это огромная сеть связей между людьми и странами. Присутствие на семинаре советских ученых имело особое значение. В заключительной резолюции участники семинара заявили о своем коллективном видении DUMAND как средства,

в наибольшей степени подходящего для сотрудничества  
заинтересованных ученых со всего мира в мирных научных исследованиях.

И все это происходило, несмотря на присутствие в кулуарах семинара множества шпионов с обеих сторон железного занавеса. Из-за того, что ученые отказались принимать их всерьез, их присутствие лишь укрепило ощущение международного товарищества. Джон Лёрнд вспоминает забавную историю с участием советского теоретика и большого эрудита Вениамина Березинского:

Там, как это обычно бывает на собраниях такого рода, присутствовали люди, присматривавшие за происходящим, – и из СССР, и из ВМФ США. Веня руководил работой одной из сессий. Наличие русского председателя было важным. Он говорил на довольно хорошем английском, умел читать по-английски, знал англоязычную литературу и так далее. Очевидно, что его уровень культурного развития был намного выше, чем у сопровождавшего его парташаратчика.

В какой-то момент перед первым заседанием Веня встает и говорит [имитируя русский акцент]: «Теперь у вас есть русский председатель, и потому заседание начнется вовремя. И помните: Большой Брат следит за вами!» Мы все так и ахнули: «Что-о-о?!» Позже мы отводим его в сторону и спрашиваем: «Веня, откуда ты знаешь эту фразу?», а он: «Ну, я читал Оруэлла, откуда же еще?» Мы спрашиваем: «Что, это книгу можно купить в России!?!», а он: «Конечно же, нет!» Так что все это было очень весело. И понятно, что рядом с нами постоянно торчал парень из КГБ, который все фотографировал, и тому подобное.

С американской стороны на встрече присутствовали Питер Котцер с компанией. Примерно в то же время Фред Рейнес, переместившийся из университета Кейса в только что осно-

ванный кампус Ирвайн Калифорнийского университета, предложил Джону Лёрнду место приглашенного ученого в своей группе. Нейтринная астрономия начала делать свои первые шаги.

Дружба, зародившаяся на Гавайях, укрепилась в последующие годы благодаря еще нескольким подобным собраниям. Они проводились в Институте океанографии Скриппс в Ла-Холье, штат Калифорния, и в Москве, где русские проявили очень сильный интерес к сотрудничеству и предложили «несколько тысяч фотоэлементов для DUMAND»<sup>232</sup>. Для закупки такого объема оборудования на Западе пришлось бы потратить около 10 миллионов долларов.

Институт ядерных исследований Академии наук СССР с начала 1960-х вел свою собственную программу выявления природных нейтрино, а во главе его стоял не кто иной, как Моисей Марков, один из руководителей Академии. В СССР уже имелось два детектора нейтрино, работавших в вольфрамовой шахте в Баксанской долине на Северном Кавказе. Первый использовал принципы, предложенные Кованом и Рейнесом, а второй – радиохимический метод Понтекорво и Дэвиса<sup>233</sup>. В 1977 году Марков возглавил международное совещание по вопросам нейтрино в горной лаборатории. Во время этой конференции Джон Лёрнд и Дейв Шрамм предприняли не разрешенную властями (и безуспешную) попытку покорить Эльбрус – высочайшую вершину Европы (впрочем, позвольте мне не вдаваться в детали этого происшествия).

Однако самая примечательная из этих первых встреч прошла в 1979 году на Дальнем Востоке СССР. Место было выбрано неслучайно и в каком-то смысле являлось антитезой Гавайским островам: на советском Дальнем Востоке можно было найти *и* воду, *и* лед.

Впервые об этом задумался Александр Чудаков, советский ученый, осознавший в 1950-е годы весь научный потенциал подводных черенковских детекторов. Вскоре после возвращения с Гавайев он предложил разместить телескоп марковского типа в водах озера Байкал – крупнейшего, глубочайшего и, возможно, древнейшего пресноводного озера в мире.

