

РУБЕЖИ НАУКИ

Г. Фрейзер

АНТИМАТЕРИЯ

ЗАЗЕРКАЛЬНЫЕ МИРЫ

Издательство «МИР»

АНТИМАТЕРИЯ

ЗАЗЕРКАЛЬНЫЕ МИРЫ

Gordon Fraser

ANTIMATTER
THE ULTIMATE MIRROR

Cambridge University Press

Г. Фрейзер

АНТИМАТЕРИЯ ЗАЗЕРКАЛЬНЫЕ МИРЫ

Перевод с английского
канд. физ.-мат. наук Д.Е. Лейкина

под редакцией
д-ра физ.-мат. наук Е.М. Лейкина



Москва «Мир» 2002

УДК 524.884

ББК 22.36

Ф86

Фрейзер Г.

Ф86 Антиматерия. Зазеркальные миры: Пер. с англ. — М.: Мир, 2002. — 214 с., ил. — (Рубежи науки).

ISBN 5-03-003389-0

Книга знакомит читателя с развитием фундаментальных представлений о свойствах микромира, с историей предсказания и экспериментального открытия античастиц. Рассказ о современной физике автор сопровождает галереей портретов выдающихся ученых XX века, творческий гений которых способствовал формированию современных представлений о природе вещей. В книге рассказано также о получении в Европейском центре ядерных исследований в Женеве первых атомов антиматерии — атомов антиводорода.

Для широкого круга читателей, интересующихся современным состоянием фундаментальной науки о строении вещества и новейшими достижениями в этой области.

УДК 524.884

ББК 22.36

Научное издание

Гордон Фрейзер

АНТИМАТЕРИЯ
Зазеркальные миры

Заведующий редакцией *В. В. Герасимовский* Ведущий редактор *В. И. Самсонова*

Художник *В. П. Григорьев* Корректор *М. Ф. Казакова*

Оригинал-макет подготовлен *Е. В. Денюковой*

Лицензия ЛР № 010174 от 20.05.97 г.

Подписано к печати 08.02.02. Формат 60×90/16. Бумага офсетная. Печать офсетная.

Гарнитура NewtonС. Объем 6,75 бум. л. Усл. печ. л. 13,5. Уч. изд. л. 12,70.

Изд. № 2/9780. Тираж 3 000 экз. Зак. **382-02**

Издательство «Мир»

Министерства РФ по делам печати, телерадиовещания и средств массовых коммуникаций
107996, ГСП-6, Москва, 1-й Рижский пер., 2

Диапозитивы изготовлены в издательстве «Мир»

Отпечатано с готовых диапозитивов в ППП «Типография Наука»
121099, Москва, Шубинский пер., 6

Редакция литературы по физике и астрономии

ISBN 5-03-003389-0 (русск.)

ISBN 0-521-65252-9 (англ.)

© Cambridge University Press 2000

© перевод на русский язык,
оформление, «Мир», 2002

Предисловие редактора русского издания

Судя по названию, книга посвящена весьма необычному предмету — антиматерии. Более точно — истории того, как теоретически было предсказано существование антиматерии и затем открыты ее составные части — античастицы.

Для автора поводом обратиться к проблеме антиматерии, видимо, послужили результаты, полученные группой физиков-энтузиастов из ЦЕРНа (Европейского центра ядерных исследований). В январе 1996 г. многочисленные «папарацци» разнесли по всему свету весть о полученном впервые «рукотворном» атоме антивещества — антиводороде. Ядром этого антиатома служила античастица протона — антипротон, а место электрона занял его двойник из антимира — позитрон. Но, думаю, что самое большое удивление читателя вызовут обстоятельства, в условиях которых ученым удалось достигнуть поистине колумбовой цели. Этот эксперимент отнюдь не был «любимым детищем» научного руководства ЦЕРНа. Вполне возможно, что члены руководства даже были настолько не в курсе дела, что в очередном ежегоднике ЦЕРНа просто забыли упомянуть о нем.

Эксперимент, в котором физики стремились решить чрезвычайно амбициозную задачу, а именно впервые создать в лаборатории атом антивещества, на протяжении ряда лет влачил существование пасынка европейского научного сообщества. Подобная ситуация, когда «гадкий утенок» превращается в прекрасного лебедя, по-видимому, отражает «момент истины» в развитии науки, и о нем с большим мастерством рассказано в книге Гордона Фрейзера — главного редактора ежемесячного журнала *CERN Courier*. На страницах этого журнала, чрезвычайно популярного среди физиков, работающих в области физики элементарных частиц и высоких энергий, а также смежных областях, содержится информация о всех значительных научных событиях, происходящих не только в ЦЕРНе, но и практически во всех крупных научных центрах планеты. Иными словами, автор книги — один из наиболее информированных людей. Однако проблемы изучения антиматерии он использо-

вал в качестве своеобразной канвы, по которой в книге развернута своего рода галерея портретов великих людей, с именами которых неразрывно связано формирование современных научных представлений, начиная с Галилея и Ньютона и кончая выдающимися учеными двадцатого века. Именно их творческая мысль ввела в науку понятия об античастицах и антиматерии, относящиеся к наиболее фундаментальным представлениям о природе вещей.

Чтение книги должно доставить читателю истинное удовольствие благодаря возможности близкого знакомства с личностями многих выдающихся людей. Автор окружил рассказ о развитии современных идей в физике живой тканью человеческих личностей. Много место уделено описанию сложных и противоречивых путей, которыми развивается наука и на которых непрерывно происходит столкновение характеров и амбиций ученых. Автор не утаивает от читателя существование неистребимой даже в научной среде бюрократии и демонстрирует, насколько сложна творческая жизнь ученого.

Несколько слов о той части книги, в которой автор касается не всегда доступных широкой читательской аудитории проблем, относящихся к современным представлениям науки о строении вещества и Вселенной. Автор стремился излагать эти вопросы на общедоступном уровне, который был бы понятен по возможности более широкому кругу читателей.

В современной физике фундаментальных процессов основополагающую роль играет понятие симметрии. Со времен Льюиса Кэрролла с его «Алисой в стране чудес» и «Алисой в Зазеркалье» в литературе, адресованной широкому читателю, представление о симметрии было принято ассоциировать с отражением в обычном зеркале. Однако в фундаментальной науке число различных симметрий весьма велико, и не всегда их упрощенное сопоставление зеркальному отражению может помочь неподготовленному читателю уяснить суть дела. Но не следует забывать, что для современного человека язык науки вполне доступен и отнюдь не всегда необходимо его избегать.

Итак, в книге явно присутствуют две линии изложения, одна из которых посвящена развитию фундаментальных представлений о строении вещества, тогда как вторая представляет читателю ожившие образы выдающихся ученых минувшего столетия, гением которых и были созданы эти представления. Пожалуй, именно в этой части и нашло отражение мастерство автора книги как современного эссеиста.

Возвращаясь к исходному мотиву книги, а именно антивеществу, следует подчеркнуть, что в виде простейших компонент - античастиц оно в изобилии рождается в земных лабораториях на современных гигантских ускорителях. Однако в окружающем космосе даже античастицы пока остаются неуловимыми частицами-невидимками. Таким образом, проблемы, имеющие прямое отношение к антиматерии, включая ее роль в науке о микромире и Вселенной, во многом туманны и служат лишь сюжетом фантастических изысков типа телесериала *Star Trek*. Несмотря на внушительные успехи, проблем остается несравненно больше!

Е. М. Лейкин

Предисловие

Антиматерия — понятие столь же привычное, сколь и непостижимое. Добавление к обычным вещам приставки «анти» смущает разум и будоражит воображение — превосходный материал для писателей, одаренных богатой фантазией! Одним из первых литературных талантов, взявшихся за эту тему, был Айзек Азимов. Он придумал роботов, которые приводились в действие мозгом, использовавшим античастицы (позитроны). Затем появилась «антиземная» материя Джека Вильямсона. Создатель *Star Trek* Джин Роденбери описал сверхсветовые космические корабли на топливе из антивещества.

Научно-фантастическая литература сделала антиматерию невероятно популярной. В выпущенном в январе 1996 г. сдержанном пресс-релизе ЦЕРНа (Европейского центра ядерных исследований, Женева) сообщалось, что в одном из экспериментов были впервые синтезированы атомы антиводорода — антиматерии простейшего химического состава. Благодаря научно-фантастической литературе отклик на это событие был потрясающим — за несколько часов эти несколько атомов антивещества заняли лучшее эфирное время на телевидении и первые полосы газет во всем мире. Фундаментальные проблемы физики не были предметом столь пристального общественного внимания со времен создания ядерного оружия.

Цель этой книги далека от рекламы — в ней разъясняется, почему антивещество представляет важную проблему физики элементарных частиц. Считаю своим долгом поблагодарить Мориса Буркэна, Фрэнка Клоуза, Дона Канди, Джона Идса, Джеймса Джиллиса, Мориса Джекоба, Рольфа Ландуа, Дитера Мёля, Вальтера Элерта, Первэ Худбоя, Фахима Хусейна, Альваро де Рухулу, Кристину Саттон и Сэма Тинга за помощь в работе. Я также признателен Саймону Миттону и его группе в издательстве Кембриджского университета.

НАУЧНАЯ ФАНТАСТИКА СТАНОВИТСЯ РЕАЛЬНОСТЬЮ

Ученые, как и все, читают газеты и смотрят передачи телевидения, однако в отличие от обычных людей они не надеются почерпнуть отсюда что-либо всерьез связанное с их профессиональными интересами. У них есть своя специализированная пресса, позволяющая оставаться в курсе последних научных событий. Все научные достижения тщательно документируются в ней в строгом соответствии со специально разработанными правилами. Этот порядок, однако, был нарушен в январе 1996 г. Возвращаясь после новогодних каникул в свои исследовательские лаборатории, физики всего мира были буквально поражены сообщениями средств массовой информации, в которых говорилось о настоящем прорыве, совершенном в одном скромном эксперименте. Вот некоторые из газетных заголовков той поры: «Ученые создали топливо из научно-фантастических романов» (*The Times*), «Открытие, которое может перевернуть представления о Вселенной» (*Washington Post*), «У истоков антиматерии» (*La Liberation*), «Врата Царства Теней» (*Der Spiegel*). После некоторого замешательства, вызванного газетной трескотней, физики догадались, что речь шла об эксперименте, в котором впервые были синтезированы атомы антиводорода — простейшего химического элемента антиматерии.

Лавина сообщений об этом научном открытии была инициирована кратким, в четыре абзаца, пресс-релизом ЦЕРНа — Европейского центра ядерных исследований в Женеве (Швейцария). Отклик был действительно потрясающим — спустя всего несколько часов сообщение об этом событии заняло прайм-тайм на ТВ и первые полосы ведущих мировых газет. Это был поистине удачный день для новостей во многих странах. Любопытно, что эти события произошли спустя ровно сто лет после того, как Вильгельм Рентген в письме из Вюрцбурга сообщал об открытии удивительных «Х-лучей», позволивших ему запечат-

леть кости руки своей супруги. Отклик на открытие Рентгена последовал незамедлительно: газеты стали пугать публику рассказами о «всепроницающем» излучении и советовали женщинам использовать ткани со свинцовой нитью, дабы защитить себя от любопытных «рентгеновских» глаз. Переданный через интернет пресс-релиз ЦЕРНа имел еще больший резонанс, чем «Х-лучи» Рентгена. Каким же образом это событие могло овладеть воображением публики прежде, чем во всем смогли разобраться физики?

Мир квантовых явлений труден для понимания, но именно его непостижимость может стать стимулом для воображения. Какие законы управляют тем миром, который мы не в состоянии ясно себе представить? Из множества непривычных понятий квантовой теории антиматерия стала излюбленной темой в научной фантастике — с ее помощью невероятное становилось возможным. Вымышленные космические корабли с двигателями на топливе из антиматерии снуют в пространственно-временных лабиринтах. Раньше антиматерия была лишь научным понятием, использовавшимся в фантастической литературе, однако в январе 1996 г. она стала реальностью.

АТОМ МЕНЯЕТ ПОЛ

В 1603 г. немецкий астроном Иоганн Байер занес примерно 2000 известных тогда небесных светил в свой астрономический атлас Уранометрию. Сегодня мы знаем, что только в нашей Галактике, Млечном Пути, около ста миллиардов звезд, т. е. их число более чем в десять раз превосходит число жителей Земли. По оценкам астрономов, во всей Вселенной находится около ста миллиардов галактик, в каждой из которых примерно столько же звезд, сколько и в Млечном Пути, так что общее число звезд во Вселенной должно составлять порядка десяти тысяч миллиардов миллиардов (10^{22}) — такое количество песчинок покрыло бы территорию Объединенного Королевства слоем в несколько сантиметров.

Все в нашем мире — животные, растения, камни — состоит из атомов. Но атомы очень малы — в куске сахара их больше, чем звезд во Вселенной. В каждом из атомов этого куска сахара сбалансировано электричество, но не масса. Если бы существовала такая вещь, как звездная генетика, то все выглядело бы так, как будто благодаря ее законам все звезды были мужского пола.

Основной силой, действующей внутри любого атома, являет-

ся электричество. Атомы в целом электрически нейтральны, а составляющие их частицы несут одинаковые по величине порции положительного и отрицательного зарядов. Такое равновесие может быть результатом попарного соответствия каждой положительно заряженной частицы внутри атома ее отрицательно заряженному партнеру. Это имеет место в удаленных гигантских звездах, атомы которых сдавлены беспощадным гравитационным прессом. Но в обычных атомах подобного слияния нет — заряды полностью отделены друг от друга. В каждом атоме крохотное положительно заряженное ядро окружено облаком вращающихся вокруг него электронов.

В атоме сбалансирован электрический заряд, но не масса. Более 99,9% массы нашего мира приходится на положительно заряженные частицы. Если разобрать атом на части, то можно получить положительное и отрицательное электричество. В нашем мире отрицательно заряженные частицы намного легче положительно заряженных частиц, поэтому «отрицательное» электричество получать гораздо проще. Свойственна ли эта асимметрия Вселенной в целом или же она компенсируется существованием миров, в которых большая часть массы приходится на отрицательные заряды? В письме, адресованном в 1898 г. журналу *Nature*, Артур Шустер предположил: «Если существует отрицательное электричество, то почему не может быть «отрицательного» золота, такого же желтого, как наше обычное золото?». В течение последующих тридцати лет догадка Шустера пылилась на полке.

Физики называют уравнения некоторых теорий «красивыми», подразумевая, что эти уравнения лаконичны, симметричны, замкнуты и свободны от произвола. Если из такого уравнения следует, что нечто должно произойти, то чаще всего так оно и бывает. Примером может служить система знаменитых уравнений, полученных шотландским физиком Джеймсом Клерком Максвеллом в 1864 г. В начале девятнадцатого века физики обнаружили, что проводник с током создает магнитное поле и что при движении магнита возникает электрический ток. Электричество и магнетизм в известном смысле являются взаимно дополняющими сторонами одного и того же явления. Взаимосвязь электрических и магнитных полей в полной мере выявилась именно в уравнениях Максвелла.

В 1927 г. британский физик Поль Дирак написал уравнение, имевшее своим следствием двойственность совершенно иного рода. Это уравнение подтверждало высказанную Шустером еще

в 1898 г. догадку (к тому времени о ней почти все успели забыть). Во времена Дирака физикам стало ясно, что атом похож на миниатюрную солнечную систему, в которой электроны движутся по орбитам на значительном удалении от центра атома — ядра, содержащего протоны. Отличие от солнечной системы состоит в том, что электроны несут отрицательный заряд, а протоны — положительный. Распределение электрического заряда в атоме имело вид облака отрицательного заряда вокруг положительного центра. Масса положительно заряженных протонов во много раз превосходит массу электронов — примерно в две тысячи раз, поэтому относительный вклад электронов в полную массу атома крайне мал.

Полученное Дираком уравнение имело целью описание электрона, и оно успешно справилось с этой задачей. Кроме того, из уравнения Дирака следовало, что у электрона должен быть «двойник» — частица с зарядом той же величины, но противоположного знака. Поначалу Дирак полагал, что его уравнение относится к привычному для нас миру, и предположил, что положительно заряженная частица в его уравнении является протоном. Однако симметрия уравнения Дирака отражает симметрию самой Вселенной, которая слишком совершенна, чтобы иметь подобный изъян — допустить, чтобы одна частица была в две тысячи раз тяжелее другой. Дирак понял, что наш мир должен быть дополнен определенной электрической симметрией с абсолютным иным материалом для построения элементарных частиц. Такие частицы он назвал «античастицами». Мир, построенный из античастиц, является своего рода зеркальным отражением нашего мира; легкие частицы в этом мире имеют положительный заряд вместо отрицательного.

В последующие годы физики открыли множество других субатомных частиц, большинство из которых весьма экзотичны и не обнаруживаются в обычных атомах. Хотя этим частицам и нет места в нашем мире, они были вплетены в ткань мироздания в первые доли секунды сотворения Вселенной, когда ее температура достигала десятков миллиардов градусов. По мере остывания Вселенной эти частицы распадались, превращаясь в то, что мы теперь видим. Синтез таких частиц требует энергий, достаточных для воссоздания начальной температуры Вселенной. Согласно теории Дирака у этих частиц тоже должны существовать античастицы.

В электрически нейтральном образце обычного вещества электрическая природа атомных сил никак себя не проявляет.

Если, однако, этот образец поместить в сильное электрическое поле, он испытает деформацию, при которой отрицательные заряды сместятся к одному его краю, а положительные — к другому. Образец в целом станет электрически несимметричным. Когда внешне электрическое поле будет снято, напряжение упругой деформации исчезнет, заряды вернуться к своему равновесному положению в атомах, и образец опять будет выглядеть электрически нейтральным.

Существует, однако, и более фундаментальная упругость, чем та, что связана со структурой атома. Непосредственно перед актом сотворения «земля же была безвидна и пуста»*. Пустота — тончайшая материя, однако даже электрическая нейтральность этой первозданной пустоты была расколота на частицы и античастицы силами, высвободившимися в Большом Взрыве и давшими начало нашей Вселенной. Большим Взрывом была натянута Первозданная тетива; она и по сей день продолжает удлиняться. Частицы на одном ее конце эволюционировали в мир, который мы теперь видим. Но куда бы физики ни обращали свой взгляд, они повсюду видят только обычную, состоящую из атомов материю. Куда делись античастицы-двойники, прикрепленные к противоположному концу этой Первозданной тетивы? Похоже, они теперь где-то очень далеко. Однако, где бы ни находился этот «зеркальный» мир из античастиц, в один прекрасный день он может вернуться. Когда силы Большого Взрыва иссякнут окончательно, Первозданная тетива, быть может, внезапно оборвется, и тогда опять воцарится первозданная пустота Бытия.

Физики не знают, где теперь находятся эти античастицы, однако они научились создавать их искусственно. В 1932 г., вскоре после того как Дирак пришел к выводу о неизбежности существования античастиц, был обнаружен двойник электрона из антимира — очень легкая частица, несущая положительный электрический заряд и потому названная позитроном. Можно сказать, что позитрон является носителем «положительного электричества». По мере совершенствования методов исследований физики открывали все больше и больше новых античастиц. Однако эти одиночные античастицы вовсе не являются первозданными, ибо они явились нам не из колыбели мироздания. Эти частицы были искусственно созданы в процессах, имитирующих в миниатюре то, как электрически нейтральная

* Бытие, Гл. 1, Песнь 2. — *Прим. перев.*

пустота была изначально расщеплена Большим Взрывом на пары частица — античастица.

Постепенно физики научились «приручать» античастицы — сначала это были позитроны, позднее — антипротоны, и создали источники античастиц, благодаря которым те были всегда под рукой. Однако такие античастицы существуют только до тех пор, пока к их источнику подводится энергия. Как будто ревностно заботясь о сохранении своей монополии, частицы обычной материи безжалостно пресекают вторжение любых античастиц и аннигилируют с ними, превращаясь в излучение. Античастицы нуждаются в бережной защите; под такой защитой они существуют, как правило, в уединении и не образуют атомов. Между тем антивещество должно подчиняться законам физики и химии. Можно ли из искусственно образованных античастиц создать настоящие атомы антиматерии? Даже при использовании интенсивных источников античастицы неизбежно аннигилируют с окружающим веществом прежде, чем могут сложиться подходящие условия для их слияния в единый атом.

ПЕРВОЕ АНТИВЕЩЕСТВО

12 сентября 1995 г., когда уже минуло почти сто лет после того как Шустер отправил свое теоретическое письмо в журнал *Nature*, немецкий физик Вальтер Элерт, просматривая данные своего компьютера, понял, что в ходе его эксперимента, по-видимому, удалось создать около дюжины атомов антивещества. Еще в 1993 и 1994 гг. Элерт пытался проделать то, что до той поры еще никому не удавалось. По-видимому, третья попытка, предпринятая им в 1995 г., оказалась успешной.

То были поистине беспокойные дни: сначала проводился эксперимент, поставленный в очень узкие временные рамки, а затем шла обработка огромного количества полученных данных. В течение 48 часов экспериментаторы на протяжении трех недель могли пользоваться самой драгоценной субстанцией — антипротонами. Получить в свое распоряжение антипротоны стремятся многие физики, и группе Элерта было в общей сложности выделено ровно два дня. Договорившись с другими экспериментаторами о графике работ, Элерт смог максимально эффективно использовать отпущенное ему время.

Когда эксперимент был завершен и все данные надежно собраны в компьютере, можно было перейти ко второй части работы — кропотливому анализу огромного количества полу-

ченной информации. Миллиард антипротонов обеспечил регистрацию 300 000 событий, записанных в компьютере. Из них было отобрано 23 000 событий, каждое из которых анализировалось отдельно.

После кропотливой двухнедельной работы по созданию программы, учитывающей все возможные факторы, которые физики из экспериментальной группы могли вообразить, оказалось, что лишь несколько событий упорно не удается отбросить. «Я был доволен, — сказал Элерт. — Я был уверен, что они не ошиблись». Группа занялась обработкой отобранных событий, и еще через несколько недель из них было оставлено одиннадцать «золотых крупиц». Были ли они тем, чего физики ожидали в течение почти всего двадцатого столетия, или же это была лишь жестокая насмешка статистики — просто случайные данные, создававшие видимость физической картины?

Эксперимент Элерта, поставленный в крупнейшей мировой научной лаборатории — ЦЕРНе, был весьма скромнен по масштабам современной Большой науки. В его группе было ровно шестнадцать физиков. В это же время сотни исследователей проводили в ЦЕРНе эксперименты стоимостью в сотни миллионов долларов. Группа Элерта работала на списанном оборудовании. По словам Элерта, «стоимость этой работы была практически нулевой по сравнению со стоимостью крупных экспериментов».

Нужны годы, чтобы спланировать крупный физический эксперимент, спроектировать и построить экспериментальную установку. На проведение эксперимента и анализ полученных данных тоже уходят годы. Один такой эксперимент может потребовать всей жизни университетского ученого. С Элертом все было по-другому. Его скромный проект был представлен в октябре 1994 г. и получил окончательное одобрение в феврале 1995 г. Через шесть месяцев этот эксперимент уже шел полным ходом под кодовым названием PS210. Потребовался всего один год на то, чтобы утвердить и осуществить проект эксперимента PS210; этот эксперимент даже не был упомянут в ежегодном издании «Эксперименты в ЦЕРНе» — 500-страничной книге, посвященной описанию 136 текущих работ лаборатории. Основное внимание в ЦЕРНе уделяется большим установкам и интересам работающих на них крупных международных групп; поэтому едва ли кто-нибудь обратил внимание на эксперимент PS210. Эта группа появилась и исчезла практически незамеченной.

Название эксперимента PS210 не выглядело интригующе.

Идея его состояла в том, чтобы направить пучок антипротонов на струйную мишень из атомов газообразного ксенона. Антипротоны не существуют в обычных земных условиях, но их можно получить искусственно. Есть два места, где антипротоны имеются в изобилии, — это ЦЕРН и Национальная ускорительная лаборатория имени Э. Ферми, или Фермилаб, в Иллинойсе, недалеко от Чикаго. Получение антипротонов обходится чрезвычайно дорого. Поэтому, когда все подготовлено для измерений, источник антипротонов часто обслуживает сразу нескольких пользователей, но при этом «раздача» антипротонов строго нормируется. Оборудование небольших экспериментов типа PS210 находилось в состоянии постоянной готовности подобно бегуну, замершему на исходной позиции в ожидании выстрела из стартового пистолета. «Однажды один студент вместо кнопки «Start» нажал на одном из детекторов на «Reset», и мы упустили пучок антипротонов», — сухо заметил Элерт. Новизна эксперимента PS210 заключалась в использовании струйной мишени из атомов ксенона. Пучок антипротонов позволял получить дополнительное количество античастиц. Это увеличивало шансы на возникновение подходящих условий для соединения античастиц друг с другом с образованием атомов антивещества.

Для пучка субатомных частиц атомная структура даже твердой металлической мишени имеет вид объемной «проволочной» решетки. Большинство частиц пучка просто пролетает ее насквозь, и лишь небольшая доля «задевает» атомную решетку. Протекание любого эксперимента контролируется детекторами — сложными системами, которые вырабатывают электронные сигналы всякий раз, когда частица задевает решетку. Каждое такое «событие», как их называют физики, позволяет воссоздать то, что в действительности происходит, когда налетающая частица с чем-то соударяется. Как и в случае любой системы регистрации, большая часть записанной информации не содержит ничего существенного. Физики, изучающие процессы с элементарными частицами, — это своего рода детективы субатомного мира, бдительно отслеживающие любые необычные события.

Полученный материал тщательно обрабатывается компьютером, который отбрасывает пустую породу в поисках драгоценных самородков. Как на золотом прииске, после промывки лоток часто оказывается пуст и исследователь, подобно старателю, вынужден заняться следующей порцией сырья. Если же после нескольких попыток эксперимент по-прежнему ничего не дает, экспериментатор начинает поиски на другой территории. После



Рис. 1.1. Вальтер Элерт (фото ЦЕРНа). Руководитель группы, открывшей первые атомы антиматерии.

нескольких неудачных попыток возникает соблазн покинуть это место. Однако в истории физики часты случаи, когда исследователи, идя уже проторенным путем, «копали глубже» и в конце концов находили сокровище. Ученый должен обладать воображением, интуицией и избытком терпения.

Порой случается, что, после того как компьютер обработал все данные, усилия экспериментаторов вознаграждаются блестящим найденным самородком. Но не все то золото, что блестит. Прежде чем сделать честолюбивое заявление об открытии, необходимо взять пробу и убедиться, что это действительно самородок, а не просто отблеск лотка. История науки изобилует примерами преждевременных заявлений, которые не выдержали окончательной проверки.

Сделать в науке заявление — означает написать статью и послать ее в научный журнал. Научная литература не имеет ничего общего с развлекательным чтивом. Предназначенные для других исследователей статьи в этих журналах практически совершенно непонятны тем, кто не работает в данной области. Даже самые потрясающие научные открытия описываются в них непривычным языком, использующим невразумительную терминологию и непонятные обозначения. Освященная веками традиция со-

стоит в том, чтобы, избегая красочных оборотов, описать, в чем состоял эксперимент, как он был поставлен и наконец какой смысл имеют полученные результаты. Статья, над которой работала группа Элерта, была посвящена «проверке СРТ-инвариантности».

Целью эксперимента PS210 было создание антиводорода. Атомы водорода имеют простейшее строение: единственный электрон вращается вокруг ядра, состоящего из одного протона. Атом антиводорода должен состоять из позитрона, вращающегося вокруг антипротона. Имея в своем распоряжении одиннадцать надежных кандидатов в атомы антиводорода, группа PS210 посчитала, что ее мечты сбылись. В ноябре 1995 г. текст статьи был окончательно отшлифован и направлен в редакцию ведущего европейского научного журнала *Physics Letters*. Элерт и его группа с нетерпением ждали ответа.

Редакторами научных журналов ранга *Physics Letters* становятся те, кто обладает обширными научными знаниями и умением оценивать обоснованность высказываемых утверждений. Но вряд ли найдется человек, обладающий достаточным запасом знаний, чтобы в одиночку оценивать качество статей в столь сложной области, как физика элементарных частиц. Обычно редактор прибегает к помощи «рецензента» — знающего специалиста, который непосредственно не участвовал в описываемом эксперименте, но мог бы выступить в роли беспристрастного судьи. Рецензирование не только помогает отсеять излишне самоуверенные и заведомо недобросовестные работы, но и способствует повышению качества статей благодаря пожеланиям, касающимся их формы и содержания. Обычно авторы не знают, кто рецензирует их статью, а вся переписка с издательством осуществляется через редактора.

Рецензентом статьи Элерта стал молодой немецкий ученый Рольф Ландуа, также работавший в ЦЕРНе. Одаренный богатым воображением, но вместе с тем весьма осторожный в суждениях, Ландуа — в юности он был чемпионом Германии по баббл-фляю — хорошо представлял себе подводные камни подобной работы. Как написал Ландуа в своей рецензии, он сомневается, что все одиннадцать событий были атомами антиводорода. Ландуа предположил, что некоторые из этих событий могли быть обусловлены другими античастицами — антинейтронами. Поскольку антинейтроны электрически нейтральны, то их можно спутать с нейтральными атомами антиводорода. Антинейтроны наблюдались еще сорок лет назад. Ландуа порекомендовал под-

вергнуть дополнительному анализу горстку «золотого песка», на-мытого в эксперименте PS210. Понимая, что анонимный рецензент попал в точку, группа PS210 опять принялась за работу.

В то время, когда Ландау знакомился с рукописью этой статьи, в ЦЕРНе шли приготовления к заседанию Совета — руководящего органа ЦЕРНа, намеченному на декабрь 1995 г. ЦЕРН финансируется двадцатью европейскими странами, и дважды в год — в июне и в декабре — представители этих стран собираются в Женеве для решения ключевых вопросов. По традиции на декабрьском заседании Совета утверждается бюджет будущего года. Большая наука — это большие деньги; годовой бюджет ЦЕРНа — около миллиарда швейцарских франков, и в наш меркантильный век составление бюджета часто сопровождается ожесточенными спорами.

ЦЕРН занимается исключительно научно-исследовательской деятельностью, т. е. способствует умножению знаний и углублению понимания. В конечном счете прогресс науки ведет к техническому прогрессу, однако правильно оценить полезность научных достижений в ближайшей перспективе оказывается очень непросто. Как однажды написала газета *New Scientist* при обсуждении бюджета ЦЕРНа, значение этой лаборатории нельзя измерять вещами типа сковородок с антипригарным покрытием или даже количеством Нобелевских премий. Живший в девятнадцатом веке британский физик Майкл Фарадей дал следующий ответ на вопрос о пользе его загадочных опытов в области электромагнетизма: «Мне и самому трудно представить, какая от него может быть польза, но я уверен, что однажды он станет приносить доход». Исследования Фарадея в конечном счете привели к возникновению электротехнической промышленности и современной индустрии телекоммуникаций.

Перспективы новейших научных достижений с трудом поддаются оценке. Тем не менее, чтобы убедить членов Совета, многие из которых являются скорее политиками и чиновниками, чем учеными, в окупаемости инвестиций в научные исследования, Генеральный директор ЦЕРНа в представляемом им на декабрьском заседании Совета традиционном докладе всегда стремится выделить конкретные результаты. Директором ЦЕРНа в январе 1994 г. стал Кристофер Льюэллин Смит, профессор теоретической физики из Оксфорда; в своем итоговом отчете за 1995 г. он собирался упомянуть открытие антивещества в эксперименте PS210. Даже когда сделано значительное открытие, его суть бывает трудно донести до неспециалистов из-за сложности совре-

менной науки. Но создание антиматерии было именно той новостью, которую большинство членов Совета вполне могло бы оценить, поэтому Льюэллин Смит решил упомянуть об этом в своем докладе. Однако из-за высказанных Ландау возражений любое упоминание о создании антиматерии выглядело бы преждевременным, и Льюэллин Смит с неохотой согласился промолчать по этому поводу.

Пока шло заседание Совета ЦЕРНа, судьба результатов эксперимента PS210 висела на волоске. Одиннадцать событий из 23 000 — не так уж много; если большинство из них обусловлено антинейтронами, то нельзя сказать, что в эксперименте сделано открытие. В установке PS210 детекторы состояли из трех сегментов, причем данные с них снимались независимо. Все данные были под рукой, поэтому, проследив, каким образом эти одиннадцать событий были зарегистрированы тремя сегментами детектора, можно было выяснить, обусловлены ли они антинейтронами. Как показал тщательный анализ, только два события из одиннадцати были похожи на сигналы от антинейтронов. Группа PS210 ликовала — ведь в ее распоряжении осталось девять сверкающих самородков! Сообщение в *Physics Letters* было отправлено незамедлительно.

20 декабря, когда большинство ученых уже запирали свои лаборатории чтобы отправиться домой на двухнедельные рождественские каникулы, результаты группы PS210 были наконец признаны и статью приняли к печати. Этому событию предшествовали несколько месяцев кропотливого анализа данных, в течение которых по электронной паутине интернета расползлись слухи об экспериментальном обнаружении антиматерии. Любопытным ученым было нелегко хранить молчание — у них буквально чесались руки воспользоваться электронной почтой. Стремясь пресечь дальнейшее распространение кривотолков, 4 января ЦЕРН сделал необычный ход и еще до опубликования статьи обнародовал ее результаты в своем пресс-релизе.

Собираясь вернуться к работе после каникул, сотрудники ЦЕРНа были поражены сообщением BBC об открытии антивещества в их лаборатории. Компания CNN на весь мир крутила 64-секундный ролик. Обменявшись новогодними поздравлениями и пожеланиями, ученые ЦЕРНа с нетерпением принялись за поиски дополнительной информации. В течение нескольких последующих дней накапливались газетные и телевизионные сообщения. Влиятельный немецкий еженедельник *Der Spiegel* поместил эту новость на обложке выпуска от 15 января.

Вальтера Элрта осаждали журналисты. Приехав на день в Женеву, чтобы дать интервью газетам, он получил факс с просьбой задержаться до следующего дня и дожидаться группу с телевидения, которая собиралась вылететь самолетом. Однако Элрт объяснил, что на следующий день уже назначена встреча в его родном городе Юлихе, где он обещал дать другое интервью прессе. На обратном пути в Германию Элрт поднялся в тот вечер на борт самолета и в ожидании вылета наблюдал за последними приготовлениями пилотов. Неожиданно дверь пилотской кабины открылась, и оттуда стюардессе сунули какой-то факс.

