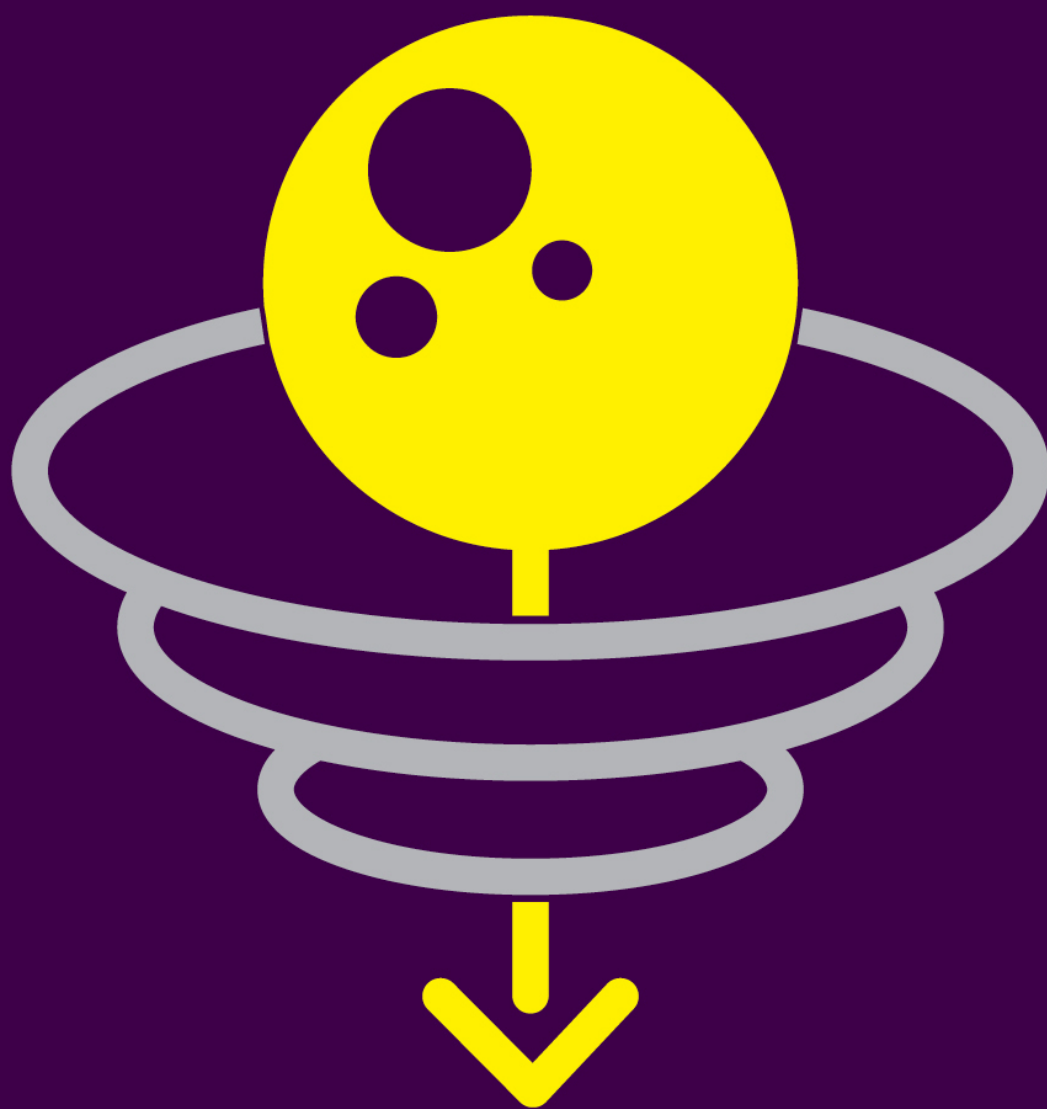


**МАРК
БОУЭН**



**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
Конец ознакомительного фрагмента.	38

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 роде¹.

– Питер Горэм

Вноябре 2013 года международный союз, управляющий работой нейтринной обсерватории *IceCube*, заявил, чем ему удалось обнаружить высокоэнергетические нейтрино, приходящие на Землю из далекого космоса¹². 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 астрономии³. И, возможно, самая странная его черта состоит в том, что

¹ 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 рубашке⁴. 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-Манш⁵. 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 открытия⁶.