Байкал лежит в рифтовой зоне у Евразийского тектонического плато, сформировавшейся около 25 миллионов лет назад. Он имеет форму полумесяца. Его длина чуть меньше 650 км, средняя ширина – 80 км. В некоторых местах глубина озера достигает 1600 м. Байкал содержит около 20 % всей жидкой пресной воды на Земле, и в нем сохраняется уникальное разнообразие водной жизни, которое вряд ли можно встретить в каком-либо другом озере в мире. К примеру, в Байкале живет единственный в мире вид пресноводных тюленей. В 1996 году ООН присвоила Байкалу статус охраняемого объекта всемирного наследия – такой же, как у Гранд-Каньона в США и у австралийского Большого Барьерного Рифа.

Что касается требований нейтринного телескопа, то тут нужно сказать, что воды Байкала исключительно прозрачны и чисты, а его поверхность зимой замерзает. Судя по всему, Чудаков первым понял, что такое сезонное покрытие может обеспечить удобную естественную платформу для размещения на дне озера нейтринного телескопа. Для принятых в России методов научной работы всегда были характерны подобный прагматизм и внимание к деталям.

В 1979 году Тихоокеанский научный конгресс, проводившийся еще с 1920-х годов и привлекавший специалистов из различных дисциплин, проходил в Хабаровске, втором по размеру городе Восточной Сибири. Сначала участники DUMAND присоединились ко всем остальным гостям, а затем переместились более чем на 1500 км к северо-западу, чтобы провести свое собственное собрание на Байкале.

С точки зрения внешнего наблюдателя на этом собрании происходило серьезное столкновение культур. Советские ученые вели себя в высшей степени формально и тщательно соблюдали иерархию, а американцы, особенно участники собрания, подчеркнуто демонстрировали эгалитарность. Тем не менее участники смогли преодолеть все культурные различия, и все прошло хорошо. Советскую делегацию возглавлял Моисей Марков, которому к тому времени было уже за семьдесят. Он считался одним из самых знаменитых ученых СССР. Помимо того,

что он был заслуженным членом Академии наук СССР, он также занимал в ней пост академика-секретаря Отделения ядерной физики, которое руководило всей деятельностью по изучению ускорителей и космических лучей в СССР. Американцы же не видели необходимости в лидере – пока не узнали, что им нужен официальный глава делегации для въезда в Советский Союз. Они попросили Лёрнда занять эту должность, и тот согласился:

В те дни я ходил в джинсах и джинсовой куртке *Levi's*. Мои волосы были собраны в хвост, у меня была борода, то есть я был очень похож на революционера. А тут меня встречает приятный пожилой джентльмен [Марков] – седой и превосходно одетый. Я тут же подумал: «Ой-ой-ой, мы с ним вряд ли столкнемся...» Впрочем, он оказался и в самом деле очень милым и приятным и не обратил на мою расхлябанность никакого внимания.

Джон выражал свое несогласие с принятыми в советской системе классовыми перегородками путем различных демонстраций. Например, он предпочитал передвигаться по городу в маршрутных автобусах «с простыми людьми», вместо того чтобы кататься с Марковым в его лимузине. На это Марков отреагировал с грацией, тактом и, возможно, даже с долей признательности.

У Маркова было два помощника, занимавшихся нейтринной астрономией, оба теоретики (мне рассказывали, что они совсем не ладили друг с другом). Первым был его прежний аспирант, Игорь Железных, написавший в конце 1950-х знаменитую докторскую диссертацию и славившийся своей легендарной рассеянностью. Вторым был Григорий Домогацкий, намного более собранный человек, руководивший байкальским проектом.