«Нет ли среди пассажиров профессора Элрта?», — спросила она.

Элрт показал свой билет.

«Вас просят немедленно покинуть самолет», — объяснила стюардесса.

Элрт сообразил, в чем дело. «Я останусь здесь», — заявил он.

Элрт остался на борту и улетел, но было уже и так ясно, что время антиматерии пришло.

— Знаешь, Китти, если ты помолчишь хоть минутку, — продолжала Алиса, — и послушаешь меня, я тебе расскажу все, что знаю про зазеркальный дом. Во-первых, там есть вот эта комната, которая начинается прямо за стеклом. Она совсем такая же, как наша гостиная, Китти, только все там наоборот! Когда я залезаю на стул и смотрю в зеркало, она видна мне вся, кроме камина. Ах, как бы мне хотелось его увидеть! Мне так интересно узнать, топят они зимой камин или нет. Но в это зеркало как ни гляди, камина не увидишь, разве что наш камин задымит — тогда и там появится дымок... А книжки там очень похожи на наши — только слова написаны задом наперед.

(Льюис Кэрролл. «Алиса в Зазеркалье»)

Алиса Льюиса Кэрролла была настоящим ученым-исследователем. Разглядывая мир за зеркалом со своей удобной позиции, она легко сообразила, что все в нем идет тем же чередом, что и в обычном мире: события, отражавшиеся в зеркале, находились во взаимно однозначном соответствии с тем, что происходило с Алисой по эту сторону зеркала. Что бы она ни делала, то же происходило и с ее отражением в зеркале. Но Алиса не могла просто принять это на веру и решила отправиться в Зазеркалье. Поначалу все казалось очень знакомым, однако чем больше она узнавала, тем более странным все начинало ей казаться. На самом деле между двумя мирами не существовало взаимно однозначного соответствия. Когда она вернулась из зазеркального мира, придуманного Льюисом Кэрроллом, то могла рассказать о множестве необычных событий.

Простейшее зеркало — это стеклянная пластинка с металлическим покрытием на одной из сторон. Изображение в таком зеркале появляется благодаря отражению световых лучей от металлического слоя. Существует множество видов реальных и метафорических зеркал, дающих узнаваемое изображение предметов. Большинство зеркал искажает изображение, и тогда инте-

рес представляет сопоставление предмета с его искаженным образом. Кривые зеркала стали аттракционом потому, что, несмотря на огромные искажения, изображение в них остается узнаваемым. Мир в зеркале замечателен тем, что при всей схожести со своим прообразом он заметно от него отличается.

Все события реального мира по-своему дублируются в мире за зеркалом. Однако это лишь видимость, отражение реальных событий. В обычном зеркале все выглядит так, как будто левое и правое поменялись местами. Когда смотришь в такое зеркало, думаешь, что по ту сторону находится мир, в котором левое стало правым и наоборот. Однако мы знаем, что это не так. Оптики называют такие изображения «мнимыми», поскольку нам только кажется, что сквозь зеркало проходят лучи света. Наши глаза воспринимают предметы по ту сторону зеркала, как если бы свет проходил сквозь него, как через окно. На самом же деле зеркало непрозрачно, и перемена правого и левого местами в видимом изображении — это всего лишь результат интерпретации нашим сознанием особенностей отражения света от металлической поверхности.

Поскольку события в мире за зеркалом в определенном смысле противоположны событиям реального мира, их изображения должны были бы взаимно погасить друг друга при наложении. Это, однако, невозможно, поскольку изображение в зеркале мнимое. В отличие от Алисы мы не можем потихоньку проскользнуть сквозь зеркало. Впрочем, иные типы «зеркал» могут давать более реальные изображения. Обратным изображением оказывается негатив черно-белой фотографии, на котором светлое становится темным, и наоборот. Такой негатив является «истинным зеркалом», в котором существует взаимно однозначное соответствие между предметом и его изображением. Если негативный и позитивный отпечатки наложить друг на друга, то изображение исчезнет и вся информация будет утрачена.

Существует множество других реальных и метафорических «зеркал», основанных на противопоставлениях, придающих глубину возникающим образам. Книга Льюиса Кэрролла полна восхитительных противопоставлений, не все из которых очевидны. То, что мы видим в окружающем нас хаотическом мире, часто представляется результатом взаимодействия различных противоположностей — дня и ночи, зимы и лета. Эти противоположности можно рассматривать как своего рода зеркальные отражения. Однако в отличие от обычного зеркала, создающего образ в реальном времени, эти противоположности не существуют одно-

временно в одном и том же месте и их нельзя объединить. День приходит на смену ночи, и тревоги бессонницы вскоре забываются. Точно так же лето сменяет зиму, только происходит это в других временных масштабах. В двух книгах Льюиса Кэрролла — «Алиса в стране чудес» и «Алиса в Зазеркалье» временные шкалы сдвинуты ровно на полгода. «Страна чудес» начинается теплым майским днем, а «Зазеркалье» застаёт Алису дома в промозглый день глубокой осенью.

Небылицы типа рассказов Льюиса Кэрролла очень занимательны, поскольку они подобны зеркалу, в котором здравый смысл и логика реального мира переворачиваются с ног на голову, и привычные вещи приобретают оттенок загадочности. В зеркале Алисы правое становится левым, а левое — правым. Понятия правого и левого тесно связаны с вращением — поворот вправо, т. е. по часовой стрелке, выглядит в зеркале как поворот в обратном направлении. В действительности изображение в зеркале кажется «неправильным», потому что наше сознание воспринимает его повернутым на 180 градусов. Если мы возьмем какой-нибудь предмет в правую руку, то у изображения в зеркале он окажется в левой руке. Но если бы мы оказались за зеркалом и обернулись назад, то увидели бы, что предмет по-прежнему находится в правой руке. Часы в зеркале выглядят совершенно иначе, однако они по-прежнему показывают правильное время, хотя их стрелки и движутся в обратном направлении. Время остается неизменным при зеркальном отражении.

Отрицательные и положительные электрические заряды — другой пример противоположностей. Если бы существовало зеркало, отражающее электрические заряды, то в нем положительные заряды выглядели бы отрицательными и наоборот. Как известно, одноименные электрические заряды отталкиваются, а разноименные — притягиваются. В таком «электрическом» зеркале способность притягиваться и отталкиваться сохранилась бы и для отраженных зарядов — положительный и отрицательный заряды по-прежнему притягивались бы друг к другу как разноименные, а два положительных заряда, которые в этом зеркале выглядели как отрицательные, по-прежнему отталкивались бы.

Впрочем, науке пока неизвестно устройство, которое могло бы непосредственно превращать положительные заряды в отрицательные и наоборот. Суммарная величина всех электрических зарядов всегда должна оставаться одной и той же; электрические заряды нуждаются, как и деньги, в подсчете. Неплохой иллюстрацией работы «электрического» зеркала может служить пере-

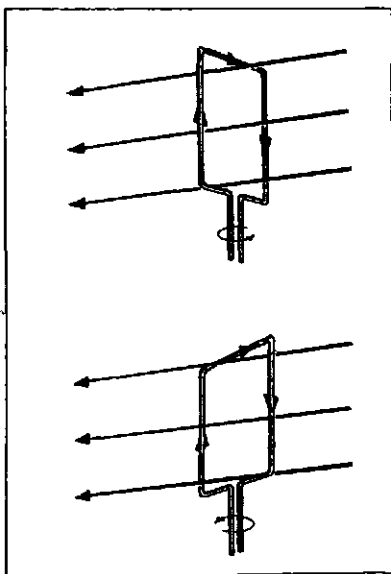


Рис. 2.1. Электричество небезразлично к вращению. Вращение проволочной рамки в однородном магнитном поле создает в ней переменный электрический ток, направление которого изменяется каждый раз, когда плоскость рамки оказывается параллельной силовым линиям магнитного поля.

менный ток, вырабатываемый электрическим генератором. В проволочной рамке, движущейся в магнитном поле, возникает ток, направление которого зависит от направления силовых линий магнитного поля и направления движения рамки.

В теории электромагнетизма учитывается, в каком направлении протекает то или иное явление, однако способность электрического тока выполнять полезную работу не зависит от того, течет ли ток по часовой стрелке или в обратном направлении. В обыкновенной электрической лампочке направление тока изменяется примерно сто раз в секунду, и ее волосок попеременно то нагревается, то остывает; однако в замедленной видеосъемке видно, что степень накала волоска не зависит от направления тока. Различные полупериоды переменного тока служат своего рода зеркалом для электрических зарядов (рис. 2.1).

Другим типом зеркального отражения является обращение времени, как, например, при просмотре в обратном направлении физического процесса, снятого на видео. В большинстве случаев сюжеты, просматриваемые задом наперед, лишены смысла — осколки сами собой склеиваются в целые предметы, ныряльщики сухими выскакивают из воды, а цветы поднимают с земли свои засохшие лепестки. Прошлое, как правило, принципиально отличается от будущего. Налитый в чашку кофе может только ос-

тивать, а не нагреваться. Существует, конечно, отличная от нуля вероятность того, что в какой-то момент времени все молекулы кофе начнут двигаться быстрее, однако с бесконечно большей вероятностью они будут терять энергию, сталкиваясь друг с другом. В непростых ситуациях, как с чашкой кофе, направление стрелы времени определяется не фундаментальным процессом, но стремлением хаоса к господству. Ребенок растет, взрослеет и в конце концов умирает. В том, что это случится, нет никаких сомнений. Однако совершенно непредсказуемо, как все это произойдет. Уравнения, описывающие будущую жизнь ребенка, слишком сложны и не поддаются решению. В таких ситуациях стрела времени определенно указывает направление роста беспорядка.

В простейших случаях уравнения допускают точное решение. Не обнаруживается никакой принципиальной разницы между просмотрами в прямом и обратном направлениях видеопленки, на которую снято взаимодействие небольшого числа тел. Трудно сказать в каком — прямом или обратном — направлении просматривается пленка, на которую снято движение планет вокруг Солнца или движение электронов вокруг ядра атома. Электроны и планеты не меняются со временем. В этих случаях стрела времени может быть с одинаковым успехом направлена как в прошлое, так и в будущее.

Зеркальное отражение, зарядовое сопряжение и обращение времени — примеры того, что математики и физики-теоретики называют преобразованиями, т. е. условиями, которым должна подчиняться Природа. Иногда эти преобразования удается осуществить в лабораторных условиях, например, изменяя направление магнитного поля. Другие преобразования лучше изучать с помощью фундаментальных уравнений. Едва ли обращение времени можно исследовать другим способом! Современная физика, по существу, состоит в том, чтобы выяснить, как ведут себя фундаментальные уравнения по отношению ко все более широкому классу преобразований; такой подход позволил нам существенно продвинуться в понимании Природы.

Подобно Алисе, физики, возвращающиеся из зазеркальных миров, в которых они исследовали пространственную инверсию, зарядовое сопряжение и обращение времени, имеют много нового, о чем они могут рассказать. Эти зазеркальные миры не всегда похожи на наш привычный мир, а потайные места, в которых скрыты эти различия, порой очень таинственны. Однако происходящее в этих мирах может иметь прямое отношение к нашему

повседневному опыту. Для явлений электромагнетизма характерна определенная спиральность, однако не составляет труда воссоздать соответствующие зеркальные двойники. На практике переменный ток более удобен в обращении, чем постоянный ток. В более глубоких проблемах физики можно обнаружить примеры спиральности, обращения которой не удастся достичь изменением направления координатных осей в трехмерном пространстве. Одна из таких спиральностей, о которой речь пойдет ниже в этой книге, по-видимому, характерна для существования жизни. Все известные молекулы ДНК — эти кирпичики живой материи — имеют форму спиралей, которые в зеркале выглядят совершенно иначе. Эта причуда мироздания отражена в названии книги двух ученых Джона Барроу и Джозефа Силка — *The Left Hand of Creation*.

СОКРУШИТЕЛЬ МАТЕРИИ

В школе нас учили, что атомы устойчивы благодаря электромагнитным силам. В повседневной жизни, однако, мы чаще сталкиваемся с гравитационными силами. Гравитация вездесуща и настолько привычна, что воспринимается нами как данность. Нам кажется нормальным находиться на поверхности Земли, а не парить в воздухе. Астронавты наслаждаются возможностью «плавать» в космической невесомости, однако вскоре выясняется, что жить в ней трудно и неудобно. Вещи оказываются совсем не там, куда их кладут. Гравитация настолько внедрена в наше сознание, что мы ее практически не замечаем.

Что тяжелее, килограмм пуха или килограмм свинца? — спрашивается в старой загадке. Нам, разумеется, известно, что килограмм чего бы то ни было весит столько же, сколько килограмм любого другого. Другой вопрос: что падает быстрее — килограмм свинца или полкило свинца? Если бы существовало зеркало, в котором отражается гравитация, то как она бы в нем выглядела? Ответ на этот вопрос вовсе не очевиден — он был найден всего четыреста лет назад. До той поры философам казалось, что им это известно, однако они не давали себе труда проверить, насколько их предположения соответствуют действительности.

Первым, кто решил выяснить, что такое масса, был Галилео Галилей. Он родился в 1564 г. в Пизе (Италия) в семье мелкого дворянина, переживавшего тогда не лучшую пору своей жизни. Несмотря на незаурядную интеллектуальную одаренность, отец

Галилея занимал очень скромное место на генеалогическом древе своего аристократического рода. Частые неудачи ожесточили его, и в нем, а возможно и в его детях, укоренилось презрительное отношение к некомпетентности властей. Галилей-старший сначала рассчитывал, что его сын станет купцом. Однако, обнаружив у сына выраженную склонность к интеллектуальному труду, отец решил послать его учиться в Пизанский университет. Галилео Галилей был скептиком и ничего не принимал на веру. Большинство научных знаний той эпохи представляли собой своего рода догматы, впитавшие догадки и старые представления о природе вещей. Философы древности были далеко не глупы, однако они часто оказывались в затруднительном положении из-за отсутствия научных приборов, позволяющих проводить точные измерения. Весь багаж знаний, накопленный астрономией в средние века, был обязан наблюдениям, проводимым невооруженным глазом. Большая часть средневековых знаний представляла собой причудливое собрание субъективных и неточных представлений о мире; так, например, считалось, что все вещества построены из четырех «элементов» — земли, воздуха, огня и воды. Отсутствие точного измерительного оборудования означало, что многие гипотезы, выдвигаемые этой «протонаукой», никогда не подвергались экспериментальной проверке. До той поры никто не думал о преобразованиях и не интересовался тем, как те или иные системы ведут себя в различных ситуациях. В эпоху Галилея вся последовательность накопленных знаний начинала трещать по швам.

В Пизанском университете в 1582 г. Галилей неожиданно для себя обнаружил, что период качания маятника не зависит от размаха его колебаний. В те времена еще считалось, что характер колебаний маятника обуславливается приведшим его в движение импульсом. Это было первое документированное проявление здорового скептицизма Галилея. Он ничего не принимал на веру и всегда проверял обоснованность гипотез на практике. Несмотря на целый ряд открытий, включая открытие постоянства периода колебаний маятника, Галилей так ни разу и не получил ни одной из многочисленных стипендий Пизанского университета. Когда у отца возникли денежные затруднения, Галилей вынужден был прервать занятия и уйти из университета.

Вне университета Галилей продолжал работать над созданием новых измерительных инструментов. Его изобретательские способности привлекали все больше внимания, и герцог Тоскан-

ский рекомендовал его на должность профессора математики университета в Пизе. В ноябре 1589 г., через четыре года после бесславного ухода из Пизанского университета, двадцатипятилетний Галилей получил там должность профессора. Спустя три года, в 1592 г., Галилей переезжает из Пизы в знаменитый Падуанский университет, в котором ему суждено было провести следующие восемнадцать лет.

Во время своего пребывания в Пизе Галилей осуществил эксперимент, положивший начало новой научной методологии. Письменные свидетельства о том, что такой эксперимент был когда-либо выполнен, не сохранились, но ведь нет документальных свидетельств и о том, что Архимед в своей ванне воскликнул: «Эврика!». Об этом теперь можно только догадываться. Строительство великолепной 55-метровой башни из белого мрамора началось в Пизе в 1173 г., однако ко времени его окончания в 1350 г. стало ясно, что в проекте допущена принципиальная ошибка. Аллювиальные почвы поймы реки Арно неоднородны по структуре. Из-за неправильно заложенного фундамента прекрасная башня начала падать, и ее вершина отклонилась от вертикали на четыре метра. С точки зрения Галилея это архитектурное недоразумение выглядело как по заказу построенная лаборатория для экспериментов по свободному падению тел. С какой скоростью падают на землю пушечные ядра различного веса? В четвертом веке до нашей эры Аристотель решил, что скорость свободного падения любого тела пропорциональна его весу. Это предположение выглядело столь естественным, что на протяжении почти двух тысячелетий никому и в голову не пришло усомниться в нем. Аристотелева картина мира оставалась непререкаемой до тех пор, пока на сцену не вышел скептик Галилей. Галилей поднимал на вершину «Падающей башни» пушечные ядра различных калибров, а затем бросал их вниз. Измеряя отрезки времени, за которые ядра оказывались на земле, он с изумлением обнаружил, что все ядра падали с одинаковой скоростью. В своем труде *«Диалоги, посвященные двум новым наукам»* Галилей писал: «Аристотель утверждает, что чутунный шар весом сто фунтов, падающий с высоты сто локтей*, окажется на земле быстрее, чем шар в один фунт, падающий с высоты всего в один локоть. Я же говорю, что они окажутся на земле одновременно. Прodelывая этот эксперимент, вы обнаружите, что более тяже-

* Локоть — мера длины, равная 45 см. — *Прим. перев.*

лый шар опережает более легкий на два пальца... Но за этими двумя пальцами вам не спрятать девяносто девять локтей Аристотеля».

В последующие эпохи столь радикальное открытие попало бы в список горячих новостей. Этот эксперимент легко было воспроизвести. Однако Галилей знал о бытовавшем в то время преубежденном отношении к научным исследованиям и с самого начала не захотел усложнять себе жизнь. Он хорошо помнил, что нечаянное открытие изохронизма колебаний маятника отнюдь не способствовало его карьере. Галилей решил, что в науке можно опираться только на планомерные эксперименты и доказательства, а не на отдельные примеры. Из-за этих убеждений восхождение Галилея было нелегким.

Вскоре Галилей переехал в Падую, где впервые для наблюдения за небесными телами воспользовался своим новым изобретением — телескопом. Он сделал очень важное открытие, впервые увидев, что у других планет были свои спутники и что, таким образом, Земля не являлась центром Вселенной, вокруг которого вращается все остальное. С незапамятных времен считалось, что Земля занимает выделенное положение в мироздании. Отринув страх остаться неслышанным, Галилей опубликовал свои научные воззрения в книге *«Диалог о двух главнейших системах мира»* в 1632 г. Именно из-за этой книги «нежелательные» идеи Галилея привлекли внимание Церкви, и в 1633 г. он был вызван в Рим, чтобы предстать перед инквизицией. Галилей не пожелал отречься от своих еретических взглядов; он был осужден святой инквизицией и находился под домашним арестом вплоть до своей смерти в 1642 г. Здесь же он написал еще одну книгу *«Диалогов»*, которую пришлось тайно вывезти из Италии, чтобы опубликовать. Церковь сняла свои обвинения против Галилея только в 1992 г.! Хотя инквизиция наложила официальный запрет на сочинения Галилея, его книги продолжали распространяться за границей; со временем они стали настольными в среде лобознательной молодежи.

Одним из тех, кто внимательно изучил эти книги, был молодой англичанин Исаак Ньютон, родившийся в год смерти Галилея. Отец Исаака Ньютона умер, не дождавшись рождения своего сына. Ребенок появился на свет до срока и был очень мал; полагали, что он не выживет. Исаак Ньютон дожил до восьмидесятипятилетнего возраста. В 1661 г. он покинул свой дом в Вулсторпе, Линкольншир, и поступил в Кембриджский университет. Ньютон обладал феноменальной способностью сосредоточиваться;

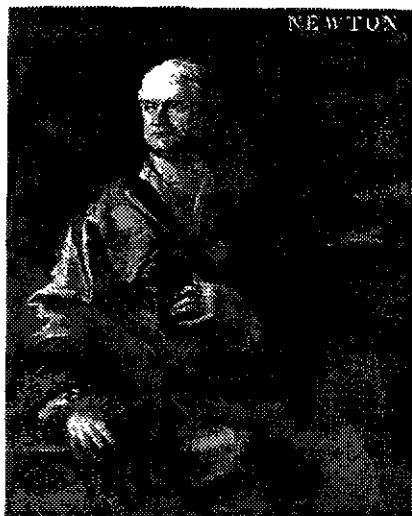


Рис. 2.2. Исаак Ньютон. Портрет работы Торнхилла, 1710 г. (С любезного согласия магистров и членов Тринити-колледжа в Кембридже.) Исаак Ньютон открыл закон всемирного тяготения.

если его внимание было чем-то поглощено, то он мог забыть о еде и сне. В 1664 г. он однажды засиделся допоздна, очарованный зрелищем пролетающей кометы; в эту ночь его судьба была решена. На следующий год Кембриджский университет закрылся из-за эпидемии чумы, и Ньютон возвратился домой к матери. Легенда гласит, что однажды той осенью Ньютон размышлял во дворе родного дома о движении небесных тел, когда он вдруг узрел падающее на землю яблоко. Эврика! Поглощенный размышлениями о движении небесных тел, навеянными встречей с кометой, Ньютон пришел к выводу, что и падающее яблоко, и траектории комет, и звезды с планетами на их величественных орбитах — все они управляются одной и той же силой — силой тяготения, возникающей между всеми телами и пропорциональной количеству содержащейся в них материи, т. е. их массе. На Земле действуют те же силы, что и в небесах.

Ньютон совершил настоящий научный подвиг, самостоятельно построив законченную теорию тяготения. При построении этой теории он столкнулся с огромными математическими трудностями, которые отпугнули бы ученого меньшего масштаба. Однако всецело посвятивший себя науке Ньютон попутно разработал новые разделы математики. Не будучи знаком с достижениями в других областях знания, он самостоятельно создал дифференциальное исчисление только ради того, чтобы проделать некоторые необходимые расчеты. Когда его позже спроси-

ли, как ему удалось создать столь фундаментальную теорию, он скромно ответил: «Думая над ней». Благодаря Ньютону глагол «думать» обрел новое измерение.

В созданной Ньютоном новой картине мира величины массы и энергии стали объектами строгого балансового учета. Что бы ни происходило, полные массы вначале и в конце должны быть одинаковыми — никакой процесс не может изменить полного количества материи. Точно так же суммарная величина всех видов энергии вначале должна быть равна суммарной величине энергии в конце. Энергия одного вида может превращаться в энергию другого вида; например, если камень скатывается с горы, то его потенциальная энергия в поле силы тяжести переходит в кинетическую энергию — энергию движения. Однако изменение всех видов энергии должно в сумме давать нуль. Ни масса, ни энергия не могут исчезать.

Невозмутимый Ньютон был вполне удовлетворен совершенным открытием, но держал при себе свои революционные идеи почти двадцать лет вплоть до 1682 г., когда вся Европа была перепугана другой яркой кометой, появление которой некоторые сочли предзнаменованием конца света. Подобно тому как комета 1664 года возбудила у Ньютона интерес к движению небесных тел, эта новая комета вновь пробудила его интерес к астрономии вообще. Лондонский астроном Эдмунд Галей узнал, что Исаак Ньютон из Кембриджа, вероятно, может помочь в истолковании этой новой кометы. Приехав в Кембридж, Галей с изумлением узнал, что Ньютоном четко сформулированы законы движения небесных тел. Используя теорию Ньютона, Галей показал, что комета 1682 года является спутником, который приближается к Земле примерно раз в 76 лет, а затем уходит дальше самых удаленных планет и становится невидимой. Галей подвиг Ньютона к тому, чтобы записать свою теорию тяготения. Знаменитые *«Математические начала натуральной философии»*, вышедшие в 1687 г., стали одним из самых выдающихся научных трудов всех времен. Предсказание возвращения кометы Галея в 1759 г. явилось настоящим триумфом ньютоновской теории. Последующие появления кометы происходили в 1835, 1910, а также в 1986 гг., когда космический зонд «Джотто» сделал ее фотографии с близкого расстояния.

Созданная Ньютоном теория всемирного тяготения оставалась незыблемой на протяжении более 200 лет. В 1905 г. безвестный 26-летний физик Альберт Эйнштейн, работавший в швейцарском патентном бюро в Берне, создал физическую теорию,

которая заставила нас пересмотреть представления о пространстве и времени. В его «специальной теории относительности» нашел объяснение один сбивающий с толку парадокс. Как показали измерения, скорость света всегда остается постоянной независимо от того, излучается ли он покоящимся источником или движущимся с большой скоростью объектом, например планетой. Кажется естественным, что находящийся в движущемся транспортном средстве предмет приобретает его скорость по отношению к уносящемуся за окном пейзажу. Так, например, скорость идущего по поезду человека складывается из его скорости относительно вагона и скорости самого поезда. Для света это не так. Скорость света не складывается со скоростью, излучающего его источника. Для объяснения этого факта Эйнштейн представил, что зеркало движущееся со скоростью, близкой к скорости света, искажает изображение. Это, однако, остается незамеченным в обычных условиях. Чем быстрее движется зеркало, тем больше искажение.

Если метровый стержень движется относительно наблюдателя со скоростью v , то его длина кажется равной $\sqrt{1 - v^2/c^2}$, где c — скорость света, т. е. 300 000 километров в секунду. Чем быстрее движется стержень, тем короче он кажется. Однако эти эффекты становятся заметными лишь при чрезвычайно больших скоростях. Можно считать, что в повседневной жизни всегда $v^2/c^2 = 0$. Ни одно колесное транспортное средство не может двигаться со скоростью, при которой эти эффекты становятся заметными, однако это могут небесные тела и электроны в атоме. «Зеркало относительности» вполне реально — это настоящая оптическая иллюзия, и уравнения теории относительности описывают преобразования, происходящие в этом зеркале.

Основная идея теории относительности Эйнштейна состоит в том, что мир является четырехмерным — к трем пространственным измерениям добавляется дополнительное измерение — время. Ни один сигнал не может передаваться со скоростью больше скорости света. Из-за того, что скорость света конечна, для передачи информации на любое расстояние требуется определенное время, так что, приходя в пункт назначения, она оказывается «устаревшей». Нужно много лет, чтобы свет от удаленных звезд дошел до Земли, поэтому в ночном небе мы видим то, как выглядели звезды много лет назад. Самые близкие к нам звезды находятся на расстоянии нескольких световых лет, в то же время свет от наиболее удаленного объекта, видимого невооруженным глазом, — Туманности Андромеды доходит до Земли, состарив-

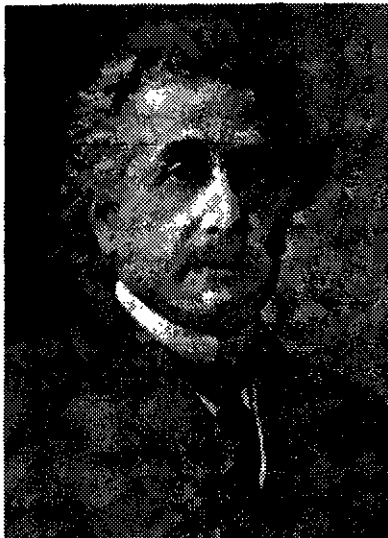


Рис. 2.3. Альберт Эйнштейн. (© Нобелевский фонд). Альберт Эйнштейн показал, что материя и энергия взаимосвязаны, и это открыло дорогу к получению анти-материи.

шись на два миллиона лет. Мощные телескопы улавливают слабый свет, испущенный звездами несколько миллиардов лет назад, во времена младенчества Вселенной. И у нас нет средств узнать ни как эти звезды выглядят сегодня, ни существуют ли они вообще!

Эйнштейн понял, что традиционный раздельный баланс массы и энергии не имеет места при движении тел со скоростями, близкими к скорости света. Двигаясь, тела приобретают дополнительную энергию, однако, как показал Эйнштейн, каждой массе m , находящейся даже в состоянии покоя, должна быть приписана «энергия покоя» E . Масса — это просто еще одна форма энергии, подобно свету или теплоте. Тогда и возникло знаменитое уравнение $E = mc^2$. Согласно этому уравнению любая затрата энергии сопровождается уменьшением массы. Однако скорость света столь велика, что взаимосвязь массы и энергии незаметна в повседневной жизни. Например, работа, совершаемая человеком за всю его жизнь, эквивалентна уменьшению веса примерно на одну десятую миллиграмма — едва ли это полезный рецепт для похудения. (При обычном похудании сжигается жир с выведением воды и двуокиси углерода. Эти вещества выводятся из организма, что и приводит к потере веса, однако общая масса, включающая эту воду и двуокись углерода, заметно не изменяется.) С обыденной точки зрения между энергией (т. е. движением,

теплотой, электричеством) и массой (т. е. мерой количества вещества) нет ничего общего. Эйнштейн говорит, что они эквивалентны и, следовательно, могут превращаться друг в друга. Подобно тому как левое и правое меняются местами в обычном зеркале, масса и энергия претерпевают взаимные превращения в релятивистском зеркале.

Сущность ядерной энергии заключается в том, что эквивалентность массы и энергии, т. е. очень небольшое количество массы, превращенное в энергию связи частиц в ядре, может высвободиться при его расщеплении или слиянии с другим ядром, и при этом высвобождается огромное количество энергии $E = mc^2$. Изменение на доли процента массы атомной бомбы, весящей несколько килограммов, может опустошить целый город.

Свидетельствуя о первом ядерном взрыве, произведенном в пустыне Аламогордо в 1945 г., Роберт Оппенгеймер, научный руководитель проекта, вспомнил строчку из Бхагавад-гиты, священной книги индусов. Кришна, властитель судеб, произнес: «Я есть время, великий разрушитель миров...»*.

Однако ядерный кошмар, созданию которого содействовал Оппенгеймер, возник лишь из малой доли энергии покоя. Есть ли способ превратить всю массу в энергию? Эта роль отводится антивеществу — подлинному Разрушителю Материи.

* Бхагавад-гита, Гл. 11, Текст 32. — *Прим. перев.*

3

ОТСУТСТВИЕ СИММЕТРИИ В МИРЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЗАРЯДОВ

Если раздробить кристаллик сахара, то оставшееся от него липкое пятнышко будет по-прежнему сладким. Вполне естественен вопрос: «До сколь малого размера можно дойти?». Если образец какого-либо вещества дробится на все более мелкие части, то существует ли естественный предел, перейдя который вы уже не получите вещество с исходными свойствами? Древние греки считали, что должны существовать некие элементарные составляющие материи, и создали поэтическую картину мира; в его основе лежали четыре классических «элемента», из которых, как полагали, можно создать любую другую субстанцию. Осознав ограниченность подобной картины мира, Демокрит в четвертом веке до новой эры ввел понятие об атомах (атом по-гречески — «неделимый») — мельчайших неделимых частицах материи. Демокрит почерпнул много новых идей во время своих путешествий по Ближнему Востоку, причем большинство его идей поразительно свежи. Примерно за две тысячи лет до изобретения телескопа он высказал гипотезу о том, что Млечный Путь — это облако из крошечных звезд. Однако Демокрит всегда оставался в тени влиятельного Сократа, чьи последователи скептически относились к иным учениям. Главным наследием Демокрита была созданная им атомистическая картина мира, в которой субстанции образуются при соединении атомов различных форм и размеров. Поскольку в ней подразумевалось, что атомы как бы плавают в дотоле неведомой пустоте — вакууме, эта картина мира не прижилась. Поэтическая гипотеза четырех элементов не нуждалась в этой пустоте и просуществовала еще две тысячи лет.

К представлениям о том, что материя построена из микроскопических атомов, вернулись лишь в семнадцатом веке, на заре современной химии. Одним из умов, способствовавших развитию этих представлений, стал Роберт Бойль, четырнадцатый по

счету ребенок графа Коркского*. Это был вундеркинд, умевший уже к восьми годам свободно изъясняться на латыни и греческом. Путешествуя по Европе, юный Бойль изучил труды Галилея. Под их впечатлением он осознал важность эмпирических наблюдений во времена, когда большинство ученых придерживались противоположного мнения. Великий нидерландский ученый Спиноза безуспешно пытался убедить Бойля в том, что рассуждения важнее, чем эксперимент. Бойль, как и его современник Исаак Ньютон, понимал, насколько важную роль в развитии науки играли наблюдения и искусство в создании измерительных приборов. Бойль создал насосы и термометры и стал первопроходцем в области химии газов. Проведенные эксперименты убедили его в том, что некоторые химические вещества «более фундаментальны», нежели другие. Это были «элементы», которые, комбинируясь друг с другом, образовывали химические соединения. С публикацией его знаменитой книги *Sceptical Chymist* в 1661 г. классическая греческая картина мира из четырех элементов была отправлена на свалку истории.

Благодаря созданию новых приборов химия постепенно становилась точной наукой. Химики теперь могли количественно изучать реакции между различными веществами. Ведущий ученый наполеоновской Франции Жозеф Гей-Люссак открыл в 1809 г., что газообразные водород и кислород соединяются с образованием воды всегда в одних и тех же объемных отношениях независимо от их исходного количества. Это навело на мысль о том, что газообразным элементам отвечают некоторые количественные характеристики, которые всегда комбинируются в соответствии с определенными правилами. В Италии Авогадро, граф Кваренья, объяснил эти результаты, высказав утверждение, что у всех газов (не только у газообразных элементов) на единицу объема приходится одно и то же число молекул.

В Англии начала девятнадцатого века Джон Дальтон выдвинул «атомистическую гипотезу», согласно которой каждый элемент, не только газообразный, состоит из определенного типа атомов, причем все атомы одного элемента совершенно одинаковы. Будучи одаренным ребенком, Дальтон, сын ткача, начал давать уроки в школе, когда ему еще не было двенадцати лет. Поскольку столь юный преподаватель не производил должного впечатления на учеников, Дальтон решил вернуться к своим научным занятиям. Он высказал предположение, что атомы одного и

* Корк — графство Ирландии. — Прим. перев.