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»⁷:

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»⁸.

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»⁹. 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 нейтрино¹⁰. 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 прощает¹¹.

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») ¹², 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 механики¹³. 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 относительности¹⁴. 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 оценок¹⁵.

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 Германии¹⁶.

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»¹⁷.

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)¹⁸. 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 небес¹⁹.

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»²⁰.

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»²¹. 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 критики²².

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 изобрел квантовую механику, демонстрирует, что его работа была во многом вдохновлена прозрениями и предложениями со стороны Паули²³.

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 одобрение²⁴.

«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»²⁵. 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»²⁶). 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 Хайд²⁷.

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 науки²⁸. 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 личность²⁹.

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 лет³⁰. 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 спектра³¹.

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 распада³². 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 непонятное³³.

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 – нет³⁴. 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!³⁵

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»³⁶. Через год голландские физики Джордж Уленбек и Сэмюэль Гаудсмит объяснили некоторые тонкости конкретного свойства эмиссионного спектра водорода, которое они и определили как спин³⁷.

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 полуполым 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 полуполым 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 запрета³⁸. 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 задач³⁹.

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 β -спектра при условии, что в процессе β -распада, помимо электрона, излучается и нейтрон, причем таким образом, что сумма энергий нейтрона и электрона сохраняет свою стабильность⁴⁰.

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 другое⁴¹). 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 Паули⁴².

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 β -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 частицы⁴³.

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 образом⁴⁴.

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»⁴⁵. 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 Пасадене⁴⁶. 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 творение⁴⁷.

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»⁴⁸.

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 Паули⁴⁹. 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 просветления⁵⁰.

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!⁵¹ 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 получился⁵².

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!»⁵³). 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»⁵⁴. 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 ЕТН⁵⁵. 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 лечебницы⁵⁶.

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»⁵⁷. 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 полу⁵⁸).

Наука в этот период активно двигалась вперед. В феврале 1932 года, примерно в то же время, когда Паули начал посещать психотерапевта, Джеймс Чедвик открыл нейтрон⁵⁹. 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 Ферми⁶⁰.

Начался взрывной рост физики элементарных частиц. В августе 1932 года Карл Андерсон из Калифорнийского технологического института открыл позитрон в потоке космических лучей, падающих на Землю⁶¹.

* * *

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 планеты⁶². 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»⁶³. 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»]!⁶⁴

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»⁶⁵). Кроме того, открытие позитрона позволило ответить на вопрос, поднятый в так называемом уравнении Дирака⁶⁶ (о котором молодой Поль Дирак думал зимой 1927–1928 годов и которое многие считают самым красивым уравнением во всей физике⁶⁷).

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 зарядом⁶⁸, 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»⁶⁹. 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 образом⁷⁰. 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 года⁷¹.

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 Эллис⁷². 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 электрона⁷³. 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 массы⁷⁴. 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 года⁷⁵.

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 писал⁷⁶:

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 конференции⁷⁷.

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»⁷⁸. 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 Юнг⁷⁹). 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 анонимным⁸⁰. 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 развития⁸¹. 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 время⁸²».

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»⁸³. 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»⁸⁴. 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*)⁸⁵, 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» сторонами⁸⁶. 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»⁸⁷ 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 сторонников⁸⁸.

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 поля⁸⁹, 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 карьеру⁹⁰). Тогда Ферми опубликовал свою статью в трех более специализированных – и менее известных – физических журналах⁹¹.

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»⁹². 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 редко⁹³. 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»⁹⁴.

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 году⁹⁵.

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 Стокгольме⁹⁶. 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»⁹⁷. 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 ядер⁹⁸, взрыв в результате будет чудовищно сильным. В середине января Фриш назвал процесс *делением*, по аналогии с бинарным делением бактерий⁹⁹.

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 Майорана¹⁰⁰, 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 году¹⁰¹, 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 мюон¹⁰². 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 взаимодействие¹⁰³.

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»¹⁰⁴. 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 Тулузы¹⁰⁵.

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*²), 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-Ривер¹⁰⁶¹⁰⁷. Этот отчет оставался под грифом секретности в течение четырех лет, возможно, из-за того, что в нем несколько раз использовалось слово *pile*

² «Программа получения трубчатых сплавов».

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.