Домогацкий был единственным ученым в известной, образованной, большой и богатой семье, большинство представителей которой занималось различными видами искусства. Этот трезвомыслящий и разумный человек в свое время настоял на том, чтобы его стол в московском институте поставили не в отдельном кабинете, а в огромной комнате, где работали аспиранты и кандидаты наук. По его словам, это давало ему возможность не терять контакта с «реальной» физикой. Именно Домогацкий встретил усталых членов западной делегации, когда поздно ночью они вернулись в Хабаровск, после обычных задержек в пути. Лёрнд рассказывает:

Он был одним из тех, кто может закурить сигарету с фильтра, понимаете? Кожаная куртка и общий образ советского бандита – как его представляет весь мир. Мы встретились с ним в гостинице, почти в полной темноте. Он обошел нас и вручил каждому пачку рублей на текущие расходы, поскольку в те дни официально поменять доллары на местную валюту было довольно сложно. Это выглядело очень странно – необычный русский персонаж, выдающий американцам деньги под покровом ночи.

Физики отлично провели время в Хабаровске – в вечеринках не было недостатка. А когда они переехали к озеру, им представился шанс повеселиться за счет Питера Котцера, которого все подозревали в шпионаже и который явился на Байкал без приглашения. Лёрнд вспоминает:

Русские спросили: «Что нам делать? Можем ли мы разрешить ему выступать?» Я ответил: «Можете, конечно, но лично я на его выступление не пойду». Поэтому они забронировали экскурсию на озеро на катере на то же

время, что и выступление Питера. Мы поехали на озеро и напились там водки. Экипаж тоже напился, посадил катер на мель, а потом еще и врезался в пирс, когда причаливал, и... в общем, произошло много чего.

Еще одна из неприятных привычек Котцера заключалась в том, что он добавлял имена других ученых к своим собственным предложениям о проведении исследований, не говоря им об этом заранее. Со временем он был с позором изгнан из научного сообщества.

Наука, подпитывавшаяся дружескими чувствами и немалой долей алкоголя, активно развивалась. В 1979 году союз нескольких учреждений из США, Японии, Германии и Швейцарии представил успешное предложение Министерству энергетики США, и в первый день 1980 года в Гавайском университете был основан Гавайский центр DUMAND. Джон Лёрнд и Артур Робертс переехали в Гонолулу, чтобы полностью посвятить себя работе над проектом, и Джон занял должность технического директора.

По стечению обстоятельств Фрэнсис Халзен тоже приехал в Гонолулу летом 1980 года, чтобы поработать над одной проблемой, связанной с кварками, с коллегой-теоретиком по имени Сандип Пакваса. В городе были и другие нынешние и бывшие работники Мэдисона, конечно же, Лёрнд и Уго Камерини, приехавшие работать на DUMAND. Во время регулярных обедов в их компании Фрэнсис начал узнавать об активно развивавшейся области нейтринной астрономии. Тогда он все еще считал своей профессией физику частиц. По его словам, в те дни космическими лучами не стал бы заниматься ни один уважающий себя физик – специалист по частицам. Однако подобные оттенки самоуважения не особенно его интересовали. Он уже немного погружался в эту область в прошлом, работая с Дейвом Клайном, а теперь решил серьезно ей заняться. Хотя тогда он этого и не осознавал, но для подобной смены отношения к космическим лучам была своя причина – и эта причина была более или менее прямым следствием его поездки на Гавайи.

Кафедра физики Гавайского университета изыскала творческий способ профинансировать поездку Фрэнсиса. Коллеги попросили его заняться формальным преподаванием на «фальшивых» еженедельных семинарах, на которых не предполагалось чьего-либо присутствия. Идея ему понравилась, однако, когда он появился на первом занятии, оказалось, что «там присутствует вся кафедра. Я задумался: „И что теперь делать?“»

Решив пойти по пути наименьшего сопротивления, то есть заняться работой, он принялся за внимательное изучение текущего состояния физики элементарных частиц. Оказалось, что объем работы был намного больше, чем он предполагал. Занимаясь подготовкой к лекциям, Фрэнсис понял, что сейчас критически важный момент развития области, и многие открытия последних десятилетий возникали настолько быстро одно за другим, что у ученых, занимавшихся физикой частиц, не было никакой возможности внимательно с ними ознакомиться и использовать в собственной работе.