того же химического элемента имеют определенные свойства, в том числе «атомный вес». Атомы некоторых элементов, например водорода, очень легкие, тогда как атомы других элементов могут быть значительно тяжелее. Атомы соединяются и образуют молекулы — мельчайшие частицы химических веществ, при этом у каждого атома есть несколько связей, наподобие крючочков, с помощью которых он может присоединяться к другим атомам. Например, молекула воды H_2O состоит из двух атомов водорода и одного атома кислорода. Поваренная соль, хлорид натрия, $NaCl$, состоит из одного атома хлора и одного атома натрия. Дальтон придавал большое значение фактору массы в химическом анализе; в то время Англия и Франция находились в состоянии войны, и Дальтон скептически отнесся к результатам Гей-Люссака, говорившим о том, что в случае газов фактор объема имеет большее значение. Дальтон также упустил из виду, что атомы и молекулы — это необязательно одно и то же. Например, молекула кислорода состоит из двух атомов. Эта ошибка привела к путанице в определении атомных и молекулярных весов. Проблема была решена пылким итальянским химиком Станислао Каннишцаро на Первом Международном химическом конгрессе, состоявшемся в Карлсруэ в 1860 г. Атомистическая теория наконец была готова стать хрестоматийной.

Согласно атомистической теории атомы каждого элемента возникли в акте Сотворения. Считается, что эти первозданные атомы неизменны, неделимы и неуничтожимы и что они составляют основной строительный материал Вселенной. Атомы пережили крушение древних цивилизаций, обломки которых стали строительным материалом для последующих поколений. Мы построены из тех же атомов, что и наши предки. Мы дышим тем же воздухом, которым дышало все когда-либо жившее на этой планете.

АТОМЫ И ЭЛЕКТРИЧЕСТВО

Мы повсюду сталкиваемся с состоящими из атомов веществами, однако не так-то просто обнаружить, что они обладают электрическими свойствами. Термин «электричество», как и представление об атомах, возникло в Древней Греции. У истоков греческой науки стоял Фалес, изумивший своих современников точным предсказанием солнечного затмения в 585 г. до нашей эры. Фалес выяснил, что если потереть кусок янтаря об одежду, то он начинает притягивать к себе пыль. По-гречески

янтарь звучит как «электрон», и описанное явление было названо электричеством. Электричество проявляется только тогда, когда его производят; первым таким устройством стал кусочек янтаря, потертый о ткань. В начальных опытах с электричеством использовались примитивные методы — электричество создавалось трением эбонитовых пластинок, а его присутствие обнаруживалось с помощью лягушачьих лапок. В восемнадцатом веке методы исследования электричества быстро развиваются — директор ботанического сада французского Двора Шарль Франсуа Дюфе* обнаружил, что существует два рода электричества, причем однородные «электричества» отталкиваются, а разнородные притягиваются. Элемент Вольты** стал первым источником электрического тока, а гальванометры позволили регистрировать электрические явления надежнее, чем лягушачьи лапки.

Электричество по-прежнему оставалось загадочным явлением, однако чем бы оно ни было, о нем сформировалось представление как о сплошной среде — особой жидкости, которая течет по проводам и может накапливаться в подходящих веществах. В середине восемнадцатого века американский ученый и политический деятель Бенджамин Франклин*** предположил, что избыток этой жидкости образует положительное электричество, а ее недостаток — отрицательное. Избыток, по словам Франклина, стремится компенсировать недостаток, и возникающее при этом движение объясняет электрический ток в проводниках. Введенные им обозначения по сей день используются для индикации положительных и отрицательных клемм. (На самом деле носителями электрического тока обычно являются отрицательно заряженные частицы — электроны, движущиеся от отрицательной клеммы к положительной. Однако поток отрицательно заряженных частиц эквивалентен потоку положительно заряженных частиц в обратном направлении.)

Ученые соревновались в создании все более мощных источников электроэнергии. В начале девятнадцатого века Гемфри

* Дюфе (1698—1739) — французский физик, член парижской АН (1723), директор ботанического сада с 1723 г. — *Прим. перев.*

** Алессандро Вольта (1745—1827) — итальянский физик, химик и физиолог. — *Прим. перев.*

*** Бенджамин Франклин (1706—1790), член Лондонского Королевского общества (1756) и Петербургской АН (1789), принимал участие в составлении «Декларации независимости» и конституции США. — *Прим. перев.*

Дэви* построил в Лондоне огромную электрическую батарею, состоящую из 250 гальванических элементов. Этот гигантский блок питания создавался для демонстрации тесной взаимосвязи между химическими и электрическими явлениями, а его огромные размеры были призваны сделать английскую науку более заметной — в те времена в химии доминировали французские ученые. Выходец из бедной корнуоллской семьи, Дэви начинал учеником аптекаря, а затем работал химиком в фешенебельной клинике, в которой газы типа закиси азота («веселящий газ») использовались в терапевтических целях. Обладая даром организации публичных зрелищ, Дэви стал в 1801 г. преподавателем Лондонского Королевского института. Он разбогател и прославился как человек, открывший много новых газов и создавший безопасную шахтерскую лампу.

Дэви-иллюзионист всегда искал способ провести эффектный эксперимент. Используя свою гигантскую батарею, он пропускал ток через расплавы различных химических соединений. Результаты этих экспериментов совершили переворот в науке. В демонстрационных экспериментах Дэви выяснилось, что электричество может производить химическое воздействие. Создаваемый его батареей гигантский ток разлагал химические соединения на составляющие элементы, которые выделялись на положительном и отрицательном электродах. Так родилась новая наука — электрохимия. Всего несколько лет понадобилось Дэви, чтобы провести анализ наиболее распространенных соединений, таких, как, скажем, поташ и поваренная соль. Результатом явилось неожиданное открытие новых элементов, например калия и натрия, взрывающихся при контакте с воздухом. Несмотря на то что Англия и Франция той поры формально находились в состоянии войны друг с другом, Дэви был в 1806 г. награжден учрежденной Наполеоном медалью за успехи в исследовании электричества. После некоторых сомнений Дэви принял эту награду. Между Великобританией во главе с Дэви и Францией с Гей-Люссаком началась гонка престижа, предметом которой стало открытие новых элементов.

Однако Дэви-шоумен был скорее заинтересован в эффектных демонстрациях явлений, вызываемых электрическим током, чем в их осмыслении. Объяснение же этих новых явлений могло воз-

* Гемфри Дэви (1778–1829) — английский ученый, президент Лондонского Королевского общества (1820–1827), член Петербургской АН (1826). — *Прим. перев.*

никнуть только в результате кропотливой исследовательской работы. У Дэви был ассистент, которого звали Майкл Фарадей* и который продолжил исследования с того места, на котором Дэви их забросил. Фарадей родился в 1791 г. Он был десятым ребенком в семье кузнеца, и его детство прошло в тяжелой нужде. В возрасте четырнадцати лет он стал подмастерьем в мастерской, где обучался переплетать книги и попутно начал интересоваться содержащимися в них знаниями. В 1812 г. юный Фарадей получил билет на одну из знаменитых лекций Дэви в Королевском институте в Лондоне и был буквально пленен магией научных экспериментов. Подготовленный Фарадеем превосходный 386-страничный иллюстрированный манускрипт лекций Дэви произвел впечатление на тщеславного ученого, и в 1813 г. Дэви устроил сына кузнеца на работу в Королевский институт в качестве посыльного. За эту работу Фарадей получал меньшее жалованье, чем в учениках у переплетчика, однако тяга к науке была намного сильнее, чем к переплетному делу.

Слава Дэви ширилась по мере того, как он открывал все новые химические элементы с помощью своего электрохимического метода. Его пригласили совершить поездку по Европе — что то наподобие турне современной популярной рок-группы. В качестве «администратора гастролей» Дэви взял с собой Фарадея, на которого возлагались все повседневные заботы. Миссис Дэви была бессердечной и деспотичной особой, однако Фарадей стоически все сносил. Дэви являлся фигурой скорее общественной, поэтому неоспоримая приверженность науке и мастерство, с которым Фарадей управлялся с научным оборудованием, привели к тому, что в 1833 г. он стал преемником Дэви на посту профессора в Королевском институте. Именно в этом историческом здании близ Пиккадилли Фарадей провел большинство исследований по электричеству.

Дэви и Фарадей очень различались по характеру. Дэви вел кипучую деятельность и был непостоянен, наспех проводя бессистемные исследования. Напротив, Фарадей отличался методичностью и обстоятельностью и тщательно изучал все стороны проблемы, прежде чем двигаться дальше. На протяжении всей жизни Фарадей аккуратно вел дневник и даже ну-

* Майкл Фарадей (1791–1867) — английский физик, образование получил самостоятельно, член Лондонского Королевского общества (1824), директор лаборатории Королевского института в Лондоне (1825), профессор кафедры химии (1833–1866), член Петербургской АН (1830). — *Прим. перев.*



Рис. 3.1. Майкл Фарадей. Майкл Фарадей утверждал, что атомы содержат электричество.

меровал в нем записи, число которых в конце концов достигло 16 041. Фарадея не интересовало открытие новых элементов, он целиком сосредоточился на необычных электрохимических явлениях. Почему некоторые химические соединения разлагаются под действием электрического тока? Элементы в обычном состоянии не несут электрического заряда, однако элементы, высвобождающиеся под действием электрического тока, несомненно, обладают зарядом — некоторые из них несут отрицательный заряд и перемещаются к положительному электроду (Фарадей назвал его анодом от греческого *anodos* — «восхождение»), а другие несут положительный заряд и перемещаются к катоду (от греческого *kathodos* — «возвращение»). Будучи истинным ученым, Фарадей скрупулезно подходил к решению каждой проблемы, проводя планомерные измерения для проверки различных гипотез. Он пришел к выводу, что количество высвобождаемого элемента пропорционально количеству прошедшего электричества. Он также обнаружил, что количество осаждавшихся заданным электрическим током элементов пропорционально их атомным весам, определенным Дальтоном.

Точно так же как работы Гей-Люссака показали, что газообразные элементы образуют соединения в определенной пропорции, работы Фарадея продемонстрировали, что электрический

ток разлагает соединения определенным образом. По-видимому, здесь были замешаны атомы Дальтона. В своей книге *Experimental Researches on Electricity*, опубликованной в 1839 г., Фарадей писал: «Хотя нам ничего не известно о том, что такое атом, мы не можем отрицать представление о нем как о маленькой частичке. Имеется множество фактов, подтверждающих наши представления о том, что атомы материи каким-то образом связаны с электрическими силами, которым они обязаны своими наиболее поразительными свойствами, среди коих — химическое сродство».

Частицы, которые высвобождались электрическим током и перемещались по направлению к электродам, были названы Фарадеем ионами от греческого *ion* — «идуший». Что общего было между этими ионами и атомами Дальтона? Анализ осаждавшихся на электродах веществ показал, что в некоторых случаях ионы состояли из нескольких атомов, тогда как в других случаях на электродах осаждались химические элементы, так что ионы скорее всего состояли из отдельных атомов. Электрический ток разлагает воду на составляющие ее элементы — водород и кислород. Хотя атомы кислорода и водорода сами по себе электрически нейтральны, атомы водорода и кислорода в ионах, высвобождаемых электрическим током, определенно несут электрический заряд. Фарадей затруднялся выяснить причину этой «электризации» атомов, и он с неохотой переключился на другие исследования электричества и магнетизма, в которых успех сопутствовал ему в большей степени.

В то время взаимоотношения Фарадея с его бывшим учителем Гемфри Дэви окончательно испортились. Став президентом престижного Королевского общества, Дэви безуспешно попытался воспрепятствовать избранию Фарадея. На склоне лет у Дэви возникли серьезные проблемы со здоровьем, по-видимому, вследствие отравления химикатами, с которыми он работал. Фарадей принял на себя руководство чтением публичных лекций, и на этом поприще сын бедного кузнеца имел больший успех, чем его учитель. Покровителями Фарадея были принц Альберт, муж королевы Виктории, его дети, а также Чарльз Диккенс. Однажды в 1844 г. Фарадея пригласили на воскресный ланч с королевой Викторией. Женившись, ученый стал членом одной аскетической христианской секты и был обязан каждое воскресенье появляться в своей церкви. После мучительных раздумий он все же принял приглашение царствующей особы и за это был впоследствии изгнан из религиозного братства.

К концу жизни Фарадей становился все более замкнутым. По-видимому, как и Дэви, он оказался жертвой хронического отравления, всю жизнь проводя опасные научные опыты без должных мер предосторожности. Фарадей умер в 1867 г. Дневники, которые он тщательно вел всю жизнь, были опубликованы в семи томах в 1932 г. Традиционные рождественские лекции в Королевском институте, называемые в его честь фарадеевскими, по-прежнему собирают толпы любознательных студентов.

ЭЛЕКТРОХИМИЯ

Хотя связь атомов с фарадеевскими ионами по-прежнему оставалась загадкой, ученые постепенно начинали разбираться в электрохимической головоломке. Будучи растворенными в воде, некоторые вещества проводят электричество. Примером может служить хлористый натрий — поваренная соль. Некоторые вещества, например сахар, тоже растворяются, однако их растворы не проводят ток. При растворении всех этих веществ в воде температура ее замерзания понижается. Определенную роль здесь играет молекулярный вес растворяемого вещества — чем легче его молекулы, тем ниже опускается точка замерзания. Например, водный раствор одного грамма глюкозы замерзает при более низкой температуре, чем водный раствор одного грамма сахарозы. В данном случае понижение точки замерзания зависит от числа молекул — молекулы глюкозы легче молекул сахарозы, поэтому в растворе глюкозы будет соответственно больше молекул. Поваренная соль тоже понижает точку замерзания, однако делает это примерно в два раза эффективнее, чем вещества, дающие непроводящие растворы, такие, как глюкоза или сахароза.

Это необъяснимое двукратное увеличение привлекло внимание молодого одаренного шведского ученого Сванте Августа Аррениуса*. Аррениус, родившийся в 1859 г., изучал молодую тогда науку — электрохимию в университете Упсалы. Он догадался, что в растворах, проводящих электрический ток, важную роль играет число частиц, и предположил, что молекулы хлористого натрия при растворении в воде диссоциируют на две электриче-

* Аррениус (1859–1927) — один из основоположников физической химии, удостоенный Нобелевской премии по химии 1903 г. за теорию электролитической диссоциации, директор Отдела физической химии Нобелевского института (1905–1927), иностранный член АН СССР (1925). — *Прим. перев.*

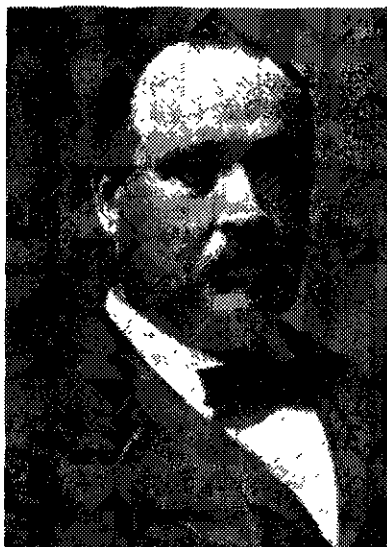


Рис. 3.2. Сванте Август Аррениус (© Нобелевский фонд). Аррениус получил Нобелевскую премию по химии 1903 г. за объяснение соотношения между атомами и электрически заряженными частицами — ионами.

ски заряженные частицы, одна из которых обладает свойствами натрия, а другая — хлора. Разумеется, этими частицами были не атомы металлического натрия и газообразного хлора, а какие-то их модификации, обладающие электрическим зарядом со свойствами, сильно отличающимися от свойств обычных атомов. Согласно Аррениусу фарадеевские ионы представляли собой атомы, которые либо потеряли, либо приобрели электрический заряд. Благодаря этому их свойства изменяются до неузнаваемости. Именно вследствие этого превращения атомов химического элемента в ионы свойства химических соединений оказываются совершенно непохожи на свойства составляющих их элементов: жидкая вода состоит из элементов, представляющих собой в нормальном состоянии газы; столь необходимая для жизни поваренная соль состоит из ядовитого газа и жидкого металла, который взрывается при контакте с воздухом.

Однако это представление об электрических атомах противоречило атомистической теории Дальтона, согласно которой атомы являлись первичными составляющими материи и потому были неделимыми. Еще будучи студентом, Аррениус выдвинул смелое предположение об ошибочности концепции Дальтона. Нельзя сказать, что это понравилось членам комиссии, принимавшей у Аррениуса экзамен на степень доктора, — от него ждали изложения общепринятых представлений. Вместе с тем, при-

зная интеллектуальную одаренность Аррениуса и не желая отвергать заведомо интересную теорию, экзаменаторы поставили ему низший проходной балл. Честолюбивый Аррениус разослал копию своей диссертации многим ученым-химикам, и в августе 1884 г. немецкий химик Вильгельм Оствальд приехал в Упсалу из Риги, чтобы пригласить Аррениуса на работу. Официальные лица в Упсале поняли, что, по-видимому, недооценили Аррениуса, и выдвинули встречное предложение, позволившее ему остаться в Швеции.

Постепенно трактовка электрохимии, данная Аррениусом, стала привлекать внимание. Выступая на фарадеевской лекции 1881 г. в Лондоне, немецкий физик Герман фон Гельмгольц сказал: «Если мы допускаем, что простые вещества состоят из атомов, мы не можем не прийти к выводу о том, что положительное и отрицательное электричество делится на определенные элементарные порции, ведущие себя подобно «атомам электричества». В 1874 г. ирландский физик Джордж Стони дал количественную оценку минимальной единице электрического заряда, назвав ее «электроном».

КАТОДНЫЕ ЛУЧИ СУЩЕСТВУЮТ, А АНОДНЫЕ – НЕТ

Центральные части городов соревнуются друг с другом в размещении броской неоновой рекламы — красочные цветовые эффекты создаются в ней при прохождении электрического тока в трубках, наполненных газом под низким давлением. Подобные эффекты наблюдал еще Бенджамин Франклин в Соединенных Штатах в конце восемнадцатого столетия. Однако, как и многие другие электрические явления, они оставались диковинкой до тех пор, пока Майкл Фарадей в Лондоне не приступил к их систематическому изучению. В 1883 г. Фарадей заметил, что светящийся столб газа в трубке не был однородным — вблизи катода имелось темное пространство. Оно получило зловещее название — «фарадеево темное пространство», а его существование свидетельствовало о том, что электричество распространяется в газе в определенном направлении. В те времена демонстрационные опыты были скорее развлечением, чем наукой, однако дальновидный Фарадей предсказывал, что «результаты, обнаруживающие различия между положительным и отрицательным разрядами, будут иметь гораздо большие последствия для понимания природы электричества, чем это можно себе представить сегодня».

Юлиус Плюккер в Бонне (Германия) обнаружил, что светящаяся область в газе смещается, если рядом с трубкой поместить магнит. Один из студентов Плюккера Иоганн Гитторф показал, что «светящиеся лучи» исходят от катода, а в 1876 г. Эуген Гольдштейн в Германии продемонстрировал, что исходящие от катода лучи распространяются прямолинейно и что помещенные в разрядную трубку металлические предметы создают четкие тени. Гольдштейн ввел термин «катодные лучи». Об их происхождении шли горячие споры. Немецкие ученые утверждали, что катодные лучи, подобно свету, представляет собой излучение, тогда как их британские оппоненты во главе с эксцентричным сэром Уильямом Круксом считали, что лучи — это частицы определенного сорта. Сын бедного портного, Крукс со временем стал одним из влиятельнейших людей в Великобритании; на протяжении всей своей жизни он оставался активным ученым. В 1879 г. Крукс писал: «По-видимому, мы наконец научились управлять мельчайшими неделимыми частицами, которые скорее всего составляют физическую основу мироздания».

По всему миру для исследования катодных лучей изготавливались маленькие стеклянные трубочки — далекие предки современных телевизионных трубок. Хотя Гольдштейн показал, что впаянные в трубку предметы из толстого металла создают тени, тонкая фольга пропускала лучи, что указывало на их проникающую способность. В 1895 г. Жан Перрен в Париже поместил внутри трубки небольшой металлический цилиндр, с помощью которого собирался электрический заряд, переносимый катодными лучами. Как и ожидалось, то, что выходило от катода и двигалось к аноду, обладало отрицательным зарядом, однако в данном опыте это было впервые непосредственно продемонстрировано.

В 1897 г. Эмиль Вихерт в Кенигсберге осуществил отклонение катодных лучей с помощью магнита. Предположив, что каждая частица, составляющая катодные лучи, переносит заряд, равный одному электрону Стони, Вихерт получил оценку массы этих частиц, которая оказалась в тысячи раз меньше массы атома водорода. Впервые физики осознали, что имеют дело с субатомными частицами. В Кембридже Дж. Дж. Томсон поместил катодную трубку в электрическое и магнитное поля и, не делая никаких предварительных предположений относительно переносимого катодными лучами заряда, произвел точные измерения отношения заряда частиц к их массе.

Томсон был сыном книготорговца и с ранних лет, подобно

Фарадею, интересовался книгами. Томсон сменил лорда Рэлея в должности профессора физики Кембриджского университета и директора недавно созданной Кавендишской лаборатории. Под руководством Томсона Кавендишская лаборатория стала специализироваться в новой области физики катодных лучей. Работы Томсона подтвердили, что электричество в газах переносилось отрицательно заряженными очень легкими частицами. В 1899 г. он пришел к выводу, что частицами катодных лучей были электроны Стони, каждый из которых переносил определенную величину отрицательного заряда и имел массу, составлявшую примерно одну двухтысячную массы атома водорода. Отрицательно заряженные электроны каким-то образом размещались в атомах, но поскольку атомы намного тяжелее электронов, на основную долю их массы должен приходиться равный по величине положительный заряд. Благодаря открытию субатомной частицы — электрона образование фарадеевских ионов можно было объяснить непосредственно как процесс, в котором атомы либо теряли, либо приобретали электроны.

Электроны чрезвычайно подвижны и легко удаляются из некоторых атомов, например, даже трением. Когда атомы соединяются, образуя молекулы, их электроны играют роль своего рода «крючков». В электрических проводниках, однако, их сцепление ослабевает при прохождении тока. Атомы, потеряв отрицательно заряженные электроны, приобретают положительный заряд. Они становятся положительными ионами и притягиваются к катоду при протекании электрического тока. Электроны, в свою очередь, присоединяются к другим атомам, те приобретают отрицательный электрический заряд и перемещаются к аноду.

Обращаясь к собранию британских и французских физиков в Дувре в 1899 г., Дж. Дж. Томсон сказал: «Электризация, по существу, подразумевает расщепление атома, при котором часть его высвобождается и лишается связи». Этим, кстати, было подтверждено смелое предсказание Аррениуса, сделанное пятнадцатью годами раньше. В 1903 г. Аррениус получил Нобелевскую премию по химии — он стал первым шведом, удостоенным этой награды, — за ту самую работу, которую он с таким трудом пытался защитить в качестве своей диссертации в университете Упсалы девятнадцать лет назад. В 1906 г. Дж. Дж. Томсону была присуждена Нобелевская премия за открытие электрона.

Заключительная задача состояла в том, чтобы измерить крошечный электрический заряд электрона. Это пытались сделать, наблюдая под микроскопом за тем, как заряженные капельки во-

ды сопротивлялись гравитации в вертикальном электрическом поле. Если величина поля была такой, что электрическая сила, действующая на капельку в вертикальном направлении, уравновешивала гравитационную силу, тянущую капельку вниз, то можно было определить величину электрического заряда этой капельки. Трудность состояла в том, что капельки, как правило, испарялись до того, как удавалось провести измерения. Работавший в Чикаго американский физик Роберт Милликен предложил использовать вместо водяных масляные капельки. Милликен использовал рентгеновские лучи для выбивания электронов из атомов капелек, и ему удалось измерить результирующий заряд ионов. Поскольку различные капельки могли терять разное число электронов, электрическое поле, компенсирующее гравитационную силу, оказывалось различным, однако полученные Милликоном результаты в конечном счете доказали, что капельки всегда несли заряд, кратный некоторому элементарному заряду. Этот скромный эксперимент принес Милликену Нобелевскую премию 1923 года по физике, и он стал первым американцем, совершившим подобную поездку в Стокгольм.

ПОЛОЖИТЕЛЬНЫЙ ТЯЖЕЛОВЕС

Атом можно разделить на части, имеющие положительный и отрицательный заряды, однако эти части окажутся совершенно непохожими друг на друга. Если атом в целом электрически нейтрален, но содержит много легких электронов, то где находится положительный заряд, в котором сосредоточено 99,95 % массы атома? Томсон предложил модель атома, названную им «сливовым пудингом» — плотная положительно заряженная сфера с вкрапленными в нее легкими электронами. Однако эта модель не объясняла, почему отрицательно заряженные электроны так легко отделялись от атомов. Хантаро Нагаока в 1904 г. в Японии предложил гораздо более правдоподобную модель атома, в которой электроны двигались по орбитам вокруг расположенной в центре положительно заряженной сферы напоdobие колец Сатурна.

В 1895 г. из Новой Зеландии в Англию приехал молодой студент-физик, которого звали Эрнест Резерфорд. У него в кармане лежала стипендия, обеспечившая продолжение учебы. Такая стипендия присуждалась в Новой Зеландии раз в несколько лет, и первоначально она предназначалась молодому химику. Однако в последнюю минуту этот химик решил жениться и остался в Но-

вой Зеландии, так что стипендия перешла к следующему из списка — Резерфорду. В том же году изменились правила обучения в Кембридже, и Резерфорд стал одним из первых иностранных студентов, работавших в Кавендишской лаборатории под руководством Дж. Дж. Томсона.

В Новой Зеландии Резерфорд провел эксперименты по радиотелеграфии. Он привез в Англию прототип своего передатчика и продолжил эти работы. Одновременно Гульельмо Маркони проводил свои первые опыты по радиотелеграфии в Болонье, однако, по сведениям Дж. Дж. Томсона, Резерфорд некоторое время удерживал первенство по дальности радиопередачи телеграфных сообщений. Впрочем, катодные лучи интересовали Томсона больше, чем радиотелеграфия, и он настоял на том, чтобы Резерфорд придерживался принятого в Кембридже направления работ. Юный Резерфорд ничуть не расстроился и подчинился этому требованию. Так было положено начало карьере, с которой оказался связан поворот в истории науки. В 1898 г. Резерфорд переехал из Кембриджа в Мак-Гиллский университет в Монреале, где заложил основы учения о радиоактивности — загадочном излучении, испускаемом ураном и другими тяжелыми элементами. Он показал, что радиоактивность представляет собой испускание частиц двух сортов — массивных частиц с положительным зарядом, которые он назвал альфа-частицами, и легких частиц с отрицательным зарядом, которые он назвал бета-частицами. За эту работу Резерфорд был удостоен Нобелевской премии по химии 1908 года, за год до того как Маркони получил Нобелевскую премию за свои пионерские работы по радиотелеграфии. Переключившись с работ по радиотелеграфии на атомную физику, Резерфорд не только удостоился Нобелевской премии, но даже получил ее раньше! Вскоре после открытия Резерфордом бета-частиц Вальтер Кауфман в Германии показал, что это — вездесущие электроны.

Из Мак-Гиллского университета Резерфорд переехал в Манчестер (Англия), где занял должность директора лаборатории. Выходец из Новой Зеландии, Резерфорд не придавал значения классовым различиям, существовавшим в Англии времен короля Эдуарда, и просто отбирал лучших студентов, не обращая внимания на их происхождение. Он создал одну из первых международных исследовательских групп — эта практика продолжала существовать в физике на протяжении всего двадцатого столетия. Одним из сотрудников Манчестерской группы Резерфорда был Ханс Гейгер, который позже прославился как изобретатель прибора для регистрации радиоактивности — счетчика Гейгера.

В Манчестере Резерфорд изучал прохождение альфа-частиц сквозь тонкую золотую фольгу. Эта работа состояла в наблюдении в микроскоп за флуоресцирующим экраном и подсчете крохотных вспышек, возникавших на экране при попадании на него альфа-частиц. Для воссоздания картины взаимодействия альфа-частиц потребовалось терпеливо миллиметр за миллиметром обследовать в микроскоп весь экран. Кропотливой работой по подсчету крохотных вспышек исследователи занимались вдвоем — один из них наблюдал за экраном, а другой записывал результаты подсчета. Каждые пять минут они менялись ролями.

Выяснилось, что большинство альфа-частиц почти не отклоняется при прохождении сквозь тонкую фольгу. В 1909 г. Резерфорд поручил Эрнесту Марсдену — студенту Гейгера — обследовать периферию экрана и проверить, не отклоняются ли альфа-частицы на большие углы. Хотя не было оснований предполагать, что подобное может происходить, Резерфорд, как и Фарадей, был весьма дотошным экспериментатором, который не полагался на случай и не выдвигал «гипотез». Марсден передвинул экран и микроскоп из удаленного положения за фольгой и установил их вблизи радиоактивного источника. Напарником Марсдена по подсчету альфа-частиц был сам Резерфорд.

К великому изумлению, они обнаружили, что, по-видимому, время от времени альфа-частицы, ударившись о фольгу, отскакивали назад, в направлении радиоактивного источника. Тяжелые по атомным стандартам (примерно в десять тысяч раз тяжелее электрона) положительно заряженные альфа-частицы наталкивались в золотой фольге на что-то, что заставляло их отлетать в обратном направлении. По словам Резерфорда, «это выглядело так, как если бы вы выстрелили в лист папиросной бумаги 15-дюймовым снарядом, а он отскочил назад и поразил вас!».

На решение этой загадки Резерфорду потребовалось два года. В конце концов он понял, что открыл, где в атоме находится положительный заряд. Оказалось, что положительный заряд сосредоточен в крошечном, но массивном зернышке в центре атома, а не размазан повсюду, как считалось ранее. В этом зернышке — атомном ядре — сконцентрирована практически вся масса атома. Это массивное ядро настолько мало, что атомы, подобно космосу, на 99,99% — пустота. В большинстве случаев альфа-частицы проходят сквозь атом, не встречая на своем пути существенных препятствий. Если же альфа-частице удастся столкнуться с ядром лоб в лоб, то ее препятствием окажется нечто более тяжелое, чем она сама, и ее отбросит рикошетом назад.

Размеры ядра чрезвычайно малы. Если мысленно увеличить атом до размеров футбольного поля, то ядро оказалось бы величиной всего с лесной орех! Однако в этом крошечном шарике кроется разгадка атома. На большом удалении от ядра на своих орбитах расположены электроны; они практически невесомы, однако экрануют положительный электрический заряд ядра. некогда неделимые дальтоновские атомы стали теперь похожи на миниатюрную солнечную систему с массивным ядром в центре и вращающимися на большом удалении от него «планетами» — электронами.

Следующий вопрос состоял в том, каково строение самого ядра. Похожи ли ядра на твердые и устойчивые дальтоновские атомы, но несущие положительный электрический заряд? Каково происхождение этого заряда? Поддается ли ядро расщеплению? Ответ был найден благодаря гению Резерфорда. Однако темп его исследований снизился из-за Первой мировой войны — Резерфорду пришлось работать консультантом в нескольких важных комитетах. Извиняясь за свое отсутствие на заседании Международного комитета по борьбе с подводными лодками, он заявил: «У меня есть основания полагать, что мне удалось расщепить ядро атома, а это имеет гораздо большее значение, чем война». Всецело вернувшись к академическим исследованиям в 1919 г., Резерфорд подверг бомбардировке альфа-частицами от радиоактивного источника сосуд с азотом. Позади этого сосуда был размещен все тот же флуоресцирующий экран с микроскопом для подсчета вспышек, создаваемых вылетающими частицами.

Тяжелые альфа-частицы, как правило, поглощаются десятью сантиметрами газа. Тем не менее на экране время от времени возникали отдельные яркие вспышки, свидетельствовавшие о том, что из сосуда с азотом вылетали частицы, обладавшие большей проникающей способностью, чем альфа-частицы. Резерфорд пришел к выводу, что ядра азота (имеющие по семь положительных зарядов), испытывая лобовые столкновения с альфа-частицами (каждая из которых является, как теперь известно, ядром атома гелия и несет два положительных заряда), превращаются в ядра атома кислорода (имеющие по восемь положительных зарядов) и ядра атома водорода (с единичным положительным зарядом). Ядра атомов водорода вскоре были обнаружены в экспериментах с использованием других мишеней. Водородные ядра, выбиваемые из ядер мишени, явились строительным материалом всех ядер, и Резерфорд назвал их «протонами». Резерфорд не только расщепил ядро, но и показал, что одно ядро можно пре-

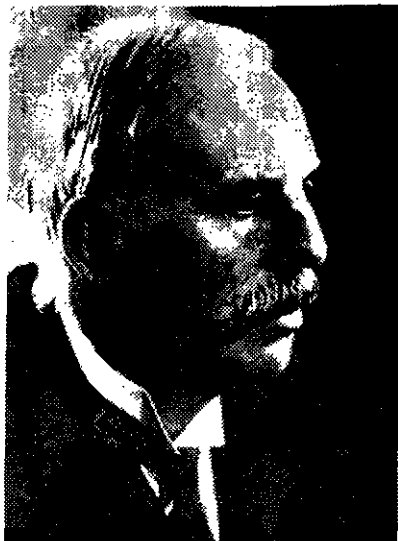


Рис. 3.3. Эрнест Резерфорд. (фото ЦЕРНа). Лорд Э. Резерфорд обнаружил наличие в атомах положительно заряженных ядер, размеры которых были гораздо меньше размеров атома и которые оказались значительно массивнее отрицательно заряженных электронов.

вратить в другое. Атомы Дальтона, ядра которых располагались в их сердцевине, оказались не вечными.

За столетие, разделяющее Дальтона и Резерфорда, представление о строении материи полностью изменилось. Оно радикально отличается от представлений Дальтона, а за ним и Томсона. В электрически нейтральном атоме носителями отрицательного заряда являются находящиеся на периферии легкие частицы — электроны, а носителями положительного заряда — расположенные внутри ядра частицы с примерно в две тысячи раз большей массой — протоны. Эта новая картина способствовала более глубокому пониманию Природы. Однако оставался важный вопрос — почему электричество в атоме распределено столь несимметрично? Существует ли электрически зеркальный образ этой картины, в котором массивное ядро было бы заряжено отрицательно, а вокруг него располагались бы легкие частицы с положительным зарядом?

Рядом с памятником великому Исааку Ньютону в Вестминстерском аббатстве в Лондоне 13 ноября 1995 г. была установлена мемориальная доска в память о Поле Адриене Морисе Дираке. На памятнике Дираку начертано уравнение, которое прославило его автора и предсказало существование антиматерии:

$$i\hbar\partial\psi = m\psi.$$

По традиции после вручения Нобелевской премии в шведской Королевской академии в Стокгольме ее лауреат выступает с короткой лекцией, посвященной своей работе. Получив Нобелевскую премию 12 декабря 1933 г., Дирак сказал: «Нам следует считать случайностью, что Земля (и, вероятно, вся Солнечная система) построена из отрицательных электронов и положительных протонов. Не исключено, что на некоторых звездах все наоборот, и они построены главным образом из позитронов (так стали называть антиэлектроны) и отрицательных протонов. Может оказаться, что и тех и других звезд одинаковое количество... и нет способа отличить их друг от друга».

Дирак умер 20 октября 1984 г. в Таллахасси (Флорида), где он жил и работал после ухода из Кембриджского университета (Англия), профессором которого он являлся до 1969 г. Лондонская *The Times* поместила скромный некролог, и должно было миновать еще одиннадцать лет, прежде чем памятник Дираку был торжественно открыт в Вестминстерском аббатстве.

МОЛЧАЛИВЫЙ ГЕНИЙ

Всю жизнь Дирак был склонен проводить время, предаваясь в уединении размышлениям. Даже заслужив признание и многочисленные почести, Дирак по-прежнему избегал появляться на людях. П. А. М. Дирак (так он всегда подписывался) стал легендой благодаря своей неразговорчивости. Космолог Фрэд Хойл говорит, что было трудно вовлечь Дирака в обсуждение какой-

либо проблемы, пока у него не созревало ее законченное решение. Хойл, бывший в то время членом исследовательского общества в Кембридже, рассказывает, как однажды позвонил Дираку, чтобы выяснить, готов ли тот провести в Кембридже семинар по физике. «Дирак сказал то, до чего, по-моему, никто другой не додумался бы», — пишет Хойл в своей автобиографии *Home is Where the Wind Blows* («Дом — там, где ветят ветры», 1994). Дирак ответил: «Я сейчас положу трубку, минутку подумаю, а потом скажу».

Если Дирак в конце концов давал какой-нибудь ответ, то к нему стоило прислушаться. Когда еще студентом Дирак изучал в Кембридже физику, лектор однажды поставил перед своей аудиторией такой вопрос: «В конце концов мы пришли к необычайно простому ответу, почему? Почему эта задача должна решаться таким образом?». Спустя неделю юный Дирак подошел к своему лектору и сказал буквально следующее: «Это то, что нужно».

Интроспективная молчаливость Дирака объяснялась строгим воспитанием. Его отец, Чарльз Адриен Ладислас Дирак, родился в 1866 г., в франкоговорящей части Швейцарского кантона Вале. Ему была не по душе авторитарная атмосфера на родине в Альпах, и он перебрался в Англию. В Бристоле он стал очень уважаемым преподавателем французского языка. Там же он женился в 1899 г. на Флоранс Холтен — дочери корабельного офицера. Несмотря на недовольство собственным воспитанием, на закате викторианской эпохи Чарльз Дирак стал сторонником строгой дисциплины. В 1900 г. в семействе Дираков появился первенец — Реджинальд. Поль родился спустя два года — 8 августа 1902 г.

Несмотря на стремление побороть последствия своего воспитания, Чарльз Дирак оставался таким же тираном, как и его отец. За обеденным столом в бристольском доме Дирака полагалось говорить по-французски. Поскольку миссис Дирак и Реджинальд недостаточно хорошо говорили на этом языке, им приходилось есть на кухне, а Чарльз со своим младшим сыном обедали вдвоем в столовой. Впоследствии Поль Дирак признался, что ему было трудно изъясняться по-французски и поэтому он предпочитал есть молча. Немногословность стала его отличительной чертой. Получив Нобелевскую премию, Поль Дирак мог, как это было принято, пригласить на церемонию вручения своих родителей, однако приглашение получила только его мать.

В Бристоле юный Дирак поначалу ходил в Коммерческую школу, где его отец преподавал французский язык. Довольно странно, что точным наукам и другим практическим дисципли-

нам в этой школе уделялось большее внимание, чем языкам и гуманитарным наукам. Несмотря на то что Поль Дирак лучше всего успевал по математике, по окончании школы в 16 лет он по настоянию отца пошел по стопам своего старшего брата Реджинальда и поступил в машиностроительный колледж Бристольского университета. Реджинальд собирался стать врачом, однако под давлением отца ему пришлось заняться инженерным делом. В 1924 г. Реджинальд покончил жизнь самоубийством.

В годы Первой мировой войны многие способные люди призывались на военную службу, и в Бристольском университете образовалось множество вакансий. Инженерное дело не привлекало Поля Дирака, однако студентам машиностроительного отделения время от времени приходилось иметь дело с кое-какой математикой. Дирак был буквально очарован математическими задачами. В 1919 г. произошло одно событие, произведшее на Дирака неизгладимое впечатление.

В тот год 29 мая ожидалось полное солнечное затмение, причем наблюдать его можно было только в тропиках. Согласно теории относительности Эйнштейна, свет обладает некоторой массой и, следовательно, на него должны действовать гравитационные силы. Однако этот эффект чрезвычайно мал. Проходя около Солнца, лучи света от удаленных звезд отклоняются лишь на 0,87 угловой секунды (подобно выпущенной из ружья пуле, которая не попадает в копеечную мишень с расстояния нескольких километров из-за порыва ветра). На фоне слепящего сияния Солнца звезды не видны, поэтому в обычных условиях этот эффект остается незаметным. Однако солнечное затмение дает астрономам возможность проверить, действительно ли положение звезды смещается, когда свет от нее проходит вблизи Солнца. Непосредственно перед окончанием первой мировой войны известный английский астроном Артур Эддингтон убедил британское правительство выделить, несмотря на войну, средства для проведения дорогостоящей экспедиции, целью которой было наблюдение солнечного затмения и обнаружение предсказанного Эйнштейном небольшого отклонения световых лучей.

На состоявшемся 6 ноября 1919 г. в Лондоне совместном заседании Лондонского Королевского общества и Королевского астрономического общества Эддингтон сообщил, что, основываясь на результатах визирования одной и той же звезды до и во время затмения, он может подтвердить правильность предсказания Эйнштейна. Свет действительно обладает массой. Председатель-

ствовавший тогда профессор Кембриджского университета Дж. Дж. Томсон заявил, что это стало «самым значительным результатом в теории гравитации со времен Ньютона».

Эйнштейн в одночасье стал героем. Подробные газетные отчеты о теории относительности захватили воображение юного Дирака, который без особого рвения все еще продолжал изучать инженерное дело. В 1921 г. он отправился в Кембридж на конкурсный экзамен по математике в колледже Сен-Джон и получил там стипендию, размер которой — семьдесят фунтов в год — едва ли отвечал ее академическому престижу. Несмотря на то что отец советовал Дираку попробовать свои силы в Кембридже, он ничего не мог добавить к скромному содержанию, обеспечиваемому этой стипендией. В итоге Дирак оегался в Бристоле. Не приспособленный к практической инженерной работе, Дирак согласился бесплатно обучаться математике в Бристольском университете. В то время экономическая депрессия начала сказываться на рынке труда, и разработанная схема бесплатного обучения была призвана помочь одаренным молодым людям избежать безработицы; та же схема применялась спустя шестьдесят лет.

В 1923 г. Дирак завершил свое математическое образование в Бристоле и, получив стипендию в недавно созданном Департаменте научных и промышленных исследований, смог наконец, отправиться в Кембридж, чтобы заняться там исследовательской работой. Занятия нелюбимым инженерным делом подсказали Дираку, что он не создан для исследовательской работы со сложным лабораторным оборудованием. Вместо нее он отдал предпочтение дисциплинирующей ум математической физике. По-прежнему очарованный загадками и парадоксами эйнштейновской теории относительности, Дирак намеревался поработать в Кембридже с Эбенезером Каннингэмом, написавшим несколько книг по этому предмету. Однако Каннингэм не был уверен в том, что до конца понимает далеко идущие идеи этой теории, и не стремился работать со способными сотрудниками. Дираку поручили работать с Ральфом Фаулером, который интересовался атомной физикой больше, чем теорией относительности. Поначалу Дирак был разочарован, однако это вынужденное назначение явилось шагом на пути, который через каких-то десять лет привел его к Нобелевской премии. Кстати, Ральф Фаулер был в Англии одним из немногих, кто в те годы уже осознал, что в континентальной Европе назревает еще одна революция в научных представлениях, подобная связанной с теорией относительности.

Возникший вокруг теории относительности ореол совершенно затмил достижения атомной физики. До начала 20-х годов физики трактовали атомы, пользуясь повседневными представлениями: считалось, что электроны ведут себя, как бильiardные шары, а свет — как волны на поверхности воды. Атом рассматривался как планетарная система в миниатюре — электроны двигались по удаленным орбитам вокруг расположенного в центре ядра. Постепенно стала выясняться несостоятельность этой упрощенной картины. Выяснилось, что поведение субатомных частиц противоречит «здоровому смыслу». Похоже, что в недрах атома Природа проявляла себя как-то иначе. Переход к новой научной эре оказался связан с именем Макса Планка (Германия). Для объяснения зависимости излучения от температуры он предположил, что оно не имеет непрерывного характера, но образуется маленькими порциями — «квантами», подобно тому как ливень в конечном счете образуется из отдельных капелек воды. То, что дождь выпадает в виде отдельных капелек, совершенно неважно для инженеров по водоснабжению. Допуская, что предмет их труда является непрерывной субстанцией, при создании резервуаров и насосных станций они пользуются гидродинамикой. Однако в субатомном мире дробление на отдельные квантовые «капельки» играет важную роль, и гидродинамика здесь не сработает. Физикам предстояло научиться обращению с квантами Планка.

Атомные спектры представляют еще один пример квантового явления. Для объяснения положения линий в спектрах излучения нагретых атомов Нильс Бор из Копенгагена предложил принципиально новую картину движения орбитальных электронов вокруг резерфордского ядра. Согласно ей электроны могут находиться только на определенных орбитах подобно цепи на звездочках переключения скоростей у велосипеда, осуществляющей переход с одной скорости на другую. Хотя квантовые правила Бора явно работали, физики не могли до конца понять, почему субатомные частицы оказываются стиснутыми этой квантовой «смирительной рубашкой». Какие основные законы управляют субатомным миром?

В своем учебнике *The Principles of Quantum Mechanics** (1930), Дирак впоследствии писал: «Согласно классической традиции физический мир рассматривается как совокупность наблюдаемых объектов, движущихся по четким и ясным законам механи-

* Имеется русский перевод: Дирак П. Основы квантовой механики. — М.; Л., 1937. — Прим. перев.

ки; это позволяет сформировать наглядное пространственно-временное представление о мире в целом. Целью физики было найти наиболее простое объяснение поведения этих объектов на основе гипотез относительно действующих между ними сил. В последние годы, однако, стало ясно, что Природа устроена по иному плану. Ее основные законы непосредственно управляют не миром, каким мы его воспринимаем во всех его проявлениях, но некоторым его субстратом, представить который мы не силах, не впадая в логические противоречия».

Как бы то ни было, основанная Ньютоном и доработанная поколениями талантливых математиков классическая механика объяснила движение небесных тел и не могла быть просто так отброшена. Между двумя параллельными подходами к описанию Природы где-то должен существовать мост, объединяющий невидимую сутолоку субатомных частиц с величественным движением звезд и вечным орбитальным движением планет в космическом пространстве. Чтобы самому во всем разобраться, Дирак обратился к математическому трактату Е. Т. Уиттекера по аналитической динамике. Этот выбор тоже оказался правильным.

Математические исследования часто ведутся в уединении. В то время в Кембридже не было места, где любители математической физики могли бы собираться и обсуждать свои проблемы. Впрочем, на чайных вечеринках в колледже иногда уделялось внимание таким сокровенным темам, как проективная геометрия. Дирак время от времени посещал эти собрания, однако он гораздо лучше чувствовал себя в уединении, в котором он методично трудился над задачами, пока не доводил до конца их решение к полнейшему своему удовольствию. Дирак не последовал моде бездумного использования нового квантового языка, но заперся в уединении и занялся его этимологией и грамматикой.

Как известно, свет имеет волновую природу, однако иногда он ведет себя как частицы. В 1887 г. Генрих Герц открыл фотоэффект, при котором падающий на проводящую поверхность свет высвобождает электроны приводит к возникновению слабого электрического тока. Выяснилось, что энергия этих электронов не зависит от яркости света. Чем больше света, тем больше электронов, однако они имеют одну и ту же энергию. Объяснить это явление можно, только допустив, что свет состоит из отдельных частиц — «фотонов», каждый из которых оказывает определенное воздействие на светочувствительную поверхность. Обычные предметы движутся по некоторым траекториям, прямым или искривленным, и отскакивают друг от друга при столкновениях.

Разве может эта картина быть применима к электронам, которые, как оказывается, прыгают с одной атомной орбиты на другую и при этом каждый раз испускают фотоны?

КЛЮЧЕВЫЕ УРАВНЕНИЯ

Решающий шаг на пути разрешения корпускулярно-волновой дилеммы сделал в 1923 г. Луи де Бройль, сын члена французского парламента. Во время Первой мировой войны он присматривал за радиотелеграфной установкой, размещенной на Эйфелевой башне в Париже. Де Бройль предположил, что частицы должны обнаруживать волновые свойства, и для начала предложил формулы, связавшие волновые и корпускулярные свойства частиц.

После Первой мировой войны культура быстро оживала. Шёнберг и Берг проложили новые пути в «классической» музыке; в американском джазе появились обработки популярных мелодий; Джеймс Джойс и Франц Кафка создали новые течения в литературе, отказавшись от традиционного повествовательного изложения; кино предлагало новый технологический уровень для зрелищных видов искусства. В этой благотворной среде всеобщего оживления не обремененные догмами умы отбрасывали устаревшие представления и использовали нетрадиционные математические подходы для решения новых физических задач. В 1925 г. австрийский физик Эрвин Шредингер оставил супругу скучать в Цюрихе и уединился со своей подругой в номере отеля в швейцарских Альпах. Используя корпускулярно-волновые соображения де Бройля, он вывел свое знаменитое уравнение (уравнение Шредингера), которое правильно описало спектр водорода. Тем самым впервые открылась возможность исследовать атом водорода математическими методами. Решение этого уравнения показало, что электроны могли располагаться в атоме лишь на орбитах определенного вида; они напоминали структуру стоячих звуковых волн в органичных трубах. Так возникла новая теория — *волновая механика*. Однако за это пришлось заплатить определенную цену. В атомных масштабах реально существующим оказывался не электрон как таковой, но какая-то неясная математическая абстракция — *волновая функция*.

У ровесника Дирака Вернера Гейзенберга (Германия) были совершенно иные представления. В своей теоретической мастерской он работал с матрицами — двумерными числовыми массивами, математические свойства которых существенно отличаются от свойств обычных чисел. Для обычных чисел произведение

А на В, всегда равно произведению В на А. Для матриц результат будет зависеть от того, в каком порядке написаны сомножители. Произведение матрицы А на матрицу В будет равно произведению матрицы В на матрицу А только для матриц специального вида. Похоже, что причудливым математическим правилам для матриц удалось правильно отразить странности в поведении субатомных частиц. Волновая механика Шредингера и *матричная механика* Гейзенберга приводили, очевидно, к одним и тем же правильным результатам, однако мало кто понимал, почему так происходит, и никто не мог доказать эквивалентность этих двух подходов. Очевидные различия этих теорий только подчеркивали неполноту физической картины.

Физики вступили в квантовое царство, имея на руках лишь приблизительный план местности у них не было путеводителя по этой неведомой стране. В такой ситуации Дираку пришлось выступить в роли географического справочника. Его обычная подготовка к интеллектуальным упражнениям заключалась в длительных воскресных прогулках в одиночестве, предпринимаемых для «освежения ума». В 1926 г. на одной из таких прогулок Дирак припомнил кое-что из книги Уиттекера. Был найден выход из матрично-волнового тупика. Решение проблемы возвело прочное основание, объединившее классическую ньютоновскую механику с новой загадочной квантовой картиной мира. Однако Дирак не мог точно воссоздать все детали, и ему нужно было заглянуть в эту книгу. В воскресенье университетские библиотеки не работали, и он провел бессонную ночь. Позднее он скажет: «За ночь моя уверенность окрепла».

Ключевое уравнение было сформулировано французским математиком Симеоном Пуассоном в 1809 г. в рамках его изящного подхода к задачам аналитической динамики. Недостающим звеном явились так называемые *скобки Пуассона*. Дирак взял величины, трактовавшиеся Пуассоном как непрерывные величины, и заменил их абстрактными математическими операторами, сохранив, однако, при этом исходную форму уравнения Пуассона. Дирак, бывший тогда еще 24-летним стажером, сел и аккуратно написал статью «Основные уравнения квантовой механики». В претенциозном названии статьи отражались величие цели, а также уверенность Дирака в том, что она была достигнута. В отношениях с людьми он был застенчив и скромн, однако подобно любому выдающемуся спортсмену Дирак непоколебимо верил в свои профессиональные способности. Смутные рецепты волновой и матричной механики в его статье были заменены полной и ясной

картиной. Это произвело особенно глубокое впечатление на тех, кто понимал классическую механику и был способен восхищаться ее красотой. Убежденность Дирака росла, и он смело начал проводить расчеты в атомной физике. Результаты согласовались с экспериментом, и научная репутация Дирака была завоевана.

Стажер должен представить диссертацию на соискание докторской степени, являющейся очередной ступенькой академической лестницы. Обычно такая диссертация представляет собой попытку стажера решить задачу, поставленную перед ним его научным руководителем. Задача должна быть решаемой, но достаточно сложной, чтобы заставить стажера потрудиться над ней несколько лет. Стажер должен в конце концов представить какие-нибудь результаты, поэтому несправедливо давать новичкам задачи, перед которыми спасовали бы более опытные ученые. Поскольку цель диссертационной работы — только ознакомить молодых стажеров с реальной исследовательской работой, после защиты их диссертации обычно отправляются пылиться в архив. Только после получения докторского диплома молодые исследователи приступают к решению «настоящих» научных проблем.

Дирак попросту миновал этот этап. Ральф Фаулер, познакомивший Дирака с новой квантовой теорией, стоял, восхищенный, в стороне и просто наблюдал за успехами своего стажера, впрочем, он способствовал быстрой публикации статей Дирака в престижном журнале Лондонского Королевского общества. Статьи туда могли направлять только члены Королевского общества, в котором Фаулер состоял, а Дирак — нет. К счастью, Кембридж 20-х годов оказался гораздо более восприимчивым к идеям Дирака, чем Упсала 1880-х годов к идеям Аррениуса. Вместо того чтобы пылиться взаперти в университетской библиотеке, докторская диссертация Дирака по квантовой механике довольно быстро стала настольной книгой для многих работающих в этой области. В ней предлагался новый взгляд на предмет, который, очевидно, становился все более трудным для осмысления. Дирак читал лекции студентам, среди которых был Роберт Оппенгеймер, возглавивший во время Второй мировой войны Манхэттенский проект по созданию атомной бомбы. На лекции ходил и Ральф Фаулер — учитель с учеником поменялись ролями. На переднем крае науки могут возникнуть сильная конкуренция и соперничество, однако к Дираку всегда относились с должным почтением. Гейзенберг охарактеризовал работу Дирака как «выдающееся достижение».

Покончив с диссертацией, Дирак отправился в Копенгаген и работал там с Нильсом Бором, которому принадлежит идея, что

электроны в атоме могут двигаться только по определенным орбитам. Благодаря Бору Копенгаген стал Меккой для физиков всей Европы; Дирак познакомился там с Гейзенбергом. Хотя Дираку, несомненно, нравились бесконечные встречи и дискуссии, для работы ему по-прежнему нужно было подолгу оставаться в уединении. Известный датский физик Кристиан Мёллер, бывший в те годы студентом в Копенгагене, писал: «Он [Дирак] часто сидел один в неудобной позе в самом потаенном уголке библиотеки... Не меняя позы, он мог провести целый день и написать набеело целую статью». В написании статей, как и в беседе, Дирак был чрезвычайно дисциплинированным; он ни за что не сел бы за работу над статьей до тех пор, пока мысли в его голове не выстроятся в нужной последовательности. Из Копенгагена Дирак переехал в Геттинген (Германия), где познакомился с основателями квантовой механики и произвел на них огромное впечатление.

ВРАЩАЮЩИЙСЯ ЭЛЕКТРОН

В 1927 г. в жизни Дирака произошли неожиданные изменения. Ему было всего 25 лет, но он уже стал ведущим ученым. Правда, большая часть полученных им результатов только дублировала то, что до него уже было сделано первооткрывателями. На этом этапе он обратился к своему первому увлечению — теории относительности. Уравнения новой квантовой теории не согласовывались с принципами теории относительности. Однако для атома водорода они давали правильные результаты и без теории относительности. Вместе с тем Дирак понимал, что легкие электроны — именно те заряженные частицы, которые способны двигаться со скоростями, близкими к скорости света. Быстрые электроны будут «видеть» все совсем не так, как медленные. Для того чтобы дать исчерпывающее описание электрона, в случае очень больших скоростей необходимо принять в расчет теорию относительности Эйнштейна.

Уравнения теории относительности и квантовой механики были уже известны, и не было оснований считать, что их объединение может представлять какие-либо трудности. Между тем в уравнения теории относительности обычно входят квадраты таких величин, как энергия и импульс:

$$E^2 = p^2c^2 + m^2c^4,$$

где E — энергия частицы, p — ее импульс, m — масса и c — скорость света. Дирак знал, что для использования этого уравнения при описании электрона релятивистский импульс p необходи-

мо заменить некоторым математическим оператором. В уравнении квантовой механики импульс не мог появиться во второй степени в виде p^2 — оно должно быть линейно по p . Однако квадратный корень из этого релятивистского соотношения вполне годился для квантовой теории.

Каждому школьнику известно, что простейшее квадратное уравнение $x^2 = y$ имеет два решения, одно из которых равно квадратному корню из y , а другое равно этому же квадратному корню, но со знаком минус. Точно так же вычисление квадратного корня приведенного выше релятивистского соотношения дает два результата:

$$E = \pm \sqrt{p^2 c^2 + m^2 c^4}.$$

Это смушало Дирака, ибо он знал, что когда физическое соотношение говорит, что нечто должно произойти, чаще всего так оно и случается. Квадратное уравнение для мячика, брошенного вверх и движущегося в поле тяжести, обычно имеет два решения для момента времени, в который мячик оказывается на определенной высоте. Одно из них справедливо для мячика, продолжающего подниматься вверх, а другое — для мячика, падающего вниз на землю. Дирака интересовало, какой смысл может иметь решение с отрицательной энергией; его также интересовало, какой вид должен иметь оператор импульса электрона.

Дирак пытался получить релятивистское уравнение, и в случае успеха следствия из этого уравнения должны быть обязательно проверены на опыте. Между тем старое уравнение Шредингера уже дало правильные ответы для атома водорода. На чем можно было бы проверить новое уравнение? Ответ оказался совершенно неожиданным. Получить правильное уравнение для электрона, движущегося с релятивистскими скоростями, было не единственной трудностью. Другая трудность чисто квантового характера заключалась в открытии того факта, что электрон ведет себя так, как если бы он вращался вокруг собственной оси. Это собственное вращение, названное *спином* электрона, тоже подчинялось квантовым правилам. Как электрон движется по определенным орбитам и не может находиться где-либо в другом месте атома, так и ось собственного вращения электрона не может быть направлена произвольно. Подобно электрическому выключателю, она может быть ориентирована в одном из двух допустимых направлений — либо вверх, либо вниз.



Рис. 4.1. Поль Дирак (© Нобелевский фонд). Дирак стал духовным отцом антиматерии.

Если заряженная частица, например электрон, вращается вокруг собственной оси, то она ведет себя подобно стрелке магнитного компаса и ориентируется вдоль магнитного поля. Помимо того факта, что спин может быть направлен только вверх или вниз, существует и другая квантовая загадка: магнитный момент «вращающегося» электрона оказался ровно в два раза больше, чем ожидалось. Никому не удавалось объяснить этот загадочный двукратный фактор. Чтобы написать полное уравнение для электрона, необходимо было учесть квантовую теорию, теорию относительности и спин — вот тогда получится правильный ответ.

Пытаясь совладать со спином электрона, австрийский ученый Вольфганг Паули придумал забавные *спиновые матрицы* — двумерные числовые массивы, которые он вставил в матричную механику Гейзенберга. Эти матрицы играли роль «математического выключателя», гарантирующего, что спин электрона будет направлен только вверх или вниз. Однако там не было ни сбивающего с толку двукратного фактора для магнитного момента, ни релятивистских эффектов. В 1927 г. Дирак приехал на ежегодный Сольвейский конгресс физиков в Брюсселе, на котором много говорилось о релятивистском уравнении для электрона и на котором Дирак познакомился со своим кумиром — Альбертом Эйнштейном. Эйнштейн скептически относился к квантовой теории с ее невятной логикой, а Дирак был слишком замкнут, чтобы завести с ним задушевную беседу. Их общение там было

формально учтывым, но непродолжительным. Возвратясь в Кембридж, Дирак заперся и после нескольких месяцев затворничества выпустил еще одну эпохальную статью — на этот раз это была *The Quantum Theory of the Electron*. И опять использование столь определенного заголовка отражало его уверенность в правильности содержания.

Конечная цель этой работы, состоявшая в объединении квантовой теории, спина и теории относительности, была превращена Дираком в своего рода математическое упражнение. Он выяснил, что для решения проблемы требовались матрицы, в два раза большие, чем матрицы Паули, имевшие размер два на два (рис. 4.2) и входившие в виде отдельных блоков в новые матрицы. Новое уравнение Дирака дало правильный ответ для магнитного момента электрона, и с таинственным фактором «два» было покончено. Дирак показал, что необычные магнитные свойства электрона были закономерным следствием теории относительности. Эти выводы и стали основой для экспериментальной проверки нового уравнения.

Создание прочной научной основы для явлений, не укладывающихся в обыденные представления, явилось настоящим триумфом человеческой интуиции и продемонстрировало эффективность математики в современной науке. Как уже не раз случалось, необходимый математический аппарат был создан пятнадцатью годами ранее французским ученым Эли Картаном, однако в то время никто не задумывался о его использовании в физике. Не будучи знаком с работами Картана, Дирак построил эту теорию заново, как некогда Ньютон создал дифференциальное исчисление, не догадываясь о существовании работ Лейбни-

$$\gamma_1 = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & -i \\ 0 & 0 & -i & 0 \\ 0 & i & 0 & 0 \\ i & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad \gamma_2 = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & -1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ -1 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$\gamma_3 = \begin{bmatrix} 0 & 0 & -i & 0 \\ 0 & 0 & 0 & i \\ i & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -i & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad \gamma_4 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -1 \end{bmatrix}$$

Рис. 4.2. Матрицы Дирака. Эти матрицы 4×4 используются для описания электрона. i — квадратный корень из (-1) . Первоначально введенные Дираком обозначения в настоящее время вытеснены γ -матрицами. При использовании этих матриц уравнение Дирака становится гораздо более симметричным (см. начало этой главы).

ца. Где бы ни использовалось новое уравнение, оно повсюду приводило к правильным результатам. Физики бросились на штурм новой матричной алгебры.

За этот успех пришлось заплатить определенную цену. Волновая функция электрона должна быть четырехкомпонентной, что соответствовало размерности новых матриц. Две компоненты отвечали тому, что уже было известно, т. е. электрону со спином вверх и электрону со спином вниз. Оставшиеся две электронные компоненты имели отрицательную энергию. Случилось то, что Дирак предвидел, глядя на соотношение теории относительности, которое приводило при извлечении квадратного корня к отрицательному значению. Хотя мощь нового уравнения и признавалась физиками, они открыто критиковали его за то, что отрицательные энергии заводили исследования в тупик. Гейзенберг назвал эту теорию «самой темной страницей современной физики».

В 1929 г., пока шли ожесточенные дебаты об отрицательных энергиях и противоположно заряженных частицах, Дирак отправился в Соединенные Штаты, где он бывал в университетах и гулял в национальных парках. Путешествия начинали играть важную роль в его жизни. В наши дни поездка в другую страну — это сутолока в аэропорту и непродолжительный перелет. В те годы все было иначе. Бездеятельность в течение многих дней на борту какого-нибудь трансатлантического судна или столь же продолжительный железнодорожный переезд по всей территории Соединенных Штатов — все это располагало к глубоким размышлениям. Для Дирака это стало хорошим дополнением к его плодотворным воскресным прогулкам.

В Соединенных Штатах Дирак читал лекции в университете Мэдисона, штат Висконсин. К тому времени слава о нем уже распространилась, однако Дирак не прилагал к этому никаких усилий. Один журналист из *Wisconsin State Journal*, ведущий юмористическую рубрику под названием *Roundy* («Толстячок»), узнав, что знаменитый английский ученый собирается посетить университет, отправился на встречу с ним.

«Как-то днем я постучал в дверь кабинета доктора Дирака, приятный голос ответил мне: «Можно войти». И это была, пожалуй, самая длинная фраза, изреченная названным доктором за все время нашей беседы...».

«Что Вам больше всего нравится в Америке?» — спросил доведенный до бешенства репортер после нескольких неудавшихся попыток вызвать Дирака на разговор.

- Картошка.
- Какой ваш любимый вид спорта?
- Китайские шахматы.
- Вы ходите в кино?
- Да.
- Когда?
- В 1920-м и, может быть, еще в 1930-м, — лаконично ответил Дирак.

Из Мэдисона Дирак в одиночестве отправился на Запад — в Лос-Анджелес, посещая по пути обширные национальные парки. По возвращении на Средний Запад он читал лекции в Мичигане, а в Чикаго неожиданно встретился с Гейзенбергом. Как и Дирак, Гейзенберг был искусным математиком. Когда он был студентом в Мюнхене, принадлежавшая профессору математики собачонка своим тьявканьем постоянно мешала ему заниматься. Гейзенберг расстался с чистой математикой, обольщенный широко раскрытыми объятиями теории относительности, возбуждавшими его сильнее, чем сухие уравнения шаблонного математического анализа. После этой встречи в Чикаго ученые вновь встретились в Калифорнийском университете в Беркли, близ Сан-Франциско. У обоих были приглашения читать лекции в Японии, и они решили вместе пересечь Тихий океан на японском судне.

Когда их корабль готовился пришвартоваться в Иокогаме, один японский журналист прознал, что на борту находятся два известных ученых, и отправился на их поиски. Поняв, что за ним охотится пресса, Дирак спрятался, предоставив Гейзенбергу управляться с этим журналистом. Некоторое время спустя ученые вместе стояли на палубе, когда к Гейзенбергу опять подошел этот журналист. «Я обыскал весь корабль в поисках Дирака, но нигде его не нашел», — пожаловался репортер. Тогда Гейзенберг решил сам ответить на вопросы о Дираке. Дирак же просто стоял рядом и слушал, что о нем рассказывает Гейзенберг.

Почитав лекции и посетив исторические места, ученые расстались. Гейзенберг вернулся в Европу через Китай, Индию и Ближний Восток, а Дирак поехал транссибирским экспрессом. Во время этих путешествий у Дирака была уйма времени, чтобы поразмыслить о своих электронах с отрицательной энергией.

ПРОНИКНОВЕНИЕ В МИР ПОЗИТРОНА

Отрицательные энергии могут приводить к любым неожиданностям. Чтобы остановить движущийся предмет, надо отнять у него часть энергии — тормоза в автомобиле превращают энергию движения машины в трение. Если бы у машины была отрицательная энергия, то при нажатии на педаль тормоза она ехала бы быстрее, а нажатие на педаль газа заставляло бы ее сбавлять скорость! Дираковские электроны с отрицательной энергией получили ироничное прозвище «ослиных электронов» — чем сильнее их подталкиваешь, тем медленнее они движутся.

Дирак сконялся к мысли, что полученные им решения с отрицательной энергией и положительным зарядом можно отождествить с другой известной в то время субатомной частицей — протоном. В таком случае его уравнение описывало бы весь субатомный мир, каким он представлялся в то время. В 1930 г. Дирак изложил эти соображения в журнале *Nature*. Это был один из тех редких случаев, когда он опубликовал ошибочную идею.

Однако протоны не обладают отрицательной энергией. Кроме того, если электрон переходит из состояния с отрицательной энергией в состояние с положительной энергией, его заряд не должен изменяться. Если же электрон превращается в протон, то ему каким-то образом придется дополнительно приобрести две единицы электрического заряда. Но как? Подобные головоломки одна за другой следовали из его теории. В ней обнаруживалось все больше изъянов, и Дирак ломал голову, пытаясь найти объяснение. Незванные отрицательные энергии надо было каким-то образом убрать с глаз долой.

Найденное Дираком решение было таким же гениальным, как и его уравнение. Дирак предположил, что в природе существует бесконечное число уровней с отрицательной энергией, однако в мире, в котором мы живем, они при нормальных условиях все заполнены до предела. Будучи заполненными, отрицательные уровни энергии ничем не обнаруживают своего существования, и мы их не замечаем. Однако электрон может покинуть уровень с отрицательной энергией, и тот оказывается вакантным. Незанятый уровень выглядит как нехватка отрицательной энергии и отрицательного заряда. Недостаток отрицательной энергии выглядит как положительная энергия, а нехватка отрицательного заряда — как положительный заряд. Своеобразное зеркальное отображение электрического заряда. Вакантные уровни энергии Дирак назвал *дырками*; этот термин пригодился,

когда спустя двадцать лет был изобретен транзистор. С помощью дырок Дираку удалось избавиться от назойливых отрицательных энергий и объяснить все решения своего уравнения.

Это можно сравнить с огромной подземной стоянкой, в которой все парковочные места, т. е. все уровни с отрицательной энергией, заняты. Будучи расположена в подземелье, эта гигантская парковка оказывается невидимой. Однако, если какая-нибудь машина выезжает со своего стояночного места наружу, она становится видимой. На стоянке при этом образуется одно вакантное место. Пока это место остается свободным, припаркованная в каком-либо другом месте машина может занять его, освободив место, где она стояла, и т. д. Свободное место как бы движется по рядам припаркованных машин. Подземных парковок в то время не было, и Дирак назвал неисчерпаемый источник отрицательных энергий «морем» электронов.