Я решил объединить в единую систему ряд проблем, известных в наши дни под названием стандартной модели. Понятно, что не я изобрел стандартную модель, но оказалось, что этой работой до сих пор никто не занялся.

Вернувшись в Висконсин, Фрэнсис продолжил свои лекции, предназначенные в основном для сотрудников кафедры. Затем он узнал, что один из его давних соратников, Алан Мартин из британского Дарнэма, тем же летом читал тот же курс, причем, на взгляд самого Фрэн-

сиса, намного успешнее, чем он сам. Двое ученых встретились и написали учебник с названием *Quarks and Leptons*, который и сейчас, через 35 лет, остается самым популярным введением в квантовую механику в курсах физики по всему миру. Книга была переведена на многие языки.

Интересно, что у книги не было обновленных переизданий, и в этом звучит ясное послание: печальная истина состоит в том, что с момента ее написания в физике частиц не произошло никакого существенного развития. К моменту публикации книги все частицы, предсказанные стандартной моделью, за исключением одной (бозона Хиггса), уже были открыты.

Халзен и Мартин завершили работу над рукописью в Дарнэме незадолго до Рождества 1982 года. Затем Фрэнсис отправился в Бельгию, чтобы провести праздник со своей семьей. Рукопись лежала рядом с ним на пассажирском сиденье его «фольксвагена сирокко». После праздника он полетел в Японию, чтобы помочь с запуском программы для аспирантов Токийского университета, а когда он сошел с самолета, ему сообщили, что Карло Руббиа, Дейву Клайну и их коллегам в ЦЕРН удалось открыть  $W$ - и  $Z$ -бозоны – переносчики слабого взаимодействия (Халзен, Мартин и Вернон Баргер проделали важную феноменологическую работу, позволившую совершить это открытие, и Руббиа признал их вклад в своей нобелевской лекции<sup>234</sup>).

$W$  и  $Z$  были последними из еще не открытых к тому моменту частиц в стандартной модели, за исключением бозона Хиггса, но они – а также частица Хиггса – уже были описаны в учебнике.

Таким образом, в начале 1983 года, больше трех десятилетий назад, физики, работавшие с ускорителями, поняли, что вступают в своего рода пустыню: единственным возможным открытием на горизонте была частица Хиггса, но для ее открытия требовался намного более мощный ускоритель – и намного более дорогой, – чем тот, благодаря которому Руббиа принес ЦЕРН первую Нобелевскую премию. Между сообществами физиков США и Европы начала ощущаться нездоровая конкуренция. Американцы начали проектировать Сверхпроводящий суперколлайдер (программа, которая в конце концов завершилась дырой в тexasской прерии, в которую ухнули два миллиарда долларов). А европейцы во главе с прославившимся теперь Руббиа начали строительство Большого адронного коллайдера. По изначальному плану Руббиа строительство должно было завершиться в 1991 году, но коллайдер начал свою работу лишь с двадцатилетним опозданием.

За 30 с лишним лет, прошедших с момента открытия частиц  $W/Z$ , сообщество, занимавшееся физикой частиц, отчаянно искало экспериментальные свидетельства для любого развития физики за пределами стандартной модели. Самые очевидные надежды были связаны с суперсимметрией, предполагавшей наличие тяжелых «братьев» и «сестер» для каждой частицы в модели, а также теорией струн, вряд ли способной на какие-либо экспериментальные прогнозы. Руббиа, Клайн и их друзья занимались поисками суперсимметричной частицы уже в начале 1980-х, в процессе изучения  $W$  и  $Z$  (можно даже сказать, что их больше интересовала суперсимметрия, чем частицы, которые они в итоге нашли), – однако эти поиски не увенчались успехом<sup>235</sup>. Поэтому в наши дни ученым, управляющим Большим адронным коллайдером, остается разводиться руками. Основную надежду им, как и их предшественникам 30 с лишним лет назад, приходится возлагать на суперсимметрию.