Все это означало, что вакуум больше нельзя было рассматривать как абсолютную пустоту, в которой ничего не происходит. В созданной Дираком картине вакуум представлял собой бездонную пропасть, заполненную частицами с отрицательной энергией и отрицательным зарядом. Все это было нелегко осознать, но, поскольку квантовая теория в то время развивалась только благодаря решительному отказу от традиционных представлений, нашлись смелые физики, готовые с удовольствием выбросить за борт еще одно.

Включить протоны в эту поэтическую картину оказалось не легким делом. Если бы электрон и протон были релятивистскими двойниками, то протон мог бы погрузиться в электронную дырку и аннигилировать с ней. Это вряд ли можно было увязать со стабильностью атома водорода, с его протонным ядром и единственным орбитальным электроном. Как отметил Роберт Оппенгеймер, из высказанных Дираком идей следовало, что атому водорода угрожает коллапс. Протоны и электроны поглощают друг друга в процессе аннигиляции частиц с дырками, и построенная из стабильных атомов материя прекратит свое существование. В электронно-протонной картине положительные и отрицательные составляющие атомной материи были совершенно несбалансированны. Каким образом электронная дырка может материализоваться в нечто в 2000 раз более тяжелое?

Немецкий математик Герман Вейль тонко чувствовал красоту и поэзию. В его занятиях математикой интуиция играла главенствующую роль. Новые перспективы теории относительности Эйнштейна привели его в физику. Его прекрасная книга *Space*,

Time and Matter («Пространство, время и материя»), вышедшая на английском языке в 1921 г., помогла другим ученым разобратся в новых сложных идеях. Затем Вейль перешел от теории относительности к квантовой механике. Опубликованная в 1930 г. классическая статья Вейля «Теория групп и квантовая механика» обеспечила этому революционному разделу физики прочный математический фундамент. В своей работе Вейль писал: «Из этой гипотезы вытекает эквивалентность положительного и отрицательного электричества при любых условиях».

Дирак получил это послание, и по истечении трех лет непрерывных попыток устранить нежелательные следствия своей теории он наконец сказал то, что все это время подсказывало ему его фундаментальное уравнение. В мае 1931 г. он предположил: «Дырки, если таковые существуют, представляют собой новый сорт частиц, которые обладают такой же массой, что и электрон, но несут противоположный заряд и пока неизвестны в экспериментальной физике». Эти слова, опубликованные в *Proceedings of the Royal Society* в сентябре того же года, провозгласили рождение современных представлений об антиматерии.

Предсказанию антиэлектрона предшествовали несколько лет сомнений. На этот раз Дирак решительно высказал предположение, что аналогичная двойственность должна иметь место и для другой известной в то время субатомной частицы — протона. «Я считаю возможным существование отрицательных протонов. Насколько можно судить, основываясь на имеющейся в настоящее время теории, существует абсолютная симметрия между положительными и отрицательными электрическими зарядами. Если эта симметрия является фундаментальной симметрией природы, то должны существовать «антиподы» по заряду у любого вида частиц», т. е. положительно заряженные антиэлектроны и отрицательно заряженные антипротоны. Это своего рода рецепт для устранения непонятной асимметрии строения атома. Путь к антиматерии был формально объявлен открытым.

НАСЛЕДИЕ ДИРАКА

Тем временем Дирак начинал создавать свой шедевр *The Principles of Quantum Mechanics* («Основы квантовой механики»). В ней он изложил собственное представление о принципиально новом предмете. В книге очень мало внимания уделяется истории науки; в ней нет иллюстраций, нет ссылок, нет непосредственного описания экспериментов. Первое издание новой кни-

ги Дирака было с энтузиазмом встречено теми, кто понимал значение этой работы, но, несмотря на это, читать ее всем было нелегко. Поняв, что был излишне претенциозным, Дирак полностью ее переработал. Второе издание, вышедшее в 1935 г. и по сей день остается классическим учебником для студентов, желающих всерьез заняться квантовой механикой. Страницы этой книги с запечатленными на них строками формул, в промежутках которых заботливо рассыпаны пояснения, сохранились в первозданном виде. Ясность, точность, лаконизм и неотразимая логика были личным клеймом Дирака. Многие ученые радуются, получая корректуры впопыхах написанных статей — это дает им шанс навести порядок в своих путаных мыслях. Такие статьи после авторской правки — сущий кошмар для редакторов. С Дираком все обстояло иначе. В его рукописях практически никогда не было ошибок или исправлений. Получая корректуру, Дирак ограничивался исправлением типографских ошибок. Об этом мечтают многие издатели, но чаще всего — впустую. Когда Дирака однажды спросили об этом навыке, он ответил: «Моя мать имела обыкновение говорить: — Сначала думай, а потом пиши».

Размышления — то, что удавалось Дираку лучше всего, и он знал об этом. Однако размышления требуют времени, поэтому Дирак не тратил попусту время на другие вещи. Оппенгеймер однажды предложил одолжить Дираку несколько книг, чтобы тому было что почитать во время длительного плавания из Калифорнии в Японию. Дирак отклонил это предложение, сказав, что чтение мешает думать. В другой раз Оппенгеймер организовал в Калифорнии встречу Дирака с двумя учеными, пытающимися разработать новую квантовую теорию излучения. После того как они объяснили суть своей работы, последовало продолжительное молчание. В конце концов Дирак задал вопрос: «Где тут почта?». Ученые предложили проводить Дирака до нее при условии, что он выскажет мнение об их работе по пути. «Я не в состоянии делать два дела одновременно», — ответил он.

Постепенно Дираку начали оказывать почести. В 1930 г. он стал членом престижного Лондонского Королевского общества. Это означало, что Дирак теперь мог публиковаться в журнале *Proceedings of the Royal Society*, не обращаясь к Фаулеру за помощью. В 1933 г. он разделил Нобелевскую премию по физике с Эрвином Шредингером, создателем волновой механики. Поначалу Дирак не хотел принимать эту награду, поскольку опасался известности. Однако Эрнест Резерфорд убедил Дирака, что отказ

от Нобелевской премии принесет ему гораздо большую известность, чем ее принятие. Он внял совету Резерфорда, но старался вести себя как можно незаметнее. В лондонской газете *Sunday Dispatch* под заголовком «Гений, который боится женщин» о Дираке писалось, что он «пуглив, как газель».

Однако в академической обстановке ему не удавалось скрываться. В американских университетах Дираку предлагались выгодные профессорские должности, но он предпочел остаться в Кембридже, понимая, что в 1932 г. Джозеф Лармор оставит так называемую лукасианскую кафедру математики — престижное место, которое в свое время более 30 лет занимал Исаак Ньютон. Дирак возглавлял эту кафедру в течение 37 лет. Его преемником стал выдающийся математик и специалист по гидродинамике Джеймс Лайтхилл, сменивший в 1980 г. Стивенем Хокингом.

После ухода с кафедры Дирак принял приглашение университета штата Флорида в Таллахасси. Длительные прогулки продолжали занимать важное место в его расписании до тех пор, пока не начало отказывать здоровье. Все свою жизнь он был настоящим ученым и всегда внушал уважение. Каждый раз, когда Дирак что-либо говорил или посылал в печать, к этому стоило прислушиваться. Но говорил он только о науке. Лауреат Нобелевской премии, живущий в эру атомной бомбы, должен был бы знать о существовании популярной аудитории. Но не Дирак. Он всю жизнь писал только о физике. Молчаливость стала его второй натурой. Он с пренебрежением относился к религии, как ничего общего не имеющей с наукой. Вольфганг Паули так сформулировал отношение Дирака к религии: «Бога нет, а Дирак — пророк его».

Дирак похоронен в Таллахасси, штат Флорида. Помимо памятника в Вестминстерском аббатстве в Лондоне есть небольшая сады, разбитый в память о нем в Сен-Морисе, кантон Вале, Швейцария, близ дома, который отец Дирака навсегда покинул в 1866 г.

В начале 20-х годов Калифорнийский технологический институт (Калтех) в Пасадене не входил в университетскую Лигу и был практически неизвестен в академических кругах. Однако расположенная недалеко от Калтеха апельсиновая роща и средневековая архитектура его зданий выглядели привлекательными для приехавшего с востока молодого ученого. Карл Андерсон, выходец из Нью-Йорка, отправился в возрасте 18 лет учиться в Калифорнию. Сознание этого талантливого молодого человека не затуманивалось устаревшими идеями и было ориентировано на исследование космических лучей — загадочных частиц, обрушивающихся на земную атмосферу из открытого космоса.

В конце девятнадцатого столетия ученые открыли радиоактивность — невидимое излучение, испускаемое некоторыми веществами, в том числе ураном. Подобно физикам начала девятнадцатого века, пренебрегавшим риском при обращении с неизвестными веществами, ученые конца девятнадцатого и начала двадцатых веков, например Мария Кюри, не вполне осознавали опасность, исходящую от этого излучения, которое разрушает попадающие ему на пути атомы, в том числе атомы их тел. Мария Кюри умерла от лейкемии, вызванной большими дозами облучения радием. Не придавая значения тому, что происходило в их собственных телах, первые исследователи радиоактивности обнаружили, что она приводит к выбиванию электронов из атомов окружающего источник воздуха и делает его слегка проводящим. Поскольку счетчик Гейгера оставался пока предметом будущего, наведенная проводимость исследовалась с помощью грубого прибора, называемого электроскопом, — приобретая электрический заряд, два золотых лепестка отталкивались друг от друга подобно газетным страницам на ветру. Если заряженный электроскоп помещали в газ с наведенной проводимостью, то заряд стекал, и раскрытые лепестки медленно спадали. Сравнивая

скорость спадания лепестков в различных газах, физики могли оценить степень электропроводности. Воздух всегда обладает небольшой электропроводностью, которая, по их мнению, была обусловлена естественной радиоактивностью Земли.

В 1910 г. иезуитский монах по имени Теодор Вульф поднял электроскоп на вершину Эйфелевой башни в Париже и обнаружил, что электропроводность воздуха там была выше, чем у поверхности земли. Впоследствии австрийский физик Виктор Гесс поднимал электроскоп на воздушном шаре и выяснил, что проводимость и дальше растет с высотой. На высоте 5300 метров она была вдвое больше, чем у поверхности земли. Стало ясно, что проводимость воздуха обусловлена не радиоактивностью Земли. Источник радиоактивности находился совсем в другом месте — в космосе, и ее поток постепенно ослаблялся в атмосфере. В 1925 г. Роберт Милликен, получивший Нобелевскую премию по физике 1923 г. за свой классический эксперимент по измерению заряда электрона (он стал первым из американцев удостоенным Нобелевской премии), предложил назвать это внеземное излучение *космическими лучами*.

Для выяснения природы этих загадочных космических лучей грубого электроскопа было недостаточно. В 20-х годах в кембриджской лаборатории Резерфорда использовался новый прибор — *камера Вильсона**, позволяющая визуально наблюдать треки частиц, которые иначе оставались бы невидимыми. Камера Вильсона, по существу, представляла собой стеклянный цилиндр, снабженный поршнем и заполненный водяным паром. Когда поршень выдвигается, водяной пар в камере охлаждается вследствие расширения и становится перенасыщенным. Время чувствительности камеры невелико и составляет около четверти секунды; если в этот момент через камеру пролетает заряженная частица, то вдоль ее траектории образуется проводящий шлейф, вокруг которого начинает конденсироваться пар и образуется видимый след — миниатюрный аналог следа, оставляемого в небе высоко летящими самолетами. С использованием камеры Вильсона в лаборатории Резерфорда впервые было получено зримое свидетельство субъядерных превращений, в которых частицы из радиоактивного источника, налетая на атомные ядра, расщепляли их.

* Чарльз Вильсон (1869–1959) — английский физик, член Лондонского Королевского общества (1900), профессор Кембриджского университета (1925), лауреат Нобелевской премии (1927) за изобретение прибора, названного в его честь камерой Вильсона (1912). — *Прим. перев.*

Взглянув зимним утром из окна на свежавывапавший снег, можно сразу же определить, где прыгала птица, брела бездомная кошка или прошел почтальон. Точно так же камера Вильсона регистрирует треки, которые выдают присутствие всех субатомных визитеров.

ПОЛОЖИТЕЛЬНЫЕ ЧАСТИЦЫ ЛЕЯТ ВВЕРХ ИЛИ ОТРИЦАТЕЛЬНЫЕ – ВНИЗ?

В 1930 г. 25-летний Карл Андерсон из Калтеха планировал закончить свою исследовательскую работу. В последнем эксперименте в Калтехе он собирался исследовать с помощью камеры Вильсона излучение радиоактивного источника. Чтобы облегчить анализ запутанных треков, оставляемых в камере пролетающими через нее частицами, он использовал магнит. Если частица обладает электрическим зарядом, то она ведет себя как крошечная порция электрического тока и отклоняется магнитом. В оснащенной магнитом камере Вильсона треки частиц выглядят как красивые завитки и спирали. Кривизна треков зависит от величины электрического заряда и скорости частицы. Знак заряда определяет направление, в котором частица будет двигаться — положительные частицы отклоняются в одну сторону, а отрицательные — в другую, скорость же частицы определяет величину этого отклонения. Чем быстрее движется влетающая в камеру частица, тем «неохотнее» она отклоняется и тем меньше искривляется ее траектория. Напротив, медленные частицы сильнее захватываются магнитным полем и движутся по более изогнутым траекториям.

Другим ключом к разгадке природы частиц служит плотность их следа в камере. Легкая частица вроде электрона подобно маленькой птичке, прыгающей по снегу, быстро пролетает сквозь камеру, редко сталкиваясь на своем пути с атомами и оставляя лишь легкий пунктирный след. Напротив, тяжелая частица вроде протона постоянно врывается в атомы, ионизирует их и оставляет гораздо более глубокую борозду. Случается, что тяжелые частицы типа протона даже тормозятся до полной остановки. Андерсон использовал ториевый источник, и треки электронов, которые он сначала увидел, были крайне слабыми, так как частицы двигались очень быстро. Андерсон пал духом и добавил к воде в камере немного алкоголя. Благодаря более плотным парам треки стали более заметными и их легче было фотографировать!



Рис. 5.1. Карл Андерсон (© Нобелевский фонд). Он первым идентифицировал античастицу.

Работами Андерсона руководил первопроходец в области космических лучей Милликен. Милликен посоветовал Андерсону сконструировать камеру с максимально возможным по тем временам магнитным полем, которое примерно в 100 000 раз превосходило естественное магнитное поле Земли. В результате развития в Калифорнии авиационной индустрии в Калтехе было создано отделение авиатехники. Чтобы обеспечить работу нового большого электромагнита, 450-киловаттный генератор, обеспечивавший работу аэродинамической трубы авиатехнического отделения Калтеха, был переделан в 600-киловаттный. Для отвода тепла, выделявшегося при прохождении электрического тока, этот магнит имел водяное охлаждение.

Начав исследование треков с помощью своей новой камеры, Андерсон сразу столкнулся с тем, что множество типичных для электронов тонких треков закручивалось, похоже, не в том направлении. Отрицательно заряженные частицы типа электронов, двигаясь в определенном направлении в магнитном поле, должны отклоняться в определенную сторону. Пролетающие в том же направлении положительно заряженные частицы должны отклоняться в противоположную сторону. Закрученные в этом направлении траектории могли принадлежать протонам, однако тяжелые частицы образуют гораздо более плотные следы, чем те, что наблюдал Андерсон. В своем предыдущем эксперименте Андерсон уже видел множество электронных треков и был уверен, что

закрученные в противоположном направлении траектории походили скорее на электронные, чем на протонные.

Одно из возможных объяснений состояло в том, что закрученные в этом направлении треки могли принадлежать летящим вверх по отношению к Земле электронам, а не положительно заряженным частицам, падающим с неба вниз. Электроны, движущиеся в одном и том же магнитном поле вверх и вниз, будут отклоняться в противоположных направлениях. Некоторые исследователи уже сообщали об электронах, движущихся вверх, отождествляя их с электронами отдачи, которые возникают при столкновении космических лучей с атомами воздуха вблизи поверхности Земли. Однако в камере Андерсона их было слишком много для того, чтобы отождествлять их с электронами отдачи, летящими снизу. Другая возможность состояла в том, что это были похожие на электрон частицы с положительным зарядом, летящие сверху.

Милликен уехал в Европу читать лекции. Андерсон послал ему одиннадцать лучших фотографий, сделанных им в камере Вильсона. Милликен с энтузиазмом демонстрировал эти фотографии, заявляя, что закрученные в противоположную сторону треки отвечали протонам. Однако европейские ученые имели больший опыт в анализе снимков с камеры Вильсона и не соглашались с Миллиkenом, говоря ему, что для протонов треки были слишком слабыми. «Это треки, отвечающие электронам», — возражали они.

По возвращении Милликена из Европы Андерсон первоначально выдвинул гипотезу, в соответствии с которой закрученные в противоположную сторону треки были обусловлены движущимися вверх электронами. Милликен же настаивал на том, что космические лучи падают сверху вниз, а не наоборот, и необъяснимые треки должны принадлежать протонам. Между тем Андерсон провел тщательные измерения плотности треков и убедился в том, что такое объяснение неверно. Милликен, однако, занимал профессионально более высокое положение, и поэтому в публикуемых им совместно с Андерсоном статьях по-прежнему утверждалось, что закрученные в обратную сторону треки принадлежали протонам. Милликен рассматривал этот факт как повод выдвинуть собственные соображения о природе космических лучей. В них не было места для положительно заряженных легких новых частиц.

Итак, протоны, летящие вверх электроны или летящие вниз положительные частицы? Между Андерсоном и Миллиkenом



Рис. 5.2. Позитронный трек (Музей науки). Четко виден антиэлектрон (позитрон). На этом снимке с камеры Вильсона 1932 года изображен трек подобной электрону частицы космических лучей, которая проходит через свинцовую пластинку в середине камеры и теряет при этом часть энергии. Трек изгибается в магнитном поле, и увеличение кривизны снизу от пластинки показывает, что частица движется сверху. Направление, в котором изгибается трек, показывает, что частица несет положительный электрический заряд, т. е. противоположный заряду обычного электрона. До того как пришла мысль поместить в камеру свинцовую пластинку, было неясно, отвечают ли эти треки летящим вниз положительным частицам или летящим вверх отрицательным.

разгорелся спор. Для решения вопроса Андерсон предложил перегородить камеру посередине тонкой свинцовой пластинкой. Если частицы движутся сверху, то, проходя сквозь свинец, они потеряют часть энергии и будут двигаться в нижней части камеры медленнее, а следовательно, будут сильнее отклоняться магнитным полем. И наоборот, частицы, летящие снизу, будут двигаться медленнее в верхней части камеры. Сравнивая кривизну треков в нижней и верхней частях камеры, Андерсон смог бы с уверенностью сказать, в каком направлении движутся частицы.

Первым делом Андерсон обнаружил пролетевшую снизу вверх похожую на электрон частицу с положительным зарядом. Андерсон был сбит с толку такой двойной аномалией, вызванной случайной частицей космических лучей, которая в результате столкновения с атомом воздуха под камерой отклонилась в обратном направлении. Однако он продолжил настойчивые поиски и вскоре обнаружил, что почти все положительно заряженные частицы движутся сверху вниз (рис. 5.2).

Тем временем уже поползли слухи о новом открытии Андерсона. В декабре 1931 г. в журнале *Science News Letter* был опубликован снимок одного «неправильно» искривленного трека. Редактор этого журнала призывал Андерсона назвать странную положительно заряженную частицу позитроном, и в конце концов выбор пал на это название. Андерсон готов был согласиться с тем, что отклонение треков в противоположном направлении отвечало какой-то новой частице, но не понимал, какой именно. Андерсон краем уха слышал о работе Дирака, но, находясь в Калтехе, он не понимал ее смысла и не знал, что антиэлектрон уже был предсказан этой новой теорией. В сентябре 1932 г. Андерсон пренебрег возражениями Милликена и опубликовал заметку, в которой заявлял об открытии им положительно заряженной частицы с массой, гораздо меньшей, чем у протона. Этот отважный шаг мог поставить крест на его карьере. К счастью, Андерсон оказался прав, однако он не указал на непосредственную связь этой частицы с электроном. Андерсон мог лишь предположить, что эти новые частицы возникали при столкновении космических лучей с ядрами атомов воздуха.

ЕВРОПЕЙСКИЕ ПАРЫ

Европа знала об Андерсоне больше, чем Андерсон о Европе. Новые виды треков интенсивно обсуждались в Европе. Не оказался ли этот позитрон дираковским антиэлектроном? Было очень заманчиво сделать подобное заключение, однако в физике каждый такой вывод должен иметь подтверждение. Откуда берутся позитроны? Согласно дираковской теории дырок, электрон может родиться в паре с имеющим положительную энергию антиэлектроном, если порция излучения поглощается невидимым «морем» отрицательных энергий вакуума и выбивает при этом из него электрон, оставляя там дырку. Рождение позитрона всегда происходит в паре с партнером — электроном.

Возглавляемая в те годы Эрнестом Резерфордом Кавендишская лаборатория Кембриджского университета являлась мировым центром субъядерной физики. Под руководством Резерфорда в Кембридже был сделан целый ряд открытий талантливыми учеными — Патриком Блэккетом, Джеймсом Чэдвиком, Джоном Кокрофтом, каждый из которых впоследствии был удостоен Нобелевской премии. Попутно разрабатывались новые методы, в частности была усовершенствована камера Вильсона. Не принося таланта этих ученых, следует признать, что исследования в Кавендишской лаборатории целиком и полностью зависели от вездесущего Резерфорда.

Несмотря на близкое соседство, работы в лаборатории Резерфорда почти не соприкасались с дираковским миром математических формул и эзотерических идей. Резерфорд считал, что его эксперименты прокладывают путь вперед — все, что в них открывалось, должно было объясняться теоретиками. Если и возникали какие-либо идеи, которые следовало проверить экспериментально, то все они принадлежали самому Резерфорду и были выражены в незатейливых уравнениях, далеких от абстрактной математики Дирака. На Сольвейском конгрессе 1933 г. в Брюсселе во время обсуждения открытия позитрона Резерфорд сказал: «До некоторой степени жаль, что мы располагали теорией положительного электрона до эксперимента... Я был бы удовлетворен в большей степени, если бы теория появилась после установления экспериментальных фактов!». Карьера Резерфорда, которому уже исполнилось 62 года, клонилась к закату. Когда-то его безыскусная логика помогла постичь строение атома, но не более того. Эстафетная палочка физических открытий перешла к следующему поколению, профессионально владеющему математикой.

Тем не менее в школе Резерфорда умели ставить эксперименты лучше, чем где-либо в другом месте. Одним из сотрудников Резерфорда был Патрик Блэккет. Он собирался стать морским офицером. Во время Первой мировой войны Блэккет служил артиллеристом и принимал участие в морском сражении у полуострова Ютландия. В 1919 г. 400 флотских офицеров были направлены в Кембридж на шесть месяцев для повышения квалификации. Это настолько понравилось лейтенанту Блэккету, что он ушел в отставку и начал новую карьеру в качестве физика. С помощью камеры Вильсона Блэккет сделал первые снимки расщепления атомного ядра. Камера Вильсона облучалась естественно-радиоактивными элементами; ее клапан беспрерывно ра-

ботал в течение долгого времени, обеспечивая тысячи циклов расширения. В большинстве случаев на полученных снимках ничего не было. Современный физик сказал бы, что «события» (когда под действием радиоактивных излучений в камере что-то происходит) были очень редкими. Чтобы обнаружить эти «события», требовалось старательно и внимательно просмотреть полученные на камере снимки. Найти на снимке субъядерное столкновение было непросто, поскольку треки космических лучей присутствовали лишь в нескольких процентах полученных на камере снимков.

В 1931 г. в Кавендишскую лабораторию приехал работать итальянский физик Джузеппе («Беппо») Оккиалини. Оккиалини был специалистом по счетчикам Гейгера. Как и в электроскопах, в этих счетчиках используется проводимость газа, возникающая под действием радиоактивных излучений. Однако счетчики Гейгера снабжены высоковольтными электродами, и проводимость газа приводит к появлению в них электрического импульса. Эти импульсы позволяют точно измерять уровень радиоактивности, и обычно они слышны как характерное пощелкивание. Поначалу Блэкетт скептически относился к этим новым приборам. «Чтобы заставить его работать, нужно поплевать на проводник в пятницу на Страстной неделе», — едко заметил он. Вскоре скептицизм рассеялся. Специалисты разработали электронную схему, позволившую соединить два расположенных один над другим счетчика, что давало возможность регистрировать пролет одной и той же частицы через оба счетчика. Если поместить камеру Вильсона между двумя такими счетчиками и использовать *схему совпадений*, то камеру можно будет запускать при одновременном срабатывании счетчиков, т. е. когда частица пролетела через оба счетчика и, следовательно, через камеру. В этих условиях снимки на камере получались гораздо более избирательными. В самом начале лета 1932 г. уже 80% снимков содержали следы космических частиц. Блэкетт и Оккиалини были так воодушевлены своим успехом, что поначалу не заметили несколько электронных треков, которые в магнитном поле камеры заворачивались в неправильную сторону.

Блэкетт рассказал Дираку об этих треках, однако Дирак не настаивал на своей гипотезе антиэлектронов, и Блэкетт не воспринял его теорию всерьез. Только узнав об открытии Андерсона, Блэкетт и Оккиалини поняли, что у них была «целая куча» позитронов. Они также наблюдали то, что не знакомый с дираковской теорией Андерсон даже и не думал искать — V-образные пары

треков, закручивающихся в противоположных направлениях. То были электрон-позитронные пары, возникавшие, когда квант излучения вырывал из моря отрицательных энергий электрон, переводя его в состояние с положительной энергией, а оставшаяся после электрона дырка представляла собой позитрон. Будучи менее сдержанным, чем его британские коллеги, Оккиалини немедленно понесся с этой новостью домой к Резерфорду и даже расцеловал ошеломленную служанку, когда та открыла ему дверь!

К концу осени 1932 г. Оккиалини и Блэккетт собрали около 700 снимков космических лучей, сделанных на камере Вильсона. Их также поразило число частиц, возникавших в столкновениях с космическими лучами, — примерно два десятка событий, в которых частицы вылетали из одной точки, причем половина частиц была заряжена положительно, а другая половина — отрицательно. Измерив плотность треков и пробег, ученые решили, что массы положительно заряженных частиц мало отличались от массы отрицательного электрона. Поскольку положительно заряженные электроны в обычных условиях отсутствуют, а число рождавшихся положительных и отрицательных электронов было одинаковым, Блэккетт и Оккиалини заключили, что отрицательно-положительные электронные пары возникали благодаря космическому излучению с высокой энергией, взаимодействующему с ядрами атомов в камере Вильсона. Из уравнения Эйнштейна $E = mc^2$ следует, что необходимая для возникновения такой пары энергия равна удвоенной массе электрона (позитрона). Это впервые демонстрировало превращение излучения в вещество.

В лондонскую редакцию журнала *Proceedings of the Royal Society* эта статья пришла 7 февраля 1933 г. Между тем Андерсон понял, что охота за положительными электронами началась, и поспешил с написанием своей последней статьи. Его статья «Положительный электрон» попала в нью-йоркскую редакцию *Physical Review* 28 февраля. Блэккетту и Оккиалини помогала близость Дирака. Андерсон потерял время, пытаясь убедить Милликена. К счастью, он предусмотрительно опубликовал свои предварительные результаты в 1932 г. Роберт Милликен в конце концов поверил в позитрон и выдвинул свою идею о том, что позитроны якобы являются основной компонентой космических лучей. В своей 300-страничной автобиографии Милликен почти не ссылается на Карла Андерсона.

В 1934 г. в Париже Фредерик Жолио и Ирэн Кюри (дочь Марии и Пьера Кюри) открыли новые радиоактивные материалы,



Рис. 5.3. Патрик Блэкетт (фото ЦЕРНа). Блэкетт и Джузеппе Оккиалини впервые наблюдали рождение электрон-позитронных пар.

излучавшие отдельные позитроны. Античастицы не только падали с неба. Позитроны образуются также в недрах Солнца и других звезд, чьи термоядерные очаги воспламенились благодаря редким ядерным превращениям. Сталкиваясь друг с другом на протяжении миллиардов лет, протоны наконец преодолевают взаимное электрическое отталкивание и соединяются, испустив при этом позитрон и образуя более тяжелое ядро с единичным положительным зарядом.

Спустя некоторое время Андерсон заметил: «Проницательный ученый, если бы в его распоряжении была хорошо оборудованная лаборатория и он принимал дираковскую теорию буквально, смог бы открыть позитрон за один день». Но в теории Дирака было так много новых идей, что экспериментаторы еще не успели к ним привыкнуть. С другой стороны, теоретики были слишком поглощены попытками осознать новые идеи, чтобы правильно сформулировать экспериментальную задачу перед

своими коллегами. По иронии судьбы Дирак, крестный отец позитрона, работал в буквальном смысле по соседству с ведущей мировой лабораторией субъядерных проблем, и, несмотря на это, позитрон был открыт в Калифорнии.

В 1936 г. 53-летний Виктор Гесс и 31-летний Карл Андерсон разделили Нобелевскую премию по физике. Первому она была вручена за пионерские работы по космическим лучам, а второму — за открытие в космических лучах позитрона. Блэккет получил Нобелевскую премию по физике 1948 года за работы с камерой Вильсона.

«Беппо» внес вклад в целый ряд научных открытий, однако в 1960 г. он покинул физику элементарных частиц, заинтересовавшись проведением физических экспериментов в космосе. Оккиалини умер в 1993 г. Названный в его честь итальяно-голландский спутник ВерроSAX был выведен на орбиту в 1996 г. для изучения космического рентгеновского излучения за пределами земной атмосферы. На протяжении последних тридцати лет физики не могут решить загадку *рентгеновских барстеров* — мощных вспышек излучения, приходящего со всех направлений, несущего огромную энергию и длящегося всего несколько секунд. В 1997 г. ВерроSAX смог зафиксировать излучение от одной из таких вспышек и идентифицировал ее с ранее невидимым рентгеновским источником в созвездии Ориона. Впервые один из загадочных рентгеновских барстеров был идентифицирован со звездой.

Чего я действительно пытаюсь добиться, так это внести ясность в смутные представления о природе вещей. Вместо четкой картины я вижу лишь отдельные беспорядочные мазки и пятна. И даже теперь, когда я вооружен формулами и мне ясны взаимосвязи, я воспринимаю все это как если бы дело шло о куче всякой всячины, которую я пытаюсь упорядочить и пустить в дело». Так Ричард Фейнман — виртуозный математик, физический гений, любитель пошутить и поиграть на бонго и наконец Нобелевский лауреат — объяснил то, как он интуитивно воспринимает поведение электрона. В новой картине, предложенной Фейнманом, нашлось естественное место для позитрона, поскольку в ней учитывалось не только то, что происходило с электронами в прошлом, но и то, что могло с ними случиться в будущем. Физики могли больше не пользоваться абстрактными понятиями вакансий и дырок.

Неумная интуиция Фейнмана расцвела на почве, тщательно культивировавшейся предшествующими поколениями ученых с большим усердием, но не столь искрометной фантазией. Классические уравнения Максвелла продемонстрировали, что сущность электромагнитных явлений составлял колебательный процесс — электромагнитные волны, распространяющиеся со скоростью света. Понимание природы электрона прежде всего означало понимание природы этого излучения, поскольку оно является средством взаимосвязи всех заряженных частиц. Без излучения существование электрических зарядов становится бессмысленным подобно аэропорту без самолетов.

АТОМНЫЕ ОСЦИЛЛЯТОРЫ

В конце девятнадцатого века физики пытались объяснить механизм испускания нагретыми телами электромагнитного излучения в форме тепла и света. Если тело нагревается, то его атомные осцилляторы начинают колебаться быстрее и ведут себя

подобно крошечным дипольным антеннам, излучающим электромагнитные волны. По мере нагревания сначала тела становятся просто горячими, затем накаляются докрасна, потом начинают светиться оранжевым светом и наконец раскаляются добела. Физики обнаружили, что излучение нагретых тел определяется исключительно их температурой и не зависит от материала, из которого они изготовлены. Чтобы понять сущность атомных осцилляторов, надо было научиться предсказывать спектр этого излучения (т. е. соотношения составляющих с разными длинами волн): сколько в нем теплового, светового, инфракрасного, ультрафиолетового излучений. С повышением температуры возникает излучение с меньшей длиной волны — свету отвечают более короткие волны, чем теплу. Предложенная физиками модель атомных осцилляторов приводила к спектру, который соответствовал наблюдаемому всюду, за исключением одной области. Из уравнений следовало, что очень сильно нагретые тела будут испускать бесконечно много коротковолнового излучения — ультрафиолета. Очевидно, что этот вывод был ошибочным. Ничто не может быть неисчерпаемым источником излучения.

Когда физические уравнения предсказывают что-то, как в случае дираковского отрицательного квадратного корня, к этому стоит прислушаться. Но если уравнения приводят к бесконечно большим величинам, то обычно это означает, что их срок годности истек и что основные положения теории следует пересмотреть. Хотя такие уравнения, строго говоря, неверны, это вовсе не означает, что от них надо отказываться. Такие уравнения по-прежнему полезны в той области, где они приводят к правильным результатам. Если дома сухо и тепло, то можно не придавать значения тому, что за окном дождь.

В 1900 г. в Берлине Макс Планк искал способ избежать появления ультрафиолетовых «ливней», предсказанных уравнениями новой теории излучения. Чтобы привести в соответствие частотный спектр излучения с экспериментально наблюдаемым, Планк предположил, что энергия колебаний атомных осцилляторов распределена не равномерно по всем частотам ν , но подчиняется закону $E = h\nu$, где h — некоторое число, называемое *постоянной Планка*. Поскольку длина волны обратно пропорциональна частоте, это уравнение можно записать в виде $E = hc/\lambda$, где c — скорость света, а λ — длина волны излучения.

Похоже, что этот рецепт сработал. Высокотемпературные расходимости исчезли, и частотный спектр точно совпал с на-

блюдаемым в эксперименте. Получив новый частотный спектр, Планк открыл новые горизонты в физике. Соотношение $E = h\nu$ означало, что поток энергии не был непрерывным, как река, но дробился на отдельные капельки. Атомные осцилляторы испускают излучение дискретными порциями подобно лампе-мигалке. Планк назвал эти порции излучения *квантами* от латинского quantum — сколько. Величина кванта обратно пропорциональна длине волны излучения. Чем больше длина волны, тем меньше кванты излучения и тем труднее их заметить. Длинноволновое излучение, например, радиоволны можно приблизительно считать непрерывным потоком. Однако при уменьшении длины волны эти порции будут обладать большей энергией, поэтому ультрафиолетовое излучение оказывается более дискретным. На самом деле в то время Планк не думал, что кванты являются частью физической реальности. Он полагал, что они были просто математическим трюком, позволившим поставить все на свое место.