Хотя открытие частицы Хиггса в 2012 году и стало огромным триумфом, на момент написания этой книги деятельность БАК и данные, которые получают с его помощью, не сулят нам никаких новых сюрпризов. Все происходящее соответствует стандартной модели. Как писал Гэри Тобес, автор книги *Nobel Dreams*, в 1986 году,

если в этой пустыне нет никакой жизни, никаких новых частиц, то вряд ли у нас появится больше свидетельств, на базе которых мы могли бы

выстроить новые теории. Прогресс завершится. Стандартная модель останется стандартной еще на долгие годы.

Как я уже указал в первой главе этой книги, на данный момент был вскрыт всего один замок на сундуке стандартной модели – замок, связанный с поведением нейтрино. Более того, он был открыт не на ускорителе, а с помощью подземного грейзеновского детектора нейтрино и UNDINE. Чуть позже я расскажу об этом подробнее.

\* \* \*

Одно из прозвищ Фрэнсиса Халзена – «самое быстрое перо на Западе». Впервые он погрузился в область нейтринной астрономии в свободное время в ходе своей поездки на Гавайи в 1980 году. Он предоставил теоретическую работу<sup>236</sup> на крупный симпозиум DUMAND<sup>237</sup>, организованный тем же летом Джоном Лёрндом в Гонолулу. В работе содержались расчеты количества и спектра энергии мюонов, которые данный инструмент мог найти в высокоэнергетических космических лучах.

В симпозиуме участвовали и другие теоретики, в том числе выдающиеся русские ученые. Одна из целей Лёрнда состояла в том, чтобы создать у профессионального сообщества заинтересованность, а теоретическая работа, опирающаяся на эксперимент, обычно в таких случаях помогает. Однако Джон думает, что Фрэнсис подержал DUMAND не только своей феноменологической работой, но и тем, что постоянно рассказывал о DUMAND в ходе своих многочисленных выступлений по всему миру. Это – важная форма научного «перекрестного опыления», поскольку в ходе таких путешествий все участники могут узнать что-то новое. Боб Морс говорит:

Фрэнсис наверняка пришел бы в бешенство, услышав эти мои слова, но ведь Фрэнсис – это наш новый Дейв Клайн. Дейв так же мотался туда и сюда, подлетал к каждому цветку, переносил с собой пыльцу, разбрасывал ее повсюду, а затем делился с нами новостями. Фрэнсис делает то же самое.

\* \* \*

К сожалению, тонкие ростки сотрудничества, начавшие пробиваться в годы холодной войны, вскоре были грубо выдернуты из земли. В декабре 1979 года, менее чем за месяц до начала финансирования DUMAND, СССР вторгся в Афганистан, а после президентских выборов в США в ноябре 1980 года Джимми Картера сменил более воинственный Рональд Рейган. Артур Робертс рассказывает, что

разрыв связей с русскими был произведен элегантно и в хорошем стиле<sup>238</sup>. Нам конфиденциально сообщили, что мы, конечно, вольны выбирать себе партнеров, но при продолжении работы с советскими учеными может оказаться так, что для нас не найдется финансирования.

«Мы держали каналы открытыми и оставались друзьями, – добавляет Лёрнд, – однако больше не могли работать вместе». Возможно, для русских эта неприятность обернулась большим благом.

## Глава 6

### Наука в своем лучшем виде

Участники проекта DUMAND сразу начали мыслить масштабно (возможно, слишком масштабно). Изначальная концепция требовала создания массива детекторов объемом 1,6 кубических километра, расположенного в Тихом океане на глубине пяти километров, в 30 км от ближайшего берега. Он должен был состоять из 1200 с лишним «бисерных нитей», по 18 оптических детекторов на каждой, то есть всего более 23 000 детекторов. Каждая «бусина» представляла собой стеклянную сферу, способную выдерживать давление в 500 атмосфер. Внутри сферы располагался фотоэлемент и связанная с ним электроника. Стоимость одних лишь фотоэлементов достигала 70 миллионов долларов<sup>239</sup>. Нити должны были удерживаться у дна океана с помощью якорей и оставаться вытянутыми с помощью поплавков в их верхней части. В проекте планировалось использовать оптико-волоконные кабели для передачи электрических сигналов на берег, хотя на тот момент необходимая технология еще не была изобретена. Артур Робертс отмечает, что «океанографы были просто поражены – этот проект был в сотни раз масштабнее любого другого мирного океанского проекта»<sup>240</sup>.

В конце концов участникам DUMAND так и не удалось закрепить хотя бы одну функционирующую нить на дне океана. Первая была утеряна в 1982 году, когда при погружении в воду не выдержал кабель, на котором держались детекторы (несмотря на то, что он был рассчитан на в 20 раз большую нагрузку). Причиной аварии стала так называемая нагрузка рывком (*snap loading*): если трос с детекторами уже находится на определенной глубине и в этот момент судно-кабелеукладчик вдруг резко поднимается на волне, трос не успевает подняться за ним, поскольку сферы оптических модулей испытывают сильное сопротивление воды – примерно так же, как обычный якорь<sup>241</sup>. Вторую нить потеряли в 1985 году, «когда не сработали взрывающиеся болты, которые должны были освободить ее в конце запланированного срока пребывания на дне океана»<sup>242</sup>.

Столкнувшись с реалиями глубоководной гидроинженерии и резким ростом издержек, изначально запланированный рабочий объем проекта начал быстро уменьшаться (одна из глав истории проекта, написанной Робертсом, называется «Невероятно усыхающий массив»). Исследователи разработали запасные концепции меньшего размера – MICRO, MINI и MIDI DUMAND, самая маленькая из этих конструкций состояла всего из 19 нитей.

Министерство энергетики с присущей ему мудростью профинансировало лишь одно технико-экономическое исследование по проекту. В 1982 году министерство отвергло предложение строить массив из 36 нитей и рекомендовало вместо этого обойтись лишь одной нитью, которая к тому же должна была просто свешиваться с палубы корабля, а не стоять на якоре на дне океана. Через семь лет после старта проекта, в 1987 году, наконец удалось установить так называемую короткую нить-прототип<sup>243</sup>, состоявшую всего из семи оптических модулей, и начать эксперимент, по сути дела, бывший более раскрученной версией экспериментов, которые Лёрнд проводил для своей диссертации еще 20 лет назад. В результате было собрано 38 часов данных, полученных на пяти разных глубинах, от 2 до 4 км, и демонстрировавших зависимость интенсивности направленных вниз атмосферных мюонов от глубины<sup>244</sup>. Также получилось создать примерный профиль углового распределения мюонов. Министерство энергетики посчитало это достаточным успехом для того, чтобы профинансировать в 1989 году создание массива из девяти нитей (этот проект назывался DUMAND-II).

Тем временем русским удалось добиться значительного прогресса. Примерно в то же самое время, когда в США обсуждался вопрос финансирования DUMAND, Академия наук СССР организовала для нужд байкальского проекта специальную лабораторию в московском Институте ядерных исследований и назначила ее руководителем Григория Домогацкого – того самого теоретика, что в ночи выдавал советские рубли американским хиппи.

И сам Домогацкий, и его ведущий экспериментатор Леонид Безруков предпочитали консервативный подход во всем, начиная с выбора площадки. В их распоряжении были меньшие глубины, примерно километровые, и они предпочли расположить площадку лишь в 3,5 км от берега – примерно одна десятая соответствующей дистанции у DUMAND. На такой малой глубине направленные вниз мюоны буквально кишели, зато сравнительно небольшой масштаб делал проект более управляемым. Кроме того (что оказалось критически важным впоследствии), в течение тех месяцев, когда Байкал был скован льдом, ученые могли не только ходить по своей экспериментальной площадке, но и перевозить по ней тяжелое оборудование.

Наука в России и до сих пор считается достаточно почетным занятием, и байкальский эксперимент в то время был одним из самых важных в области физики. Полевая штаб-квартира проекта до сих пор располагается на заброшенной железнодорожной станции на одной из тупиковых веток Транссибирской магистрали.