Квантование излучения похоже на разлив жидкостей. Минеральную воду продают в больших бутылках. Некоторые жидкости вроде духов стоят дороже и продаются в маленьких пузырьках. Новый рецепт Планка преподнес неожиданные сюрпризы. Под воздействием света некоторые вещества испускают электроны. Если бы свет был непрерывным потоком излучения, то увеличение освещенности приводило бы к увеличению энергии электронов. Однако в этом *фотоэлектрическом эффекте* энергия испускаемых электронов зависит от длины волны света, а не от его интенсивности. С точки зрения вещества свет имеет настолько зернистую структуру, что лучше говорить об отдельных квантах света как о частицах — *фотонах*. Каждый фотон выбивает из светочувствительного материала по одному электрону, энергия которого зависит от энергии фотона.

Понимание квантовой природы излучения пришло по мере развития квантовой теории в начале двадцатого века, когда выяснилось, что электроны в атомах ведут себя подобно лифтам в зданиях — они останавливаются только на уровнях этажей, но не между ними. Переходя с одного энергетического уровня на другой, электрон испускает или поглощает квант излучения. Этот процесс зависит от того, переходит ли электрон на более высокий или более низкий энергетический уровень, и от расстояния между этими уровнями. Поскольку положение уровней фиксировано, то в соответствии с уравнением Планка фиксированными будут и длины волн излучаемых фотонов. Свет, излучаемый атомами вещества, при прохождении через призму образует

спектральные линии, которые являются индивидуальной характеристикой данного вещества. Эта картина была окончательно доработана в середине 20-х годов, когда созданная Шредингером, Гейзенбергом и Дираком квантовая механика позволила рассчитать уровни энергии электрона в атоме.

Знаменитое уравнение Дирака давало почти безупречное описание электрона, и физики наконец поняли, почему атом испускает излучение дискретными порциями. Однако Дираку не удалось объяснить, почему величина любого заряда всегда оказывается кратной величине заряда электрона. Созданная Дираком картина была статична, и в ней говорилось о том, каким образом электроны должны уживаться с ядрами. Электрон является электрически заряженным осциллятором, ответственным за электромагнитное излучение. Из уравнения Дирака неясно, что произойдет, если электрону внезапно будет передан импульс. Какое количество излучения он при этом испустит? А если излучение падает на электрон, то сколько он поглощает? Физики осознавали электрон как частицу, но не как осциллятор. В 1929 г. Гейзенберг отметил, что электрон стал для квантовой механики тем же, чем световой квант Планка был для электродинамики Максвелла.

Первые попытки описания взаимодействия электронов с излучением (квантовая электродинамика) были предприняты в Германии в 1926 г. Паскуалем Иорданом. Чтобы выйти из затруднительного положения, физики любят делать как можно больше упрощающих допущений. На такой «игрушечной» модели они могут постепенно опробовать новые идеи. Если такая модель не работает, ее просто отбрасывают. Если же она работоспособна, то ее можно усовершенствовать. В модели Иордана вещество представлялось в виде решетки; в ее узлах находятся заряженные частицы, которые начинают осциллировать при облучении подобно пружинкам, получившим встряску. Эти дребезжащие электрические пружинки вызывали колебания, с которыми Иордан справился, предположив, что они подобны колебаниям закрепленной на обоих концах струны и поэтому могут совершаться только на определенных частотах. Такая интерпретация квантовой электродинамики была подобна неказистому биплану братьев Райт*, однако подобно ему она была способна временами отрываться от земли и пролетать короткие расстояния. Создан-

* В 1903 г. братья Уилбер и Орвилл Райт первыми в мире совершили полет продолжительностью 59 секунд на сконструированном ими самолете с двигателем внутреннего сгорания. — *Прим. перев.*

ная Иорданом грубая картина была облагорожена Дираком, который переписал ее в терминах электрона и навсегда избавил ученых от необходимости рассматривать колебания струн.

Из классических уравнений Максвелла следовало, что в основе электромагнетизма лежат волны, распространяющиеся со скоростью света. Скорость света играет ключевую роль в теории относительности. Поэтому при описании взаимодействия электромагнитного излучения с веществом обязательно должна была возникнуть теория относительности. В 1926 г. Иордан и Паули создали «игрушечную» модель электромагнетизма, которая была релятивистской, однако не содержала электрических зарядов.

Уравнение Дирака для электрона впервые позволило убедительно увязать между собой квантовую механику и теорию относительности. Однако первая попытка Дирака приспособить свое уравнение для задач квантовой электродинамики была весьма неуклюжей — он просто добавил в свое уравнение стандартные электромагнитные члены *à la Максвелл*. Это было подобно установке «квантового» реактивного двигателя на «электромагнитный» биплан. Летать он мог, но в непредсказуемом направлении.

КАК ИЗБАВИТЬСЯ ОТ БЕСКОНЕЧНОСТИ

В 1929 г. образовался могучий дуэт — Гейзенберг и Паули, объединившие свои усилия для квантовой формулировки электромагнитных явлений. Они пошли путем, который проложил Дирак при выводе своего уравнения, и сначала занялись чисто математическими проблемами, экспериментируя с различными составными частями уравнения, чтобы понять, какие из них им понадобятся. В доквантовых представлениях электрон всегда рассматривался в виде крошечной сферы с размazanым по ее поверхности зарядом. В рамках квантовой картины радиусу электрона уже не было места, поскольку в противном случае пришлось бы описывать, что происходит внутри него. Электрон должен был быть бесконечно малым, точкой с нулевыми размерами, но тем не менее должен иметь массу, равную примерно $1/2000$ массы атома водорода, нести отрицательный электрический заряд и вращаться вокруг собственной оси.

Гейзенберг и Паули столкнулись с тем, что размер электрона в расчетах появлялся в знаменателе. Что бы ни делилось на нуль, получается бесконечность. Как ученые ни старались, их уравнение упорно продолжало давать бесконечные результаты из-за взаимодействия электрона с самим собой, что заводило расчеты

в тупик. Это напоминало предпринятые в конце девятнадцатого столетия попытки описать электрон как частицу, электрическая энергия которой обратно пропорциональна ее радиусу. Частица не может быть бесконечно малой, поскольку в этом случае ее электрическая энергия становится бесконечно большой. Одноименные заряды отталкиваются. Согласно доквантовым представлениям «части» электрического заряда внутри электрона должны испытывать тем более сильное взаимное отталкивание, чем меньше его размер. В 1906 г. французский математик Анри Пуанкаре даже выдвинул гипотезу, согласно которой внутри электрона действуют силы сцепления, уравнивающие это отталкивание. Дирак отверг все эти доводы, заявив, что «электрон — слишком простая вещь, чтобы возникали вопросы о законах, управляющих его внутренней структурой».

Первопроходцы квантовой электродинамики просто отбрасывали досадные бесконечности и как ни в чем не бывало шли дальше. Как ни удивительно, но оставшаяся после этого часть уравнения все равно работала! Еще больше бесконечностей возникало из-за взаимодействия с дираковским бесконечным «морем» электронов с отрицательной энергией. Эти бесконечности тоже отбрасывались, однако уравнения по-прежнему работали как часы. Все эти бесконечности можно отсортировать в соответствии с тем, сколько нулей возникает в их знаменателях. Чем больше нулей оказывается в знаменателе, тем быстрее «взрывается» уравнение и тем скорее следует избавиться от этой бесконечности. «Аэроплан» квантовой электродинамики имел весьма причудливую конструкцию. Основные его детали быстро отваливались, однако то небольшое, что после этого оставалось, по-прежнему продолжало летать!

Открытие позитрона в 1932 г. заставило всех еще усерднее приняться за работу. Гейзенбергу, однако, довольно быстро изменило мужество, и он заговорил о том, что неправомерно отбрасывать бесконечности, делая вид, будто ничего не происходит. Он также скептически относился к возможности дать точную математическую формулировку такому сложному понятию, как «море» отрицательных энергий Дирака. Тем не менее вместе с Паули и Дираком он упорно продолжал разрабатывать модель «моря» отрицательных энергий, в котором могут рождаться дырки — позитроны.

Молодой австриец Виктор Вайскопф, бывший в ту пору студентом у Паули, провел первые расчеты взаимодействия электрона с самим собой и натолкнулся на целый ворох бесконечно-

стей. К тому времени сортировка таких бесконечностей по их рангу превратилась в своего рода изящное искусство. Однако одна из полученных Вайскопфом бесконечностей выглядела совершенно кошмарно. Она никак не вписывалась в теорию. Опубликовав свой зловещий результат, Вайскопф получил письмо от Венделла Фарри из Калифорнийского университета в Беркли, в котором тот сообщил, что проделал аналогичные вычисления и получил «обычную» бесконечность. Вайскопф еще раз просмотрел свои расчеты и понял, где была допущена ошибка. Испытывая стыд и возмущаясь самим собой, он пошел к Пауля, чтобы спросить, не стоит ли ему оставить занятия физикой. Надменный Паули мягко улыбнулся в ответ. «Не стоит, — сказал он, — все совершают ошибки. Кроме меня».

Успокоенный, Вайскопф вернулся к своему деликатному занятию по сортировке и отбрасыванию бесконечностей; в своей классической работе 1936 года он сформулировал правила, по которым это следует делать. Однако в последующих расчетах возникли новые трудности. Вклады низкочастотных квантов излучения приводили к дополнительным бесконечностям, и для сохранения работоспособности уравнений потребовалось ввести искусственное ограничение частот. Паули отошел от этой работы. По мере того как над Европой сгушались тучи грядущей войны, научные связи Германии с остальным миром постепенно ослабевали.

«ЕСЛИ БЫ Я БЫЛ ЭЛЕКТРОНОМ...»

В 1930-е годы в пригороде Нью-Йорка на атлантическом побережье жил подросток Ричард Фейнман, увлеченный коллекционированием математических уравнений больше, чем собиранием марок. Десятью годами позже этому математическому гению суждено было превратить квантовую электродинамику в одну из самых точных из когда-либо существовавших наук. Фейнман стал для квантовой электродинамики тем же, чем был Дирак для квантовой механики. Впрочем, на этом сходство Фейнмана с Дираком заканчивалось. Дирак был замкнут и необщителен. Фейнман был дерзок и шумлив. Когда Дирак был ребенком, отец с ним практически не занимался. Напротив, родители юного Фейнмана постоянно заботились о развитии интеллекта своего чада. Вместе с тем, оба этих человека обладали сверхъестественной способностью угадывать особенности поведения электрона. Однако в отличие от Дирака и прочих евро-

пейских ученых, исследовавших электрон с помощью математических формул, Фейнман обращался с ним, как со своим приятелем. Один из институтских товарищей Фейнмана высказал догадку, что, размышляя об электроны, Фейнман просто спрашивал себя: «Если бы я был электроном, что бы стал делать?». Позднее Фейнман сам ответил на этот вопрос: «Электрон делает все, что ему вздумается. Он беспрестанно двигается во всех направлениях с любыми скоростями, вперед или назад во времени — как ему заблагорассудится, а вам остается лишь сложить все эти амплитуды и получить в итоге окончательный результат». Столкнувшись со столь непослушной частицей, гений Фейнмана создал основы математической теории, способной с ней справиться.

Фейнман был одаренным физиком, способным «разобрать на части» любую проблему, посмотреть, как эти части связаны между собой, а затем собрать все заново. Кроме того, он был математическим магом, способным охватить мысленным взором поведение какой-нибудь малопонятной функции, отчетливо представить себе суммирование бесконечного ряда или по виду уравнения угадать график его решения. Подобно бродячему мастерскому, который не расстается с набором запасных частей, припасенных на всякий случай, Фейнман был фанатичным собирателем, накопившим огромное количество разнообразных математических приемов.

Способность Фейнмана находить решения задач не ограничивалась одной математикой. Во времена Великой депрессии все пытались сначала починить испорченную вещь, прежде чем купить что-нибудь взамен. Фейнман в то время был еще мальчиком, но уже славился своей способностью ремонтировать всякую всячину. Особенно хорошо у него получалось с радиоприемниками. В то время радио было в новинку, и мало кто в нем разбирался. Однажды Фейнман пришел к человеку, чей приемник неизменно начинал реветь, стоило только его включить. Хозяин приемника скептически отнесся к способностям Фейнмана, когда увидел, что «мастер» был просто мальчиком. Фейнман включил радио, послушал, что в нем творится, и задумался, расхаживая взад-вперед. «Что ты можешь знать о радиоприемниках, ты же еще совсем мальчишка», — язвительно заметил хозяин. Фейнман невозмутимо поменял в приемнике местами две лампы и затем включил его в сеть. Теперь приемник работал безупречно. Впоследствии этот человек обеспечил Фейнмана множеством заказов на ремонт радио, и о Фейнмане пошла слава как о мальчи-

ке, «способном чинить радиоприемники силой мысли!». Сомнительно, был ли Дирак способен ремонтировать приемники, и если даже да, то стал ли бы он продавать свои услуги. Фейнман сознавал, что отличается от обычных людей, и кичился своими способностями. Однако с его хвастовством, как правило, можно было мириться.

Фейнман учился в Массачусетском технологическом институте, в котором (несмотря на его название) традиционно большое внимание уделяется фундаментальным наукам. Будучи студентом последнего курса, Фейнман записался на один пользовавшийся «очень дурной» славой конкурсный экзамен, чтобы получить стипендию в Гарварде. На этом экзамене даются столь трудные вопросы, что средний балл оказывается равным нулю. Фейнман вышел с экзамена еще до истечения отпущенного времени; при этом он намного опережал по баллам своих ближайших соперников. Впрочем, он уже принял решение ехать в Принстон.

В Принстоне Фейнман познакомился с изысканным Джоном Уилером. Подобно Ральфу Фаулеру, в свое время правильно оценившему возможности Дирака и направившему его в верном направлении, Уилер быстро оценил способности Фейнмана и с самого начала нацелил его на решение самых трудных проблем. Фейнман уже читал книгу Дирака «*Основы квантовой механики*» и был особенно взволнован ее заключительным абзацем: «Похоже, мы уже дошли до конца пути в направлении логического развития наших сегодняшних представлений о принципах квантовой механики. Существующие трудности имеют фундаментальный характер и могут быть устранены только в результате радикального пересмотра основ теории».

Фейнман решил, что именно он во что бы то ни стало найдет то, о чем говорил Дирак. Однако решение поставленной Дираком задачи должно потребовать больших умственных усилий, нежели ремонт допотопных ламповых приемников. Вместе с Уилером Фейнман начал пересматривать основные представления о взаимодействии элементарных частиц. Свет распространяется очень быстро, однако его скорость не бесконечна. Свету от Солнца требуется восемь минут, чтобы достичь Земли. Для преодоления расстояний от одного электрона до другого электромагнитным силам требуются крошечные отрезки времени. Фейнман положил идею запаздывающих волн в основу своей картины взаимодействия электронов друг с другом. Затем он обратил внимание на нечто весьма замечательное. Если изменить знак времени, т. е. поменять прошлое и будущее местами, то его уравнения по-



Рис. 6.1. Ричард Фейнман (фото *CERN Courier*) Р. Фейнману принадлежит новое представление об античастицах.

прежнему будут справедливы. Но в этом случае уравнения будут описывать волны, которые приходят откуда-то до того, как они были испущены! Поскольку Соединенные Штаты вступили в войну, и стране неожиданно потребовались компетентные специалисты, Фейнману пришлось отложить эту идею до лучших времен вместе с остальными математическими «запасными частями».

Фейнман был включен в состав теоретического отдела в новой секретной лаборатории в Лос-Аламосе, где в то время работали над проектом атомной бомбы. Основная задача теоретического отдела состояла в том, чтобы предсказывать, с какими неожиданностями можно столкнуться в тех или иных условиях — с какой скоростью диффундирует газообразный уран, как быстро движутся нейтроны, какова скорость детонации атомной бомбы. Все это означало выполнение огромного объема вычислений, однако в то время еще не было настоящих компьютеров — только механические счетные машинки. Главой теоретического отдела в Лос-Аламосе был Ханс Бете — талантливый физик, одним из первых осознавший, что источником энергии Солнца являются ядерные реакции. Бете уехал из нацистской Германии, чтобы работать в Корнеллском университете в северной части штата Нью-Йорк. Познакомившись с Бете, Фейнман с удивлением обнару-

жил, что кто-то способен считать лучше него. И без того гигантский математический репертуар Фейнмана еще более расширился в течение этих военных лет. Бете понял, что Фейнман обладает незаурядным талантом, и сразу после окончания войны предложил ему работу в Корнеллском университете. Другой ученый, иммигрировавший из Европы, Юджин Вигнер, сказал, что Фейнман — это «второе воплощение Дирака, получившее на сей раз человеческое обличье».

Одним из первых послевоенных событий в Корнеллском университете стало его двухсотлетие. Физический факультет организовал трехдневный семинар, посвященный перспективам развития наук о ядре. Дирак был одним из тех, кого пригласили выступить там с лекцией. Дираком по-прежнему восхищались, однако он был уже немолод, и его идеи к тому времени утратили свежесть. В Корнелле Дирак опять предупредил, что формулировка квантовой электродинамики эпохи 30-х годов нуждается в коренном пересмотре, однако у него не было соображений относительно того, как за это следует взяться. Вступительное слово перед докладом Дирака и руководство последующей дискуссией были поручены Фейнману. Он отпустил несколько легковесных остроумий, которые не очень понравились столь чопорному обществу, и по-своему повторил мысль Дирака — «мы должны подняться на качественно новый уровень математического формализма, как это было в дираковской теории электрона».

Существует один прием, который безотказно работал на протяжении всей истории физики, хотя его использование и не всегда оказывалось очевидным при решении новых задач. Называется он *принципом наименьшего действия*. Любому автомобилисту известно, что иногда можно быстрее добраться до цели, выбирая более протяженный маршрут по скоростной магистрали, нежели двигаясь напрямик по проселку. Быстро ехать по скоростному шоссе эффективнее, чем тащиться по второстепенной дороге. Существует, однако, некоторый предел, начиная с которого удлинение маршрута превалирует над ездой с большей скоростью. Оптимальный маршрут, получающийся при планировании поездки на большие расстояния, может оказаться довольно сложным и будет складываться из перемежающихся участков магистралей и второстепенных дорог. То же происходит и в физике, где принцип наименьшего действия предполагает выбор оптимального решения из множества альтернатив. Природа почему-то способна «инстинктивно» находить такие оптимальные решения. Плавная изогнутая траектория полета мяча представляет собой тот

путь, вдоль которого мяч совершает минимальную работу в поле силы тяжести. Принцип наименьшего действия — не лучший рецепт для вычисления траектории полета мяча, однако это весьма изящный способ ее осмысления. Принцип наименьшего действия — это своего рода «шикарный лимузин» математической физики.

В конце 30-х годов Дирак вновь обратился к своей теории в попытках предпринять очередной штурм квантовой электродинамики. Новая формулировка квантовой теории, предложенная Дираком в 1925 г., опиралась на тесные параллели между квантовой механикой и *скобками Пуассона* — формализмом классической механики. Первоначально скобки Пуассона были приспособлены для использования в принципе наименьшего действия. Спустя десять лет после проведения аналогии со скобками Пуассона Дирак начал изыскивать подходящие аналогии для квантовой электродинамики. Однако на него не снизошло прозрение, как во время воскресной прогулки в 1925 г. В 1933 г. Дирак высказал невнятное предположение о том, что квантовую электродинамику можно было бы построить на основе освященного веками принципа наименьшего действия. Однако эта идея так и осталась лишь смутной догадкой, и Дирак не стал развивать ее дальше.

Во время празднования в 1946 г. двухсотлетия Корнеллского университета Фейнман выглянул из окна аудитории, в которой проводилось совещание по ядерной физике, и увидел возлежавшего на травке Дирака. Фейнман был знаком с прежними идеями Дирака; он много размышлял над ними и к тому времени уже понимал, куда клонил Дирак в статье 1933 года. Фейнман считал, что за этим подходом было будущее. Он пересек корнеллскую лужайку и подошел к своему старшему коллеге с вопросом, не было ли у того готового математического рецепта, способного связать квантовую электродинамику с принципом наименьшего действия. Выразив всем своим видом изумление, Дирак удалился.

Чтобы собраться с мыслями, Фейнман полностью переформулировал дираковскую квантовую механику на основе принципа наименьшего действия. Идея состояла в том, чтобы определить, что может происходить с частицей во всевозможных ситуациях, а затем, подводя итог, определить оптимальную ситуацию. Поначалу там не учитывались релятивистские эффекты, так что эта теория не дала ничего нового. Тем не менее Фейнман ею гордился. «Приятно получить уже известные вещи, исходя из новых представлений», — сказал он.

ЛЭМБОВСКИЙ СДВИГ

В 1947 г. на Лонг-Айленде, Нью-Йорк, Виктор Вайскопф организовал небольшой творческий семинар, посвященный разработке новых идей в квантовой электродинамике. С докладами были приглашены все знаменитости времен Лос-Аламоса. В дни работы семинара произошло одно чрезвычайное событие, возымевшее эффект разорвавшейся бомбы. Молодой ученый по имени Уиллис Лэмб из Колумбийского университета (Нью-Йорк) при облучении водорода микроволновым излучением обнаружил два энергетических уровня. По теории Дирака они должны быть совершенно одинаковыми, но на самом деле оказались немного смещенными относительно друг друга на величину, получившую впоследствии название лэмбовского сдвига. Семинар на Лонг-Айленде предполагалось посвятить проблеме устранения расходимостей, однако основное внимание там было уделено этому новому открытию. Такую вот неожиданную трещину дало всемогущее уравнение Дирака. Отправившись после окончания семинара домой, невозмутимый Ханс Бете был поглощен расчетами, которые он проделывал на обратной стороне почтового конверта и в которых использовал старый подход, основанный на отбрасывании расходящихся членов при произвольном частотном ограничении. Бете получил правильный результат для лэмбовского сдвига, однако он ясно осознал, что использованный метод уже не годится для квантовой электродинамики.

По возвращении домой Бете подбросил эту задачу Фримену Дайсону, талантливому молодому студенту из Англии, который в восьмилетнем возрасте написал научно-фантастическую новеллу, а впоследствии стал известным математиком. Математическое решение данной проблемы к тому времени уже было получено молодым физиком Юлианом Швингером на другом конце штата Нью-Йорк, в Колумбийском университете, где Уиллис Лэмб провел свои эксперименты.

Швингер был ровесником Фейнмана и, еще будучи учеником средней школы, навещался в библиотеку Сити-Колледжа в Нью-Йорке, где читал статьи Дирака. Во время войны Швингер занимался радаром — менее эффективной, но не менее важной стороной военной деятельности Соединенных Штатов. Учивший и обходительный, Швингер стремился в своих работах к утонченности и совершенству. Из-за этого его идеи зачастую воспринимались с большим трудом. Кое-кто считал, что Швингер нарочно



Рис. 6.2. Юлиан Швингер — олицетворение математического совершенства и утонченности (Гарвардский университет с любезного разрешения архивов Эмилио Серге.)

облекал их в такую форму. Тем не менее **новый подход Швингера** давал правильный результат для лэмбовского сдвига и позволял искусно избежать появления расходимостей, досаждавших в свое время Бете, Гейзенбергу, Паули и Вайскопфу.

В Корнелле Фейнман продолжал развивать свой подход, основанный на принципе наименьшего действия, и пытался включить в него принципы теории относительности. Фейнман хорошо помнил об идее, опробованной им вместе с Уилером еще в Принстоне; ее суть состояла в использовании волн, которые распространялись вспять во времени и приходили прежде, чем они были излучены осциллятором. Фейнман обнаружил, что при учете таких волн в его подходе с принципом наименьшего действия все становится на свои места. Так родилось новое представление о релятивистских электронах. Позитрон, утверждал Фейнман, — это движущийся вспять во времени электрон!

Фейнман осваивался с новизной этой идеи, означавшей, что будущее может влиять на прошлое, по крайней мере на микроскопическом уровне. Все дело было в теории относительности. Как в свое время показал Эйнштейн, на оси времени не существует какой-либо выделенной точки, и все времена оказываются относительными. С какой стати это не должно относиться и к будущему?

По словам Фейнмана, «в физике может оказаться полезным рассматривать сразу все события, произошедшие во все времена, считая при этом, что в каждый момент нам известно только то, что ему предшествовало». Он даже предложил грубую, но эффективную аналогию. Пеший турист может просто подняться на гору. Однако автолюбителю придется выбрать иной маршрут. Намечая его по карте горного района, автолюбитель, выбравший какой-нибудь путь, вдруг замечает, что параллельно идут несколько других дорог. Дорога в гору время от времени будет изменять свое направление на обратное, так что путь к вершине окажется зигзагообразным. Планируя свой маршрут, автолюбитель понимает, что не сможет двигаться напрямик. Ему придется учитывать все эти зигзаги. Прежде чем отправляться в путь, квантовая частица должна позаботиться о том, что она будет делать в будущем.

Применительно к электронам и позитронам эти идеи могут быть выражены с помощью очень простых рисунков — *фейнмановских диаграмм*. Электроны и позитроны изображаются прямыми линиями со стрелками, показывающими направление течения времени. Кванты излучения, фотоны, движущиеся вперед и назад во времени, изображаются одинаково с помощью волнистых линий. Трехмерное пространство и время, четвертое измерение, нельзя изобразить на двумерном листе бумаги. Фейнмановские диаграммы (рис. 6.3) соответствуют упрощенной картине мира с одной пространственной и одной временной ко-

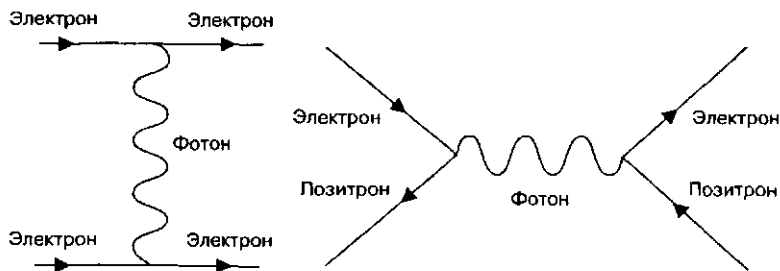
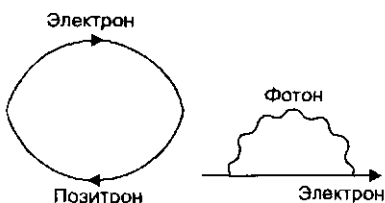


Рис. 6.3. Фейнмановская диаграмма в упрощенном двумерном мире с одной пространственной координатой (снизу вверх) и временем (слева направо). Слева изображен процесс рассеяния электрона на электроне, в ходе которого частицы обмениваются квантом излучения — фотоном. Но пространственную и временную координаты можно поменять местами. Повернув диаграмму, получим родственный процесс, в котором электрон аннигилирует с позитроном с образованием кванта излучения, который затем материализуется в электрон-позитронную пару. Позитрон выглядит как электрон со стрелкой, направленной в прошлое.

Рис. 6.4. Вакуумные диаграммы. Физический вакуум заполнен фейнмановскими диаграммами, отвечающими внезапным рождениям и аннигиляциям электрон-позитронных пар и блуждающим фотонам, описывающим петли в пространстве-времени, перед тем как бесследно исчезнуть, вернувшись к испустившему их электрону.



ординатами. Однако на этой релятивистской карте пространственную и временную координаты легко можно поменять местами — двигаться с севера на юг так же просто, как с запада на восток. Достаточно повернуть карту, и физические процессы, казавшиеся до 1947 г. принципиально различными, оказываются тесно связанными между собой. Например, процесс рассеяния электрона оказывается близким родственником процесса, в котором электрон аннигилирует с позитроном с образованием кванта излучения, который затем материализуется с образованием другой электрон-позитронной пары. Для электронов эпоха путешествий во времени уже наступила.

Благодаря стрелкам, указывающим на фейнмановских диаграммах направление течения времени, позитрону было дано принципиально новое толкование без привлечения невнятной дираковской идеи о существовании моря отрицательных энергий. Но это не позволяло обойти трудности с вакуумом. Вакуум больше не рассматривался как всевозможные взаимодействия с морем отрицательных энергий. Теперь он был заполнен фейнмановскими диаграммами, отвечающими внезапным рождением и аннигиляциям электрон-позитронных пар и блуждающим фотонам, описывающим петли в пространстве-времени, перед тем как бесследно исчезнуть, вернувшись к испустившему их электрону (рис. 6.4).

Графический метод Фейнмана и изысканный алгебраический подход Швингера приводили к одному и тому же результату для лэмбовского сдвига. Однако по сравнению с трудным для восприятия подходом Швингера простые фейнмановские диаграммы давали физикам возможность наглядно представить себе, что происходит. Впоследствии Швингер отметил, что фейнмановские диаграммы «стали подобием современных кремниевых чипов, сделавших вычисления общедоступными». (Многие расценили это высказывание как высокую оценку метода Фейнмана,

однако утонченный Швингер в глубине души никогда не принимал всерьез этот «упрощенный» подход.)

В физическом лексиконе появилось новое слово — *перенормировка*, отвечающее новому методу обращения с нежелательными расходимостями. Такие расходимости всегда возникают при расчетах фундаментальных величин, например электрического заряда или массы электрона. Основная идея метода — *подобрать* величины элементарного заряда или массы в уравнениях так, чтобы получающийся полный заряд (или масса) совпадал с экспериментально наблюдаемыми значениями, которые, разумеется, всегда конечны. Подставляемые в уравнения полный заряд или масса изначально содержат бесконечно большие слагаемые, которые равны по величине и противоположны по знаку бесконечно большим членам, возникающим при вычислениях. Кажущийся на первый взгляд абсурдным, этот подход тем не менее работает, поскольку нежелательные расходимости всегда появляются при операциях с такими величинами, как заряд или масса электрона: эти величины надо вводить в уравнения «вручную», поскольку их значения невозможно предсказать. Почему бы не вводить и бесконечности вручную?

Время квантовой электродинамики пришло, и в нее устремились как приверженцы обиходной фейнмановской модели, так и сторонники утонченной швингеровской трактовки. Расходимости больше не являлись препятствием для расчетов, и теперь можно было отказаться от рожденной в муках и столь неудобной в вычислениях искусственной гипотезы Дирака о море электронов с отрицательными энергиями. Грядущие поколения физиков станут изучать квантовую электродинамику непосредственно по фейнмановским диаграммам и будут недоумевать, зачем нужно было возиться с каким-то «морем». Те же идеи были независимо выдвинуты в Японии Синьитиро Томонагой. В 1965 г. Фейнман, Швингер и Томонага были удостоены Нобелевской премии по физике.

Всю свою жизнь Фейнман демонстрировал колоритный и противоречивый характер. Многие считали его совершенно несносным субъектом, но его натуре было в равной мере свойственно и благородство. Ярче всего оно проявилось в его первом браке с Арлин Гринбаум, на которой он женился тайком в 1942 г., зная, что она была смертельно больна лимфатическим туберкулезом. На церемонии бракосочетания он не поцеловал свою невесту, боясь заразиться. Фейнман нежно заботился об Арлин вплоть до ее кончины в 1945 г. Спустя месяц после ее смерти на

глаза ему попало женское платье в витрине магазина, и он подумал, что оно очень подошло бы Арлин. Он потерял самообладание и разрыдался прямо на улице.

В 1981 г. Фейнман перенес операцию по поводу рака брюшной полости. В августе того же года на международной конференции по физике в Лиссабоне (Португалия) я решил пропустить один очень скучный доклад и встретил Фейнмана в кафетерии. Я представился и справился о его здоровье. Не удостоившись ответа, я тут же нарвался на грубость. В любой другой ситуации я бы ответил на оскорбление. Но ведь это был великий Ричард Фейнман. Когда я повернулся и пошел прочь, он рассмеялся мне в спину. Я не упомянул об этом эпизоде, когда писал его некролог в 1988 г.

Свет, возникающий при вибрации электрических зарядов, сам по себе не несет электрического заряда и является особой формой существования материи. Антисвет, испускаемый вибрирующими заряженными античастицами, полностью идентичен обычному свету. Антимирозарены тем же светом, что и наш привычный мир. Физика двадцатого столетия обнаружила, однако, что помимо электрического заряда у материи могут быть и другие свойства. У антиматерии эти дополнительные свойства изменяются на противоположные: у многих электрически нейтральных частиц есть свои античастицы.

Вскоре после того, как было открыто атомное ядро и доказано, что оно состоит из протонов, Резерфорд догадался, что кроме протонов в ядре должно было находиться что-то еще. Протоны в две тысячи раз тяжелее электронов, поэтому вклад последних в полную массу атома пренебрежимо мал. Непосредственное суммирование числа протонов давало неверный результат для массы ядра. Электрически заряженные протоны отвечали лишь примерно половине массы атома. Резерфорд считал, что недостающая масса обязана присутствию других ядерных частиц, которые имеют массу, примерно равную массе протона, но не несут электрического заряда. Эти частицы он назвал *нейтронами*.

В 1930 г. немецкие физики Вальтер Боте и Герберт Бекер обнаружили, что при облучении альфа-частицами некоторых легких элементов, в том числе бериллия, возникало нечто, способное проникать сквозь 10-сантиметровую толщу свинца. Поначалу они считали, что это был какой-то вид радиоактивности. Однако в 1932 г. Ирэн Кюри и ее муж Фредерик Жолио выяснили, что это нечто способно выбивать протоны из атомов водорода. Со времен эпохальных исследований радиоактивности, проведенных Пьером и Марией Кюри в 1898 г., эта новая пара семейства Кюри явила еще один пример научно-супружеского партнерства, в рамках которого было совершено крупное научное открытие. Однако Кюри не довели исследования до конца. Под нажимом Резерфорда эта работа была подхвачена и заверше-

на исследовательской группой из Кембриджа. Джеймс Чэдвик — один из сотрудников Резерфорда, лауреат Нобелевской премии, изучая «протоны» Жолио-Кюри, обнаружил, что они ведут себя так, будто были выбиты частицами той же массы, что и протоны. Это были те самые резерфордовские нейтроны.

В ядрах большинства элементов число нейтронов примерно равно числу протонов. Нейтроны играют роль «противовеса», компенсирующего мощные электрические силы взаимного отталкивания, возникающие между тесно упакованными в ядре положительно заряженными протонами; эти силы примерно в десять миллиардов раз сильнее притяжения между протонами и орбитальными электронами. Связывающий протоны с нейтронами ядерный «суперклей» обычно достаточно прочен, чтобы противостоять действующим между протонами силам взаимного отталкивания. Но это не всегда так.

На рождественской вечеринке 20 декабря 1938 г. в ведущем научном центре Берлина, Институте Кайзера Вильгельма, собирались отмечать окончание исследовательских работ уходящего года. Тем временем два радиохимика — Отто Ган и Фриц Штрассманн были заняты облучением уранового образца нейтронами. Они знали, что при этом образуются радиоактивные продукты, однако им никак не удавалось определить их состав. Ученые не пошли на рождественскую вечеринку и продолжили эксперименты в полупустой лаборатории — они были слишком увлечены своим делом. Им казалось, что, поглотив падающий нейтрон, ядро урана должно трансформироваться в сходное тяжелое ядро, потеряв при этом некоторые свои составные части. Каково же было их изумление, когда они поняли, что на самом деле им удалось обнаружить ранее неизвестный тип ядерных реакций. Оказалось, что ядро урана, приобретая лишний нейтрон, распадается на две примерно равные части, испуская несколько нейтронов. Этот процесс получил название *деления ядра*; испускаемые в таком процессе нейтроны могут вызвать дополнительные акты деления, т. е. цепную реакцию. Спустя семь лет эта «нейтронная химия» изменит ход мировой истории. 16 июля 1945 г. было произведено первое испытание атомной бомбы близ Аламогордо в пустыне Нью-Мексико. Всего через несколько недель бомбы были сброшены на Хиросиму и Нагасаки, и Вторая мировая война закончилась*.

* Автор, вероятно, полагает, что исход Второй мировой войны предопределила ядерная бомбардировка двух японских городов. — *Прим. перев.*

Сами по себе нейтроны являются пассивными стражами стабильности атомных ядер. Однако в недрах Вселенной они играют совсем иную роль. Обладающие чудовищным гравитационным полем звезды действуют подобно гигантским космическим пылесосам, беспощадно всасывающим облака межзвездного газа. Масса и размеры таких звезд постепенно увеличиваются и в конце концов достигают таких масштабов, когда гравитация побеждает упругое сопротивление атомов. Под действием такого гравитационного пресса атомы звездного вещества разрушаются, и орбитальные электроны вдавливаются в ядра. Отрицательные заряды электронов компенсируют положительные заряды протонов, превращая их в нейтроны. В результате возникает *нейтронная звезда*, которая лишена атомной «начинки» и имеет диаметр порядка всего десятка километров, но при этом ее плотное ядерное вещество более чем в миллион миллионов раз тяжелее обычной атомной материи. Один кубический сантиметр нейтронной звезды весит примерно триллион тонн. Разбросанные по всей Вселенной, эти компактные звезды построены из нейтральных ядерных частиц. Им несвойствен дисбаланс электрических зарядов, характерный для обычного вещества, построенного из атомов. Если бы нейтрон и антинейтрон были одной и той же частицей, подобно частицам света, то нейтронные звезды представляли бы собой одновременно и материю, и антиматерию, так что в антимирах они были бы как у себя дома. Однако нейтрон не тождествен своей античастице. Нейтрон обладает внутренней структурой, которая за зеркалом в антимире выглядит совсем иначе. У нейтронных звезд нет доступа в антимир.

СОКРУШИТЕЛИ АТОМОВ

Ученые, участвовавшие в развитии нейтронной физики во время Второй мировой войны — в их числе Нобелевские лауреаты Ханс Бете, Энрико Ферми, Ричард Фейнман и Эрнест Лоуренс, — были поставлены перед серьезной дилеммой патриотического долга и чувства вины за причастность к усовершенствованию оружия массового уничтожения. Когда война закончилась и их патриотический долг был исполнен, ученые постарались отойти от работы над вооружениями и вернуться в свои университеты, чтобы продолжить научную деятельность. Физика военных лет повлияла на ход истории, а события в мире — на развитие физики. В создании бомбы участвовали многие отрасли промышленности, и физики приобрели новые административные навыки.

Ученые стали настоящими героями Второй мировой войны — они были похожи на магов, способных небольшими кусочками вещества вызвать взрывы небывалой разрушительной силы. В те времена физики могли получить все, что пожелают, — это было необходимо для поддержания ядерного паритета во времена холодной войны и в то же время являлось воздаянием за их научные достижения.

В начале 30-х годов американский физик Эрнест Лоуренс, работавший тогда в Калифорнийском университете в Беркли, расположенном на возвышенности по другую сторону залива от Сан-Франциско, изобрел циклотрон — устройство, позволяющее ускорять заряженные частицы до высоких энергий. Ядерные частицы инжектировались в центре постоянного магнита и затем набирали скорость, двигаясь по спиральным траекториям в специально создаваемых электрическом и магнитном полях (нечто вроде электромагнитной рогатки). Изобретенный Лоуренсом ускоритель элементарных частиц послужил новым мощным инструментом для расщепления атомных ядер. Так появилась «машина для разрушения атомов», и в 1939 г. Лоуренс был удостоен Нобелевской премии. Лаборатория в Беркли, возглавляемая Лоуренсом, играла важную роль во время войны. Штат лаборатории вырос до 1200 человек, включая 65 охранников. Лаборатория унаследовала капиталовложения и материальные активы, предоставленные ей во время войны. Для многих университетов строительство циклотрона стало вопросом престижа. На противоположном конце континента, на старой военной базе Лонг-Айленда близ Нью-Йорка, была основана новая специализированная лаборатория. Эта военная база — Кэмп Аптон, созданная в 1917 г. как переправочный пункт для федеральных войск, отправлявшихся на поля сражения Первой мировой войны в Европу, превратилась в Брукхейвенскую национальную лабораторию.

В послевоенные годы научные исследования в США развернулись широким фронтом, тогда как в Европе физикой продолжали заниматься на скромном довоенном уровне. Поскольку в Европе (по крайней мере в первые послевоенные годы) не было крупных проектов строительства научных центров, ученые там возобновляли исследования с того места, на котором они были прерваны войной. Как бы пытаясь наверстать упущенное время, европейские ученые сделали несколько важных открытий: энтузиасты поднимались в горы, где облучали фотопластинки космическими лучами, интенсивность которых возрастает на больших высотах. Довоенная Европа была признанным мировым физиче-

ским центром — против чар крупнейших европейских университетов не мог устоять ни один честолюбивый американский ученый. Это положение изменилось, когда ученые стали перебираться в Америку для участия в атомном проекте, имевшем необъятное финансирование. Американцы опасались утратить свой научный статус и с завистью следили за тем, как европейцы одну за другой открывали новые частицы — мю-мезон, или мюон, пи-мезон, или пион, так называемые «V-частицы», таумезон... Неужели маятник науки опять качнулся в сторону Европы? Неужели циклотрон в США окажется «белой вороной»?

В апреле 1948 г. Комиссия по атомной энергии США санкционировала строительство двух новых гигантских ускорителей — одного в Брукхейвене, другого — в Беркли. В 1952 г. брукхейвенский ускоритель, названный Космотроном, был введен в строй, и вскоре на нем началось изучение рождавшихся в больших количествах новых частиц, впервые наблюдавшихся в европейских экспериментах с космическими лучами. Европейским ученым пришлось уступить дорогу американскому научному экспрессу. Ускоритель в Беркли был немного мощнее и предназначался специально для поисков антипротона, существование которого было предсказано Дираком еще в 1932 г. Однако не все верили в антипротон, и на него уже заключались пари.

АНТИПРОТОН

Специалисты по космическим лучам надеялись, что антипротон попадет в их сети так же легко, как и позитрон, однако ядерная антиматерия оказалась гораздо более неуловимой. Если воспользоваться языком Дирака, квант излучения должен обладать энергией, достаточной для того, чтобы извлечь частицу из «моря» состояний с отрицательной энергией. В 1947 г. это соображение уже можно было сформулировать более понятным языком — квант излучения должен превратиться в пару частица — античастица. Чтобы это произошло, квант обязан обладать энергией, эквивалентной суммарной массе частицы и античастицы. Энергии квантов, наблюдавшихся Блэкеттом и Оккиалини в космических лучах, были эквивалентны лишь массе двух электронов. Для создания протон-антипротонной пары энергия кванта должна быть больше в две тысячи раз. В космических лучах нечасто удается найти такие энергии. В 1954 и 1955 гг. появлялись предварительные отчеты по обнаружению неуловимых антипротонов в космических лучах, однако

эти результаты были неубедительными. Запущенный в 1954 г. в Беркли ускоритель, названный Беватроном, был на то время самым мощным в мире. Сценическое пространство для антипротонов было подготовлено.

Пионерские работы Андерсона продемонстрировали, насколько трудно отличить электроны от позитронов, движущихся в обратном направлении. Оуэн Чемберлен, Эмилио Сегре, Клайд Виганд и Том Ипсилантис приступили к созданию детектора антипротонов в Беркли. Сегре родился в Риме в 1905 г. и в 30-х годах работал в Римском университете с Энрико Ферми. В 1938 г. Ферми уехал в Стокгольм получать Нобелевскую премию по физике и решил больше не возвращаться в фашистскую Италию. Его второй родиной стали Соединенные Штаты. Потеря для Италии обернулась прибылью для США. Ферми возглавлял коллектив, создавший в Чикагском университете первый в мире ядерный реактор, а затем участвовал в проекте создания атомной бомбы в Лос-Аламосе. Вслед за Ферми в США приехал и Сегре, возглавивший исследовательскую группу в Лос-Аламосе. В Лос-Аламосе и в Беркли с Сегре в свое время работал Виганд. В Лос-Аламосе с Сегре работал и Чемберлен, уроженец Калифорнии. После войны Чемберлен какое-то время провел в Чикаго вместе с Ферми, а затем перебрался в Беркли. Ипсилантис получил докторскую степень и стал сотрудником кафедры в Беркли.

Четверо ученых терпеливо ждали, когда Беватрон достигнет своей проектной энергии и сможет перешагнуть антипротонный порог. Им было известно, что лишь один из каждого миллиона протонов, ускоренных Беватроном, сможет затем произвести на свет антипротон — остальные протоны превращались в другие частицы. Чтобы отделить драгоценное антипротонное зерно от плевел, использовалась оригинальная система магнитных линз. Подобно призме, расщепляющей луч белого света на его цветовые составляющие, магнитное поле сортирует частицы в проходящем через него смешанном пучке по энергиям. Андерсон отличал быстрые позитроны от медленных по кривизне их траекторий в магнитном поле. На этом же принципе был основан и эксперимент на Беватроне, в котором использовался магнит для отклонения положительно заряженных частиц и выделения пучка отрицательных частиц, среди которых, как надеялись, могло оказаться много антипротонов. На самом деле для увеличения чистоты пучка использовались две магнитные линзы, установленные одна за другой.

Для распознавания антипротонов в эксперименте измерялось время, затрачиваемое частицами на прохождение между двумя магнитными линзами, разнесенными на 12 метров. Большинство рождавшихся на Беватроне частиц должно двигаться почти со скоростью света и затрачивать 40 наносекунд (наносекунда — это тысячная доля микросекунды) на прохождение 12-метрового расстояния. Антипротоны имеют существенно большую массу и должны двигаться медленнее, затрачивая 51 наносекунду. Возможность обнаружения антипротонов основывалась на пригодности электронных схем образца 50-х годов для измерения временных задержек порядка 11 наносекунд. Однако простой регистрации событий, разделенных ожидаемым интервалом в 11 наносекунд, недостаточно. Может случиться, что две не имеющие никакого отношения друг к другу частицы пролетят одна за другой именно с этой задержкой и «обманут» электронику, которая примет их за антипротон.

Чтобы залатать эту брешь, исследовательская группа предложила проводить дополнительно независимые измерения скорости частиц. В вакууме ничто не может двигаться быстрее света, однако частицы с высокой энергией способны пролетать сквозь прозрачное тело, например стекло, со скоростью, большей скорости света в стекле. В таком случае возникает оптическая ударная волна, называемая *черенковским излучением* по имени русского физика Павла Черенкова. Направление этого излучения зависит от скорости частицы. В данном эксперименте использовался хитроумный детектор скоростей в виде цилиндрического зеркала, собирающего излучение только от антипротонов в оптическом фокусе системы, где оно регистрировалось *фотоумножителем*.

В 1955 г. энергия Беватрона достигла порога рождения антипротонов. Электроника была настроена на задержку в 51 наносекунду, и в этот же момент фотоумножители должны были зарегистрировать черенковское излучение. Четверо экспериментаторов с нетерпением следили за экранами осциллографов. Но ничего не происходило. Никаких характерных антипротонных сигналов не наблюдалось. Полагая, что они допустили какой-то просчет и сбили настройку системы, физики изменили на обратное направление поля магнитных линз — это должно было сделать аппаратуру чувствительной к многочисленным положительно заряженным протонам. Не обнаружив и протонов, они перепроверили расчеты и нашли ошибку в настройке магнитных линз. Устранив ошибку, они начали с протонного теста и, лишь увидев

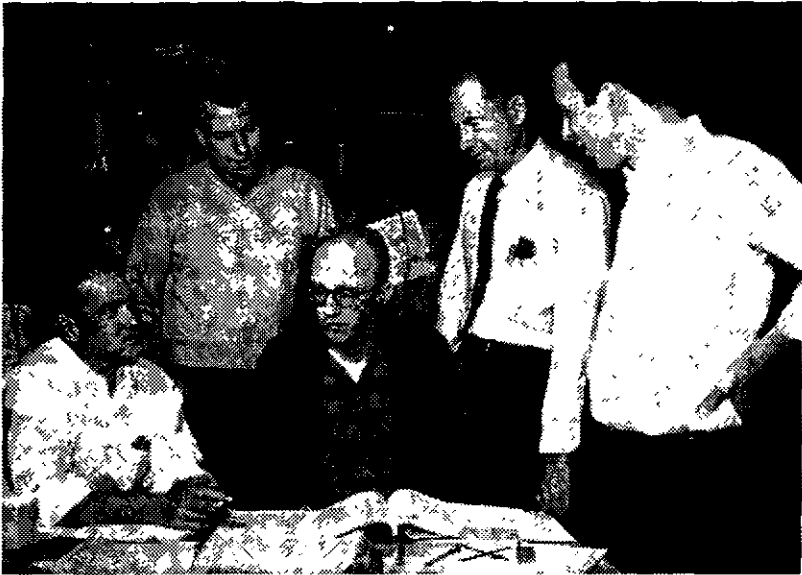


Рис. 7.1. Члены исследовательской группы, открывшей антипротон. Слева направо: Том Элиофф, Боб Бакенштосс, Руди Ларсен, Клайд Виганд, Том Ипсилантис (фото Тома Ипсилантиса).

множество протонных сигналов, изменили направление магнитного поля на обратное для регистрации антипротонов. Вскоре были зафиксированы первые события — кандидаты в антипротоны. Тем, кто держал пари против антипротонов, пришлось раскошелиться. В результате этого эксперимента, в котором на протяжении трех месяцев регистрировались антипротоны, удалось показать, что массы протона и антипротона различаются не более чем на 5 процентов.

Вскоре это открытие было подтверждено проведенным на Беватроне экспериментом, который наглядно продемонстрировал существование антипротона. Вместо сложного электронного детектора в этом эксперименте использовалась фотоэмульсия типа той, что применялась европейскими исследователями в пионерских работах по космическим лучам. Одним из членов исследовательской группы был итальянский физик Эдоардо Амальди, который в свое время обнаружил в фотоэмульсии нечто, похожее на след антипротона, однако не был до конца уверен. Эффектная звезда, оставленная в фотоэмульсии созданным на Беватроне антипротоном, пополнила коллекцию физиков-собирателей суб-

ядерных частиц. Сегре и Чемберлен получили Нобелевскую премию по физике в 1959 г., т. е. спустя год после того, как эта премия была присуждена Павлу Черенкову за открытие излучения*, которое носит его имя и сыграло тогда столь важную роль в этом эксперименте.

Антипротон явился шагом на пути к открытию еще одной античастицы. В 1957 г. Билл Корк, Глен Ламбертсон, Орест Пиччони и Билл Вентцель начали поиски антипротонного компаньона по «антиядру» — антинейтрона. Это оказалось более сложной задачей. Поскольку антинейтрон не обладает электрическим зарядом, его можно непосредственно обнаружить лишь по взаимодействию с другими частицами. Исследовательская группа в Беркли направила антипротоны в сосуд, заполненный сцинтиллирующей жидкостью. За ним располагались счетчики, регистрирующие прошедшие заряженные частицы, которые потом попадали в стеклянный радиатор черенковского детектора. В эксперименте наблюдалось семьдесят четыре события, в которых падающие антипротоны теряли свой заряд в первом сцинтилляционном счетчике; расположенные далее чувствительные детекторы не фиксировали прохождение заряженной частицы, а черенковский детектор регистрировал взаимодействие в радиаторе. В этих взаимодействиях антипротон терял свой электрический заряд в первой мишени и превращался в антинейтрон, который проходил незамеченным через детекторы заряженных частиц и в конце концов попадал в одно из ядер стеклянного радиатора черенковского детектора и аннигилировал с одной из субъядерных частиц, а продукты аннигиляции создавали характерные вспышки.

Проблемы антипротона и антинейтрона были решены; следующий шаг заключался в создании антиядра. Первый образец ядерной антиматерии был получен в 1965 г. амбициозным итальянским физиком Антонио Зикики. Простейший атом — атом водорода — построен из электрона, совершающего орбитальное движение вокруг протона. Ядром этого атома служит единственная частица. В природе, однако, примерно каждый десятитысячный атом водорода устроен иначе — его ядро по-прежнему содержит единственный протон (иначе это бы был уже не водород), с которым связан одиночный нейтрон. Атомная масса такого «тяжелого» водорода — *дейтерия* — равна двум единицам, а его ядро, состоящее из пары протон — нейтрон, является простей-

* С П. А. Черенковым эту премию разделили И. Е. Тамм и И. М. Франк, которым принадлежало объяснение природы этого излучения. — *Прим. перев.*

шим из сложных ядер и называется *дейтроном*. Вода D_2O , содержащая дейтерий — *тяжелая вода* — на 10% тяжелее обычной воды. Используя в европейской лаборатории ЦЕРН в Женеве тщательно сепарированный пучок отрицательно заряженных частиц для увеличения потока антипротонов, Зикики обнаружил антидейтроны, каждый из которых состоит из одного антипротона и одного антинейтрона. Антиядро можно смастерить точно так же, как и обычное ядро.

ИЗОБИЛИЕ ЧАСТИЦ И АНТИЧАСТИЦ

В конце 50-х годов к в Космотрону в Брукхейвене и Беватрону в Беркли добавились еще более мощные ускорители — один в Брукхейвене, а другой — в Аргонне близ Чикаго. Эти гигантские машины стоили огромных денег. Ни одна из стран в Европе не могла позволить себе таких расходов. Чтобы не отставать от американцев, западноевропейские государства объединились под эгидой ЦЕРНа и своими силами построили мощный ускоритель в Женеве (Швейцария). На новом поколении ускорителей протонов был снят неожиданно богатый урожай новых частиц. Куда бы экспериментаторы ни обращали свой взгляд, всюду можно было обнаружить новые частицы. Поначалу цель состояла в объяснении структуры ядра, но вскоре началась «золотая лихорадка», и об исходной задаче забыли в погоне за новыми частицами. Университеты быстро разрастались, и не было лучшего способа занять профессорскую должность, чем сделать заявку о новой частице.

Все эти новые частицы оказались крайне нестабильными и существовали в течение ничтожной доли секунды, после чего распадались на более легкие частицы. Однако частиц было слишком много. Все это напоминало ситуацию с химическими элементами в середине девятнадцатого века, пока аналитические методы химии не были усовершенствованы. Порядок там был наведен Дмитрием Ивановичем Менделеевым. Он показал, что, располагая элементы в определенном порядке, удается обнаружить удивительное сходство между элементами, которые на первый взгляд кажутся совершенно различными. Например, газообразный фтор оказывается близким родственником кристаллического йода. Фундаментальные принципы, лежащие в основе систематики элементов, стали понятны в начале двадцатого века благодаря открытию электронной структуры атома. Закономерности Периодической системы Менделеева отражают квантовоб-

механический порядок размещения электронов в атоме. Чем обусловлено появление огромного числа новых элементарных частиц в 50-е годы? Что служит причиной рождения этих частиц и что заставляет их затем распадаться?

Мюррей Гелл-Манн сыграл в физике элементарных частиц ту же роль, что и Менделеев в химии. Гелл-Манн родился в Нью-Йорке. Еще юношей он был не по годам развит интеллектуально. Прирожденный математик, Гелл-Манн был настоящим эрудитом и интересовался языком и фонетикой. Это отражается даже в его фамилии с двумя ударными слогами. Однако в физику он пришел не сразу. В начале 50-х годов он присоединился к школе Энрико Ферми в Чикаго. Там Гелл-Манн решил исследовать причины «эпидемии» нестабильных частиц и попытаться выявить какие-нибудь скрытые закономерности. Задача была трудной, и он стремился найти простое решение.

Животные бывают всевозможных видов и размеров, однако их можно классифицировать, скажем, по количеству ног. У рыб и змей нет ног, у человека и обезьян две ноги, у большинства млекопитающих — четыре, у насекомых — шесть. С точки зрения продолжения рода количество ног оказывается важным фактором: чтобы брачный союз оказался продуктивным, животное должно спариваться с особью, имеющей такое же количество ног. Можно сказать, что при размножении число ног должно оставаться сохраняющейся величиной. Вместе с тем на временных масштабах порядка времен эволюции число нижних конечностей не играет никакой роли — предки всех живых существ вышли из моря, и у них не было ног. Гелл-Манн рассудил, что с элементарными частицами дело может обстоять таким же образом, и попробовал найти для них эквивалент количеству нижних конечностей. Электрический заряд сохраняется всегда. В физике существует и другая аналогичная ему величина, называемая *гиперзарядом*. Каждая субъядерная частица характеризуется обеими величинами — зарядом и гиперзарядом. Электрический заряд сохраняется всегда, а гиперзаряд остается неизменным только на интервалах времени порядка времени рождения частицы и не сохраняется на больших временах, когда она распадается.

Термин *гиперзаряд* пришелся Гелл-Манну не по вкусу, и он придумал взамен другой термин — *странность*. Рождавшиеся на новом протонном ускорителе нестабильные частицы были и в самом деле странными — почему бы их так и не назвать? Большинству приверженцев традиционной физики не понравилось, что странность станет количественной характеристикой. Основ-

ные частицы они привыкли называть *-онами*, а новые частицы обозначали, используя буквы греческого алфавита; предложение Гелл-Манна они сочли эксцентричным и не вполне серьезным. Предложенный им термин *странные частицы* следовало заметить на «новые нестабильные частицы».

В 1954 г. Гелл-Манн переехал из Чикаго в Калтех. К этому времени более тридцати нестабильных субъядерных частиц уже было описано в литературе, и большинство из них обладало геллманновской *странностью*. Используя математическое понятие симметрии для построения двумерных диаграмм, Гелл-Манн обнаружил, что частицы, обладающие электрическим зарядом и странностью, естественным образом размещаются в соответствии с геометрическими диаграммами, содержащими по восемь, а иногда по десять частиц. Эти диаграммы были своего рода субъядерным эквивалентом групп и периодов в менделеевской системе химических элементов. Юваль Нееман, занимавшийся в Лондоне физическими исследованиями параллельно с исполнением своих официальных обязанностей в качестве военного атташе Израиля, пришел к тем же идеям и построил такие же диаграммы.

На чем была основана эта новая классификация? Математически семейства из восьми и десяти членов возникают из различных способов размещения трех основных элементов. Эту идею высказали одновременно Гелл-Манн и Джордж Цвейг — другой исследователь из Калтеха. Нееман также понимал значение этого фундаментального триплета. Гелл-Манн-лингвист стремился соблюдать правильное произношение, однако, когда речь зашла о его собственной науке, он предпочел дать этому триpletу бессмысленное название. В своей книге *The Quark and the Jaguar* (1994) Гелл-Манн говорит, что когда ему впервые пришла мысль о существовании трех основных составляющих, он стал называть их про себя «кварки». Фонетические пристрастия Гелл-Манна во многом определялись новаторским языком романа Джеймса Джойса *Finnegan's Wake* («Поминки по Финнегану») (1939). Окунувшись в мир этой книги, Гелл-Манн задержался на фразе «три кварка* для Мастера Марка». Поскольку упоминались три кварка, это слово выглядело подходящим для тройственной математической структуры. Для Гелл-Манна было важно, как это слово будет звучать. Будет ли «кварк» рифмоваться с «Марк», как у Джойса? Поминки по Финнегану — это сон трактирщика Хемфри Чимплена Эрвикера, а повторяющиеся требования выпивки за стойкой — его

* По-немецки Quark означает творог. — Прим. перев.



Рис. 7.2. «Мистер Кварк» — Мюррей Гелл-Манн в лондонском пабе с рукописью своей книги *The Quark and the Jaguar* (фото Мориса Джакоба).

лейтмотив. Гелл-Манн посчитал, что «три кварка» должны были означать «три кварты» — три квартиры для Мастера Марка, так что кварк рифмовался с «кворком» — его собственным фонетическим изобретением. Но как бы это слово ни звучало, для остальных физиков оно было еще менее приемлемым, нежели «странность». Они считали, что столь небрежное отношение к терминологии умаляет значимость их профессии. И все же на радость Гелл-Манну термин *кварк* прижился. Теперь, однако, большинство людей произносят его неправильно. По Гелл-Манну оно должно рифмоваться с «корк»*, а не с «Марк».

Один из трех кварков Гелл-Манна обладал странностью — схожим с зарядом свойством, которое он ввел десятью годами ранее. Два других кварка, присутствующие в обычных протонах и нейтронах, похожи друг на друга, как братья-близнецы. Физики называют их *u*-кварком и *d*-кварком**.

Когда появились кварки, настало время и для их двойников из антимира — антикварков. Массивные субъядерные частицы типа протона или нейтрона ведут себя так, как если бы они состоя-

* По-английски *cock* означает пробка. — *Прим. перев.*

** От англ. *up* — вверх и *down* — вниз. — *Прим. перев.*

ли из трех кварков. Протон состоит из двух u -кварков и одного d -кварка, а нейтрон — из одного u -кварка и двух d -кварков. В отличие от нейтрона антинейтрон состоит из одного u -антикварка и двух d -антикварков. Более легкие частицы вроде пионов состоят из пар кварк — антикварк. В мире кварков античастицы играют очень важную роль. Объединяясь друг с другом, кварки и антикварки образуют множество экзотических частиц. Все эти частицы нестабильны, и поэтому они не обнаруживаются в обычной материи.

Кварковая теория неотразима, однако поначалу физикам не хотелось соглашаться с тем, что протон и нейтрон состоят из более «элементарных» частиц. Они считали, что кварковая «структура» — не более чем математический трюк. Однако эксперименты конца 60-х и начала 70-х годов обнаружили свидетельства в пользу существования кварков. Эти эксперименты стали своего рода возвратом к Резерфордским опытам шестидесятилетней давности, в которых было обнаружено атомное ядро. Подобно тому как Резерфорд увидел, что альфа-частицы рассеиваются чем-то скрытым в недрах атома, последние эксперименты показали, что крошечные электроны рассеиваются чем-то внутри протонов. По сравнению с протоном кварки столь же малы, как и ядро по сравнению с атомом! Однако в отличие от атома, в котором большая часть пространства между орбитальными электронами и ядром оказывается пустой, субъядерные частицы типа протонов заполнены постоянно возникающими и исчезающими кварк-антикварковыми парами. В недрах протона всегда присутствуют античастицы.

— Тебя я взяла бы с удовольствием, — откликнулась Королева. — Два пенса в неделю и варенье на завтра!

Алиса рассмеялась.

— Нет, я в горничные не пойду, — сказала она. — К тому же варенье я не люблю!

— Варенье отличное, — настаивала Королева.

— Спасибо, но сегодня мне, право, не хочется!

— Сегодня ты бы его все равно не получила, даже если б очень захотела, — ответила Королева. — Правило у меня твердое: варенье на завтра! И только на завтра!

— Но ведь завтра когда-нибудь будет сегодня!

— Нет, никогда! Завтра никогда не бывает сегодня! Разве можно проснуться поутру и сказать: «Ну, вот, сейчас наконец завтра»?

— Ничего не понимаю, — протянула Алиса. — Все это так запутано!

— Просто ты не привыкла жить в обратную сторону, — добродушно объяснила Королева. — Поначалу у всех немного кружится голова...

— В обратную сторону! — повторила Алиса в изумлении.

— Никогда такого не слыхала!

— Одно хорошо, — продолжала Королева. — Помнишь при этом и прошлое, и будущее!

— У меня память не такая, — сказала Алиса. — Я не могу вспомнить то, что еще не случилось.

— Значит, у тебя память неважная, — заявила Королева.

(Льюис Кэрролл. «Алиса в Зазеркалье»)

Когда Алиса оказалась в Зазеркалье, ее опыт ограничивался тем, что она знала о своем привычном мире по эту сторону камина — Алиса была плохо подготовлена к особенностям мира за зеркалом. Фейнман показал, что для антиматерии все идет, по выражению Королевы, «в обратную сторону», поэтому антиматерию естественно рассматривать как своего рода зазер-

кальный мир. Впрочем, этот мир очень необычен, и преподносимые им сюрпризы удивили бы даже опытную Алису.

В обычном зеркале правое кажется левым, а левое — правым. Винт с правой резьбой выглядит в зеркале как винт с левой резьбой. Подобно силам тяготения, представление о правом и левом глубоко укоренилось в человеческом сознании. По традиции, «правый» значит «справедливый», «праведный» (правое дело), тогда как «левый» означает «незаконный». Наряду со значением «левый» латинское прилагательное «*sinister*» означало также «злополучный», «зловещий». По сложившимся в восемнадцатом веке обычаям французского дворянства традиционалисты располагались справа, а их оппоненты — слева. Эта традиция сохранилась в названиях правого и левого крыла политических партий.

Все живые существа вынуждены противостоять силам гравитационного тяготения и обнаруживают заметную асимметрию в вертикальном направлении. Ноги и корни совсем непохожи на головы и цветы. Животные также асимметричны в горизонтальном направлении, поскольку им удобнее смотреть туда, куда они двигаются. Вместе с тем в повседневной жизни правое мало отличается от левого, поэтому живым существам присуща симметрия правого-левого, по крайней мере, на первый взгляд. При более внимательном рассмотрении, однако, оказывается, что это не так. Чарльз Лютвидж Доджсон, которого все знают как Льюиса Кэрролла, автора книг «Алиса в стране чудес» и «Алиса в Зеркалье», был немного асимметричнее, чем большинство людей: один глаз и одно плечо у него были немного выше. Внутренние органы у нас расположены несимметрично, но это не так заметно. Как будто стремясь подчеркнуть эту едва заметную асимметрию, люди предпочитают асимметричные прически и детали одежды, например карманы и застёжки. Если изобразить пейзаж в зеркальном отражении, то почти никто этого не заметит. В то же время, внимательно приглядевшись к одежде, мы в состоянии сказать, что фотография по небрежности напечатана не той стороной, даже если не знакомы с изображенным на ней человеком.

АСИММЕТРИЯ В ПРИРОДЕ

Человеческое тело на первый взгляд симметрично в отношении левого и правого, однако около 90% людей предпочитают использовать только одну руку. Различия между правым и левым может показаться лишь чистой условностью, вроде карманов и застёжек. Многие вещи собраны с использованием винтов с



Рис. 8.1. Дихлорметан. Атомы в молекуле дихлорметана могут располагаться в различном порядке. Молекула слева совпадает со своим отражением в зеркале перед ней, а молекула справа выглядит в зеркале как опрокинутая.

правой резьбой, однако они были бы ничуть не хуже, если в их сборке использовать винты с левой резьбой. Отвертка одинаково хорошо справляется со своей задачей при вращении в обоих направлениях. Если имеется какой-нибудь асимметричный объект или процесс, то вполне могут существовать и их зеркальные отражения. «Правое» можно определить как свойство «той руки, которую предпочитают использовать большинство людей». Однако при ближайшем рассмотрении оказывается, что асимметрия в Природе имеет более глубокие корни.

Расположение атомов в сложных молекулах изучается специальным разделом науки — стереохимией. Когда одни и те же атомы располагаются по-разному, то получаются молекулы, имеющие одинаковый химический состав, но различные структуры, которые не являются взаимным зеркальным отражением. Такие молекулы с различным расположением атомов называются *стереоизомерами*. Стереоизомеры часто встречаются среди сложных органических молекул. Простейшим примером может служить молекула дихлорметана $C_2H_2Cl_2$, изображенная на рис. 8.1.

Подобная асимметрия может привести к образованию молекул, являющихся зеркальным отражением друг друга, но обладающих различными свойствами. Декстроза (глюкоза) имеет правовинтовую структуру. Энзимы позволяют усваивать только декстрозу. Некоторые природные подсластители имеют левовинтовую структуру, не усваиваются и поэтому некалорийны. К сожалению, слишком поздно пришло понимание того факта, что свойства фармакологического препарата талидомид*

* Талидомид явился причиной крупнейшего скандала в истории фармацевтической промышленности. В конце 50-х годов талидомид был популярным седативным средством. Вскоре, однако, выяснилось, что этот препарат является тератогеном и вызывает тяжелые врожденные уродства. «Талидомидная катастрофа» заставила власти многих стран пересмотреть процедуру контроля лекарственных препаратов. Позднейшие исследования, однако, показали, что талидомид можно эффективно использовать для лечения ряда тяжелых заболеваний, например лепры, туберкулеза, рака и даже СПИДа. — *Прим. перев.*

существенно зависят от ориентации атомов в его молекулах. Большинство аминокислот, являющихся строительным материалом живой материи, на фундаментальном уровне имеет левовинтовую структуру. Другим свидетельством важности ориентации для живой материи явилось легендарное открытие Джеймсом Уотсоном и Фрэнсисом Криком в 1953 г. наследственного субстрата живых существ — двойной спирали ДНК. Молекулы ДНК располагаются вдоль двух напоминающих лестницу-стремянку нитей, которые затем сворачиваются в двойную спираль.