В этих местах нет автомобильных дорог. Летом сюда можно добраться лишь на поезде или на лодке. Зимой, когда Байкал замерзает, к станции можно проехать по льду озера из города Листвянка, расположенного на северном берегу Ангары примерно в 50 км к северо-востоку. До 1997 года, когда немецкие участники проекта установили на станции спутниковое оборудование, там не было интернета – единственной связью с внешним миром оставалась старомодная телефонная линия, протянутая вдоль железнодорожной колеи еще в 1930-е годы.

Исследователи живут в небольших деревянных домиках с дровяными печами (чаще всего используются березовые дрова). Водопровода в домиках нет. На станции имеется сауна с ручным водяным насосом, она также отапливается дровами, и каждую субботу обитатели станции моются здесь в несколько смен, поливая водой раскаленные камни в парилке и расслабляясь в клубах пара. Часто по вечерам слышны песни под гитару, и если еда в целом не заслуживает особых похвал, то каждое утро на станции пекут вкуснейший свежий хлеб.

Обслуживание датчиков происходит в марте и начале апреля, когда лед на озере достигает максимальной толщины. Во льду бурят отверстия, а затем ученые вытягивают через них нити со дна озера для ремонта, проверяют их, закрепляют новое оборудование, а затем телескоп вновь погружается на глубину. На последнем этапе ученые связывают вместе кабели, которые использовались для погружения нити, прикрепляют к ним поплавков и опускают под лед. В теплые месяцы поплавков с кабелями будет свободно висеть под поверхностью воды, пока телескоп собирает данные (эти данные затем передаются на берег с помощью кабеля, проложенного по дну озера). Перед началом очередной сезонной проверки водолазы в гидрокостюмах сухого типа опускаются в прорубь и прицепляют к поплавку специальный линь, с помощью которого поплавков вытянут на поверхность.

Каждую весну ученые отмечают выпуск поплавка в ходе церемонии, чем-то похожей на традиционные русские похороны. Один человек стоит на льду рядом с прорубью для установки нити, держа в руках бутылку водки и небольшой стеклянный стаканчик, а остальные по очереди проходят мимо него. Каждому наполняют стакан, он выплескивает несколько капель в прорубь – это дань Бурхану, богу Байкала, – а затем выпивает остаток водки. За этой церемонией следуют баня и вечеринка. (Как-то я спросил у Ральфа Вишневецки, одного из немецких участников проекта, окунаются ли они в озеро перед баней? «Некоторые окунаются, да, – ответил Ральф. – Но только нечаянно».)

Как-то раз Кристиан Шпиринг показал мне несколько фотографий с одной из этих церемоний закрытия сезона. На одной из них несколько совершенно голых ученых купаются в

сугробах возле бани. На других фото они же стоят на льду на фоне бурых, покрытых лесом сопок, в окружении тяжелой техники и огромных мотков кабеля, или лежат на животах вокруг проруби и смотрят в черную воду сквозь самодельные, неуклюжие водолазные маски. Вот ученые в бесформенной зимней одежде и типичных русских шапках-ушанках с загнутым вверх козырьком и опущенными длинными ушами возятся с электроникой или колдуют над компьютерами внутри каких-то ящиков, напоминающих хижины, которые строят для себя любители подледного лова. На одной фотографии Григорий Домогацкий пристально смотрит в камеру из-под ушанки. Он кажется строгим и собранным даже в мешковатой зимней одежде. Его глаза светятся умом, а из уголка рта торчит папироса.

## **Конец ознакомительного фрагмента.**

Текст предоставлен ООО «ЛитРес».

Прочитайте эту книгу целиком, [купив полную легальную версию](#) на ЛитРес.

Безопасно оплатить книгу можно банковской картой Visa, MasterCard, Maestro, со счета мобильного телефона, с платежного терминала, в салоне МТС или Связной, через PayPal, WebMoney, Яндекс.Деньги, QIWI Кошелек, бонусными картами или другим удобным Вам способом.