Вплоть до середины 50-х годов физики полагали, что субатомным процессам свойственна зеркальная симметрия. Если бы в те годы вы спросили об этом любого физика, то он ответил бы, что на субатомном уровне Природа не делает различий между винтами с левой и правой резьбой. Однако тогда мало кто задумывался над этим вопросом. Электрон — частица, обладающая собственным вращательным моментом, спином, и из уравнения Дирака следует, что его спин может иметь одно из двух направлений — либо вверх (вращение по часовой стрелке наподобие винта с правой резьбой, либо вниз (вращение против часовой стрелки наподобие винта с левой резьбой). Вращающийся по часовой стрелке электрон выглядит в зеркале как электрон, вращающийся против часовой стрелки. В природе существуют оба типа электронов, так что не было никаких оснований полагать, что процессы, в которых участвуют электроны, будут отличаться от их зеркальных двойников. Хотя «часы» левовинтового электрона выглядят иначе, чем «часы» правовинтового электрона, они ходят одинаково.

В квантовой физике представлению о зеркальной (левой-правой) симметрии соответствует закон сохранения *четности* — величины, аналогичной электрическому заряду. В отличие от заряда четность не может накапливаться. Подобно обычному выключателю, четность может принимать одно из двух значений — либо -1 (когда величина нечетная), либо $+1$ (когда величина четная). Физики считали, что четность вступающих в реакцию частиц (положительная или отрицательная) остается неизменной и для продуктов реакции. Понятие четности оказалось эффективным средством для проверки расчетов и позволило отказаться от сложных мысленных манипуляций с зеркальными отражениями.

В начале 50-х годов, когда Уотсон и Крик поражали воображение человечества рассказами о двойной спирали ДНК, внимание физиков было приковано к двум новым нестабильным, электрически нейтральным частицам, которые были названы *тау* и *меза*. Согласно физической терминологии эти частицы являют-

ся *странными* — они несут гелл-манновский дополнительный «заряд» — странность. Распадались они совершенно по-разному и имели разную четность — положительную и отрицательную. Поскольку тогда шла охота за новыми частицами, этим двум новым частицам поначалу обрадовались. Однако расчеты, основанные на анализе продуктов распада, показали, что тау и тета имели одинаковые массы. Два работавших тогда в США молодых и прилежных китайских ученых Чженьнин Янг («Фрэнк») и Тзундао Ли сочли странным, что две совершенно различные частицы имеют одинаковые массы, и выдвинули предположение, что, несмотря на различную четность, тета и тау являются двумя обличьями одной и той же частицы.

Янг и Ли приехали в Чикаго из своего родного Китая в 1946 г. Янг поначалу работал с Энрико Ферми, а Ли в то время изучал астрофизику. С 1951 по 1953 г. они вместе работали в Принстонском институте перспективных исследований — в те годы там работал и Эйнштейн. Затем Ли перебрался из Принстона в Колумбийский университет (Нью-Йорк), однако они продолжали совместную работу, ломая голову над загадкой новых частиц, — ученые подозревали, что двойственность тета-тау нельзя принимать за чистую монету. Может ли одна и та же частица распадаться двумя различными способами? Чтобы допустить такую возможность, Ли и Янгу пришлось отказаться от некоторых исходных посылок теории. Когда для спасения тонущего судна сбрасывают балласт, тяжелые предметы оказываются весьма кстати.

Существовало два, на первый взгляд, твердо установленных положения относительно квантового поведения частиц. Во-первых, считалось, что квантовое поведение не меняется при зеркальных отражениях: левые частицы выглядят как правые частицы, но в целом все остается по-прежнему, и процессы идут с той же скоростью. Во-вторых, поведение квантовых частиц не изменится при отражении в зеркале, в котором частицы выглядят как античастицы, и наоборот — в таком зеркале античастицы будут вести себя как частицы. Ли и Янг подвергли сомнению существование обеих симметрий, которые просто *предполагались* вполне обоснованными. Они показали, что для процессов распада частиц эти предположения ни разу не были убедительно доказаны.

Физик-экспериментатор Цзиньсян Ву из Колумбийского университета, Нью-Йорк, была специалистом по бета-распаду — ядерному процессу, в котором нейтрон в ядре распадается с образованием протона. Бета-распад был открыт Резерфордом в 1898 г. и является одним из радиоактивных процессов, при ко-

торых нестабильное ядро превращается в более стабильное. Узнав о догадках Ли и Янга, Ву предложила поставить новый эксперимент с использованием радиоактивного изотопа кобальта. Несущее электрический заряд ядро кобальта имеет спин и ведет себя подобно крошечному магнетику. Идея Ву состояла в том, чтобы выстроить оси этих магнетиков в одном направлении, используя сильное магнитное поле, как если бы это были стрелки обычных компасов. Чтобы стрелки ядерных компасов не отклонялись от исходного направления и оставались параллельными магнитному полю, их следовало заморозить жидким гелием. Таким образом, в этом эксперименте имелось выделенное направление, и идея состояла в том, чтобы выяснить, сможет ли это повлиять на испускание электронов. Если бы подозрения Ли и Янга были беспочвенными и зеркальная симметрия действительно имела место, то число электронов, вылетающих в результате бета-распада в направлении магнитного поля, т. е. в направлении ориентации спина распадающихся ядер, было бы равно числу электронов, вылетающих в противоположном направлении. Подготовка эксперимента заняла больше времени, чем его проведение. 29 декабря 1956 г. Ву позвонила Ли. Электроны испускались неравномерно и предпочитали вылетать в направлении, противоположном магнитному полю, выстроившему вращающиеся по часовой стрелке ядра. В январе 1957 г. было получено окончательное подтверждение — когда направление магнитного поля было изменено на обратное, чтобы выстроить ядра кобальта в противоположном направлении, электроны также изменили направление вылета. При бета-распаде электроны оказались чувствительны к направлению.

Эти результаты явились не просто небольшой поправкой. Обнаруженная в эксперименте Ву поразительная 40%-ная асимметрия оставалась незамеченной более полувека. Все считали, что электроны при бета-распаде вылетают симметрично по всем направлениям, и никто не дал себе труда усомниться в этом. 15 января 1957 г. на первой полосе в *New York Times* появилась статья под заголовком «Опровергнут основной физический принцип». На субатомном уровне Природа оказалась несимметричной. Четность оказалась несохраняющейся величиной. Левое теперь можно было отличить от правого с помощью физического эксперимента. В зеркале Алисы «дымок» от бета-распада опускался бы вниз по дымоходу. В том же году Ли и Янгу, которым исполнилось 31 год и 35 лет, соответственно, была присуждена Нобелевская премия по физике, а их открытие стало поворотным пунктом в физике.

Ли и Янг также подвергли сомнению обоснованность предположения о наличии симметрии между частицами и античастицами. Для исследования такой возможности было поставлено два эксперимента — один из них проводился Ричардом Гарвином, Леоном Ледерманом и Марселем Вайнрихом в Колумбийском университете, Нью-Йорк, а другой — Джеромом Фридманом и Валентином Телегди в Чикагском университете. В этих экспериментах наблюдалось последовательное превращение частиц, в которых пион распадался с образованием мюона, а тот, в свою очередь, превращался в электрон. В экспериментах обнаружилось, что мюон возникает с предпочтительной ориентацией собственного момента. В случае распада положительно заряженных пионов спин мюона был направлен противоположно направлению его движения. Пион с отрицательным зарядом является античастицей положительно заряженного пиона. При его распаде возникает мюон, спин которого направлен вдоль направления его движения. Если посмотреть в зеркало, в котором частицы выглядят как античастицы, то «дымок» из античастиц будет опускаться вниз по каминной трубе.

Эти нарушения симметрии поколебали основы физики. Привыкшие проявлять осторожность при интерпретации своих экспериментов, физики пришли в замешательство, обнаружив, что почва уходит у них из-под ног. Вольфганг Паули писал: «Я справился с первым потрясением и начинаю снова собираться с мыслями...»

Научные представления были основательно поколеблены, и некоторые физики озабоченно искали новые симметрии, в зеркале которых квантовый мир отражался бы без изъяна. Ответ нашел Паули. В субъядерном мире каминное зеркало Алисы следовало заменить обобщенным зеркалом, в котором происходит сразу три отражения, а именно: частица заменяется соответствующей античастицей, меняются местами правое с левым и изменяется направление стрелы времени. Физики обозначают эти три преобразования отражения латинскими буквами *C* (от англ. *charge* — заряд), *P* (от англ. *parity* — четность) и *T* (от англ. *time* — время). В зеркале СРТ-преобразования Алиса превращается в анти-Алису, жизнь которой идет задом наперед. Паули заявил, что субъядерный мир и его отображение в подобном зеркале должны выглядеть одинаково. Радиоактивность в СРТ-зеркале явится источником позитронов, а не электронов, и «антидымок», как и полагается, станет подниматься вверх по дымоходу.

СТРАННЫЙ МИР КАОНОВ

Головоломку тау-тета-частиц в конце концов удалось разгадать. Тау и тета оказались одной частицей, несмотря на то, что имели противоположные четности и распадались различным образом. Эту частицу назвали К-мезоном, или каоном; она электрически нейтральна и имеет единичную положительную странность. Соответствующая каону античастица также электрически нейтральна и должна иметь единичную отрицательную странность. Тау-тета-дилемма была решена, но возникла другая загадка: почему одна и та же частица может вести себя по-разному при распаде? Если четность не сохраняется, что происходит?

Каоны и антикаоны рождаются, когда частица космических лучей с высокой энергией сталкивается с каким-нибудь ядром в атмосфере или когда созданный в ускорителе пучок частиц высокой энергии падает на мишень. Как и электрический заряд, странность должна сохраняться в этих процессах, поэтому в них рождается одинаковое число каонов и антикаонов. Стоит, однако, странной частице появиться на подмостках субъядерного мира, как ей тут же становится не по себе, и она старается улизнуть со сцены — не успев родиться, такие частицы стремятся избавиться от своего странного и неудобного обличья и распадаются на другие, «нестранные», частицы. Странность строго сохраняется в процессах, в которых каоны рождаются, однако она перестает играть роль при их последующих распадах. Нейтральный каон и соответствующая ему античастица распадаются одинаковым образом, так что, наблюдая за частицами, возникающими в этих процессах, невозможно определить, распадается частица или античастица. Как вообще можно пометить пучок нейтральных каонов?

Чаще всего нейтральный каон распадается на две частицы (на два пиона) с положительной четностью. Однако он может распадаться и на три частицы с отрицательной четностью. Распадаться на три частицы труднее, чем на две, поскольку распадающемуся каону придется потрудиться, чтобы создать дополнительную массу. Трое отпрысков всегда обходятся дороже двух. Если дочерние частицы более приметны, чем родительские, то имеет смысл классифицировать исходные частицы по продуктам их распада. В арабском мире из почтения к родителю принято добавлять к имени новорожденного младенца имя отца с частицей «ибн», означающей «сын такого-то». Напротив, в честь прославившегося человека его отец может добавить к своему имени имя

сына с частицей «абу», означающей «отец того-то». Следуя этому принципу, в обычном пучке нейтральных каонов и соответствующих антикаонов можно выделить два сорта частиц: одни быстро распадаются на две частицы, а другие существуют в сотни раз более продолжительное время, прежде чем распадаются на три дочерние частицы. В физике принято говорить о короткоживущих и долгоживущих нейтральных каонах.

Распады на два и на три пиона имеют глубокий смысл. Несмотря на то, что зарядовое сопряжение C и пространственная инверсия P здесь оказываются в немилости, предложенная Паули CPT -симметрия для антиматерии все же могла бы работать, если бы нарушения C - и P -симметрий каким-то образом компенсировали друг друга так, чтобы CP -зеркало, меняющее местами правое с левым и частицы с античастицами, давало правильное отражение. Короткоживущие и долгоживущие нейтральные каоны обладают различными свойствами по отношению к комбинированному преобразованию CP , являясь симметричными и антисимметричными соответственно. Два пиона выглядят совсем иначе, нежели три пиона. Нейтральный каон явился естественной моделью для проверки CP -симметрии. Нейтральный каон следует характеризовать не просто положительной или отрицательной четностью, а четностью по отношению к комбинированному преобразованию CP . Является ли эта новая комбинированная четность сохраняющейся величиной?

Тем временем загадочный каон преподнес еще несколько квантовых сюрпризов. Если предоставить пучок нейтральных каонов самому себе, то на расстоянии нескольких метров его короткоживущие составляющие исчезнут и останется, очевидно, чистый пучок из долгоживущих каонов, распадающихся на три пиона. Если, однако, этот пучок попадет на металлическую мишень, то каоны в нем испытают «встряску», и состав пучка изменится. Пучок нейтральных каонов, в котором только что не было короткоживущей компоненты, вновь становится смесью из долгоживущих и короткоживущих частиц. Короткоживущие каоны, которые распадаются на два пиона, опять возникают как по волшебству (рис. 8.2). Этот фокус с исчезновением и последующим возникновением в физике называется *регенерацией*; в нем нет ничего волшебного — это всего лишь эффектная демонстрация квантовомеханического поведения. Не существует другого объяснения, почему короткоживущие каоны возникают вновь после того, как их время истекло. По словам Ричарда Фейнмана, «это вовсе не ловкий фокус-покус. Мы просто довели принцип супер-

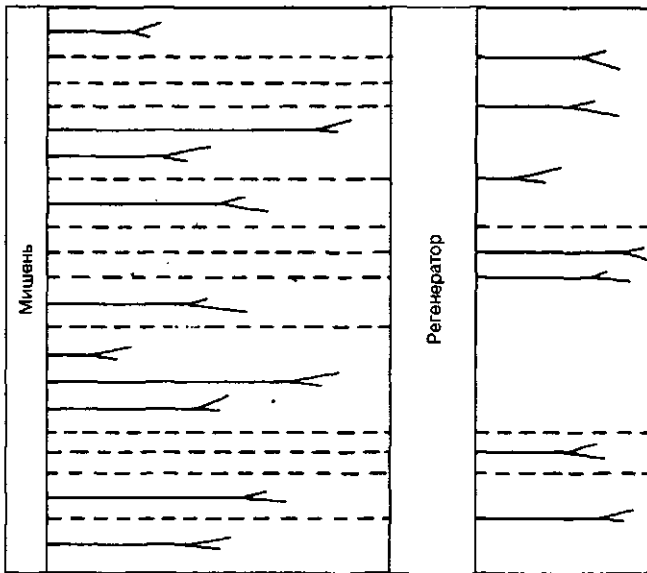


Рис. 8.2. Регенерация нейтральных каонов. В пучке нейтральных каонов на расстоянии нескольких метров его короткоживущие составляющие исчезают, и остается, очевидно, чистый пучок из долгоживущих каонов, распадающихся на три пиона. Если, однако, этот пучок попадает на металлическую мишень, то каоны в нем испытывают взаимодействие, и кварковый состав пучка изменяется. Пучок нейтральных каонов, в котором только что не было короткоживущей компоненты, вновь становится смесью из долгоживущих и короткоживущих частиц.

позиции (из квантовой механики) до его логического завершения. И это сработало».

В 1963 г. эта сверхъестественная регенерация заинтересовала Джеймса Кронина и Вела Фитча, которые работали тогда в Бруксгейвене. Они соорудили детектор на территории, называемой «Внутренней Монголией» — труднодоступном пятачке в центре кольца бруксгейвенского ускорителя. Чтобы добраться до этого места, приходилось перелезть через кольцо ускорителя, поэтому мало кто туда навещался. Там росли дикие орхидеи и порхали бабочки, которых Кронин и Фитч ненадолго потревожили тем летом. К октябрю они завершили свои измерения и приступили к анализу данных. Их интересовали каоны на периферии пучка. Поскольку никакого вещества, «встряхивающего» кварки, на пути пучка не было, они рассчитывали, что будут наблюдаться только характерные трехчастичные распады. Но там обнаружилось

кое-что еще. Обескураженные увиденным, они посчитали, что это — «обман зрения» и что эффект исчезнет по мере накопления данных. Однако необъяснимый эффект наблюдался вплоть до конца года, когда подошло время готовить доклады к важной конференции, проводившейся в Вашингтоне весной следующего, 1964 г. Кронин и Фитч по-прежнему не до конца понимали, что они обнаружили, и послали расплывчатую аннотацию доклада. Их доклад принят не был, поскольку они непреднамеренно нарушили правила — аннотация должна была состоять из одного абзаца, а у них она содержала два. Их доклад на вашингтонской конференции в апреле 1964 г. так и не состоялся. Последующие шесть месяцев Кронин и Фитч разбирались со своим необъяснимым результатом и в попытках отделаться от него вновь и вновь перепроверили данные. Исчерпав все мыслимые возможности, 10 июля они решились на публикацию. Ученые обнаружили, что приблизительно один из пятисот долгоживущих каонов распадается на два, а не на три пиона. Когда Ли и Янг продемонстрировали ненадежность зеркал «частица — античастица» и «левое — правое», физики понадеялись, что им поможет комбинированная CP-симметрия. Однако в этом жутком мире нейтральных каонов CP-зеркало также дало трещину.

Нейтральный каон отличается от антикаона только странностью. Беда в том, что стоит нейтральному каону появиться на свет, как он перестает отличаться странностью от своих братьев. Нейтральные каоны по своей природе абсолютные близнецы — они отличаются друг от друга только при рождении, а затем навсегда становятся совершенно тождественными друг другу. Возникнув, нейтральный каон может «забыть» о своей странности, и его вполне можно спутать с антикаоном и наоборот. В распаде каонов отражается их фактическая, а не врожденная странность.

Вследствие нарушения CP-симметрии распад нейтральных каонов позволяет однозначно определить, что является положительным зарядом. Вопрос о том, какой заряд является положительным, а какой отрицательным, нельзя решить просто подбрасыванием монеты. Это может показаться странным, но факт остается фактом — именно электрически нейтральный каон определяет, какой стороной упадет эта монета, или знак заряда. Нарушение CP-симметрии также предопределяет, что является материей, а что антиматерией. Прежде чем вступить в контакт с пришельцем из далекой галактики, не мешает сначала выяснить, из чего он состоит — из материи или антиматерии. Поскольку рукопожатие с антипришельцем приведет к полной

взаимной аннигиляции, было бы разумно в целях предосторожности сначала предложить ему проверить нарушение CP -четности в эксперименте с нейтральными каонами и сообщить о результате. Только после этого можно будет решить, следует ли назначать ему встречу.

Если CPT -симметрия справедлива для антиматерии, то симметрия по отношению к обращению времени должна нарушаться, поскольку нарушается и CP -симметрия. Нейтральные каоны каким-то образом оказываются чувствительными к направлению стрелы времени — что-то вроде улицы с односторонним движением в микромире. В последующих экспериментах «врожденная» странность каонов сопоставлялась с их странностью при распаде; это позволило проследить, как каоны превращаются в антикаоны и наоборот. Сравнение скорости превращения каонов в антикаоны со скоростью превращения антикаонов в каоны демонстрирует нарушение симметрии по отношению к обращению времени, причем это нарушение точно компенсирует нарушение CP -симметрии. Оба явления взаимно компенсируются, обеспечивая тем самым CPT -инвариантность.

В повседневной жизни стрела времени имеет вполне определенное направление. Не стоит труда заметить когда кинолентку крутят в обратном направлении: ныряльщики бросают вызов гравитации, брызги воды внезапно растворяются в неподвижной глади бассейна, осколки сами собой склеиваются в целые предметы. При обращении времени на больших масштабах взрослые становятся детьми, усопшие встают из мертвых. Жизнь — это непрерывная борьба с неупорядоченностью. Вещи со временем изнашиваются или ломаются. В космических масштабах галактики продолжают разлетаться: расширяющаяся Вселенная — следствие Большого Взрыва. Здесь изменение направления стрелы времени также изменит все до неузнаваемости. Однако в фундаментальной теории время — это лишь дополнительная переменная. Одиночный атом водорода не изнашивается. Если снять его на пленку и просмотреть ее задом наперед, мы не увидим ничего необычного.

Для определения конечного состояния частицы необходимо учесть все возможные события, в том числе и те, что произойдут с ней в будущем. Исходя из этого, Фейнман выдвинул гипотезу о том, что античастицы — это частицы, движущиеся вспять во времени. Чтобы обеспечить такие перемещения во времени, Фейнман потребовал, чтобы уравнения работали одинаково хорошо независимо от того, куда направлена стрела времени. Казалось,

что на субатомном уровне только симметрия по отношению к обращению времени является фундаментальной и нерушимой. Однако в нескольких случаях из тысячи при просмотре «фильма» о распаде каона в обратном направлении мы оказываемся не в состоянии вернуться в исходную точку. Нейтральные каоны «ставят» некий вентиль в потоке времени, так что события могут происходить только в одном направлении. Нейтральные каоны состоят из кварков, и новые результаты показывали, что эта кварковая конструкция эволюционирует во времени необратимым образом. Кварки в нейтральных каонах «выдают их возраст».

Является ли не вполне ясная связь между причудливым миром нейтральных каонов и направлением течения времени простой случайностью или же она свидетельствует о чем-то более глубоком? Несмотря на то что значение результата Кронина и Фитча для всех стало ясным с самого начала, прошло целых шестнадцать лет, прежде чем в 1980 г. они удостоились Нобелевской премии за открытие нарушения CP-инвариантности.

АНДРЕЙ САХАРОВ

В 1965 г. талантливый советский ученый Андрей Сахаров заинтересовался космологией, теорией происхождения Вселенной и проблемой, почему она имеет такую сложную структуру. Сахаров взял новейший результат по нарушению CP-симметрии — одно из самых неуловимых мыслимых различий между поведением материи и антиматерии в самых крошечных из доступных воображению масштабах — и, переосмыслив его, предложил решение величайшей проблемы космологии — вопроса, почему в видимой Вселенной нет антивещества. Сахаров сказал, что, возможно, необычные свойства нейтрального каона были ключом к пониманию Вселенной.

Отец Сахарова был автором учебника по физике. В детстве Сахаров учился дома. Его успехи в стенах Московского университета были прерваны Второй мировой войной, и он стал работать инженером на военном заводе в Ульяновске — городе на берегу Волги. Здесь он впервые столкнулся с нуждой. Вернувшись к своим научным исследованиям в Физическом институте имени Лебедева АН СССР в Москве, Сахаров произвел огромное впечатление на влиятельного ученого Игоря Тамма. В 1958 г. Тамм разделил Нобелевскую премию с Павлом Черенковым и Ильей Франком, а в 40-х годах он участвовал в советской программе по

созданию ядерного оружия. Опекаемый Таммом, Сахаров сыграл важную роль в процессе создания советской водородной бомбы. Несмотря на то что работы над ней начались намного позднее, чем в США, первая советская водородная бомба была взорвана в 1953 г., т.е. менее чем через год после испытания первой американской водородной бомбы в 1952 г. На Сахарова потоком посыпались почести — он был удостоен звания Героя Социалистического Труда, Сталинской и Ленинской премий, а затем в возрасте тридцати двух лет был избран членом престижной Академии наук СССР, став одним из самых молодых ученых, когда-либо удостоенных этого звания.

Впоследствии Сахаров вспоминал о гнетущей обстановке глубокой секретности, в которой в те годы создавалась бомба. Все записи и вычисления должны были вестись в специальных тетрадах с пронумерованными страницами. Рабочие тетради запирались в конце дня в сейф, а когда какие-либо страницы в этих тетрадах больше не были нужны, они сжигались, причем об их уничтожении составлялся акт. Работавшая над бомбой секретная группа отправила одну из таких пронумерованных тетрадей в соседний институт прикладной математики с просьбой провести некоторые вычисления. Когда эти вычисления были выполнены, а их результаты переданы обратно в группу, работавшую над бомбой, секретарь в установленном порядке сжег исходящий запрос, но забыл составить акт о его уничтожении. Спустя некоторое время эту «пропажу» заметили, и местного начальника службы безопасности, старавшегося аккуратно справиться с обязанностями по уничтожению бумаг, вызвали к самому большому начальству. Такие вызовы редко означали продвижение по службе. Проведя, как обычно, выходные со своей семьей, ответственный за безопасность рано утром в понедельник пришел на работу и застрелился. Его помощник более года провел в тюрьме. Несмотря на все это, Сахаров благоденствовал и был счастлив возможностью трудиться на пользу своего отечества. После работы над водородной бомбой он переключился на проблему управляемого термоядерного синтеза и стал одним из соавторов идеи удержания термоядерной реакции в тороидальной магнитной ловушке, получившей впоследствии всемирную известность под названием токамак.

После работы над атомным оружием и управляемым синтезом Сахаров изменил свое отношение к гонке вооружений, и во многом благодаря его активности советское руководство пошло на подписание Договора об ограничении ядерных испытаний

1963 года. Затем Сахаров увлекся стремительно нарождающимися физическими теориями. Полученный Кронином и Фитчем результат привлек его внимание к вопросу, почему сейчас во Вселенной не обнаруживается антиматерия, если при ее рождении в Большом Взрыве материи было, по-видимому, создано столько же, сколько и антиматерии. Куда девалась вся эта изначально созданная антиматерия? Сахарова также смущал факт наличия во Вселенной гораздо больше излучения, чем вещества. «В среднем» в одном кубическом метре во Вселенной содержится миллиард квантов излучения и всего один протон.

До 1924 г. не удавалось найти удовлетворительное решение эйнштейновских уравнений общей теории относительности. Затем советский математик Александр Фридман показал, что эти уравнения допускают существование постоянно расширяющейся Вселенной. Если Вселенная расширяется, то это не могло продолжаться бесконечно. Некогда в далеком прошлом ее расширение должно было начаться с крохотной искорки, которая послужила детонатором для Большого Взрыва. Субъядерные частицы возникли в огненном горниле Большого Взрыва, где сверхмощное излучение приводило к рождению всевозможных пар частица — античастица. По мере остывания Вселенной рождалось все меньше пар частица — античастица, а те, что уже существовали, могли аннигилировать друг с другом с образованием излучения. Согласно этой упрощенной картине на любой стадии развития Вселенной в ней должно быть равное число частиц и античастиц.

Сахаров решил посмотреть, что в среднем приходится на один кубический метр объема Вселенной. Там был миллиард квантов излучения, один протон и ни одного антипротона. Сразу после Большого Взрыва тот же объем содержал бы миллиард квантов излучения, миллиард антипротонов и миллиард плюс один протон. Сахарова эти цифры не удовлетворяли. Откуда берется этот лишний протон? Куда исчезла антиматерия? Сахаров допускал, что удаленные галактики в принципе могут быть построены из антиматерии, но в то же время ему было известно, что антивещество не было обнаружено среди частиц космических лучей — посланцев из глубин Вселенной. Еще более важным было то обстоятельство, что он не видел причин, в силу которых могло произойти такое разделение на материю и антиматерию. Антиматерия исчезла с карты Вселенной, и Сахаров стремился понять, почему это произошло.

Исчезновение антиматерии Сахаров объяснил следующим образом. Во-первых, в определенный момент Большой Взрыв

был так грандиозен, что рождение пар частица — античастица какое-то время происходило слишком интенсивно, и пар рождалось больше, чем превращалось опять в излучение. Теперь космологи знают, что скорее всего так и было — размеры Вселенной в настоящее время намного больше сферы, образованной светом от вспышки Большого Взрыва. Когда-то скорость расширения Вселенной была больше скорости света. Мы еще не видели большей части Вселенной. Несмотря на то что свет распространяется со скоростью 300 000 километров в секунду, времени существования Вселенной — примерно пятнадцати миллиардов лет — ему не хватило, чтобы дойти до нас. Вселенная огромна, и открытый космос между галактиками чрезвычайно однороден. Каким образом участки Вселенной, удаленные друг от друга на расстояния, превышающие пути, пройденные светом Большого Взрыва, «узнали», что они должны быть похожи друг на друга? В первые доли секунды после Большого Взрыва Вселенная, по-видимому «раздувалась» со скоростью больше скорости света, и пары частица — античастица рождались быстрее, чем успевали аннигилировать.

Во-вторых, по мнению Сахарова, что-то должно было сместить равновесие в пользу материи. Открытие Кронина и Фитча имело отношение к стреле времени, и это позволило Сахарову думать, что он нашел нужный ответ. Но было ли достаточно слабого субъядерного эффекта, впервые наблюдавшегося в Брукхейвенской лаборатории в 1964 г., для объяснения отсутствия антивещества в масштабах всей Вселенной? Физики считали, что, по всей видимости, это не так. Однако на выручку могли прийти другие кварки. Тяжелые кварки с более экзотическими, чем странность, свойствами могут создать заметный эффект. В центре внимания современных физических исследований находится процесс рождения W -частиц, содержащих b -кварк (от англ. *beauty* — красота) в количествах, достаточных для анализа связи со стрелой времени.

Третий довод Сахарова в пользу Вселенной без антиматерии, вероятно, труднее всего принять. Сахаров предположил, что протон — этот краеугольный камень Мироздания — может оказаться нестабильным. Предоставленный самому себе и заполненный кварками, протон должен распадаться на электроны и другие легкие частицы. Но разве это возможно? Само существование заполненной атомными ядрами Вселенной кажется несовместным с такой гипотезой. Однако Сахаров отметил, что требуемый уровень нестабильности протона настолько мал, что ее почти невоз-



Рис. 8.3. Андрей Сахаров был первым, кто понял, как образовалась материальная Вселенная, которая на ранней стадии состояла из равных долей материи и антиматерии (фото ЦЕРНа).

можно обнаружить. Ожидаемый Сахаровым уровень нестабильности протона таков, что если собрать вместе все протоны, распавшиеся за все пятнадцать миллиардов лет истории Вселенной, то по сравнению с оставшейся ее частью они выглядели бы, как крупинка в четверть миллиметра по сравнению со спутниками Сатурна! Тем не менее этот эффект пытаются обнаружить в эксперименте; его замысел состоит в том, что если долго наблюдать за достаточно большим числом протонов, то какой-нибудь из них рано или поздно распадется и оставит характерный след.

Продолжая разработку этих идей, Сахаров стал испытывать муки совести. В середине 60-х годов он все более критически относится к коррупции и силовым методам в советской системе и указывает на то, как односторонние кремлевские решения приводят к отсталости в технологии и имеют результатом повсеместное загрязнение окружающей среды. Повсюду были цензура, бюрократия и алкоголизм. Сахаров предпринял бесстрашную, почти безрассудно храбрую кампанию как политик и в 1974 г. на-

чал одну из четырех серьезных голодовок с целью придать вес своему посланию о правах человека в Советском Союзе. При присуждении Нобелевской премии мира 1975 года о нем говорилось как о «воплощенной совести человечества», однако, не получив визы, он не смог выехать в Осло для получения своей награды. Критика советского вторжения в Афганистан в 1979 г. привела к его ссылке в Горький, где он предпринял серию героических голодовок. Однако в 1986 г. с наступлением перестройки он стал номинальным, не облеченным реальной властью лидером нового движения, поборником прав человека, живым примером стойкости убеждений. Но годы голодовок и плохих условий нанесли тяжелый урон его здоровью, и он умер 14 декабря 1989 г., этот подвижник перестройки. Его наследием стала одна из самых ярких физических гипотез — почти незаметная асимметрия в поведении некоторых субъядерных частиц по отношению к обращению времени позволяет объяснить, почему Вселенная такова, какой мы ее видим. Эта почти незаметная асимметрия создала игольное ушко, сквозь которое прошла Вселенная, изначально состоявшая из равных долей материи и антиматерии и затем превратившаяся во Вселенную без антивещества.

По-видимому, эти асимметрии действительно являются ключом к разгадке Вселенной, однако их настолько трудно обнаружить, что точно подогнать этот ключ к замку оказывается нелегким делом. На заре третьего тысячелетия новейшие экспериментальные установки начинают «массовое производство» В-частиц, которые состоят из более тяжелых кварков, чем кварки в каонах. Это делается, чтобы получить новые данные о нарушении CP-инвариантности, при котором обращение времени, возможно, выявит еще большие асимметрии и тем самым позволит найти ключ, который повернется с меньшим усилием.

В сентябре 1956 г. 30-летний пакистанский физик возвращался в Кембридж (Великобритания) из Сиэтла после физической конференции. Вместо того чтобы воспользоваться обычным рейсом, Абдус Салам вылетел самолетом военно-воздушных сил США, направлявшимся на военную базу в Англии. В то время ВВС США оказывали щедрую поддержку научным исследованиям европейских университетов — это было отголоском послевоенных времен, когда научно-исследовательская деятельность финансировалась главным образом американским военным ведомством. Работавшие в Европе физики могли тогда бесплатно летать через Атлантику самолетами военной авиатранспортной службы MATS (*Military Air Transport Service*) — такие рейсы организовывались для американских военнослужащих и членов их семей.

Эти рейсы и выполнявшие их самолеты были крайне неудобными, однако европейские ученые охотно ими пользовались. Для вылета нужно было явиться на военно-воздушную базу США, а британский терминал располагался очень далеко — в Милденхолле (графство Суффолк). Вместо билетов было множество копий «полетного предписания», которые одна за другой сдавались на различных этапах поездки. Самолеты тогда были винтовыми и утомительно тихоходными. — перелет из Милденхолла до военно-воздушной базы в Нью-Джерси занимал около пятнадцати часов. В полете кино не показывали, и в самолетах часто было много семейств с маленькими детьми, которые возбужденно и шумно реагировали на перспективу оказаться дома или в другой стране. Особенно неудобным был ночной перелет с запада на восток.

На физической конференции в Сиэтле Салам ознакомился с соображениями Янга и Ли по поводу нарушения симметрии на субъядерном уровне. Исторические эксперименты по проверке этих идей еще не начались, однако восприимчивый к новым иде-

ям Салам был готов поверить в то, о чем говорили Ли и Янг. Издавая монотонный гул, самолет военно-воздушных сил США летел в ночном мраке на восток, а Салам пытался понять, что именно в ядерных распадах могло бы привести к нарушению симметрии.

УКРАДЕННАЯ ЭНЕРГИЯ

В начале двадцатого века физики обнаружили, что ядро может распадаться тремя различными способами, которые, как и следовало ожидать, получили названия альфа-, бета- и гамма-радиоактивности в соответствии с типом испускаемых при этих распадах частиц. При альфа-распаде испускается ядро гелия — альфа-частица, при бета-распаде — электроны, а при гамма-распаде — просто излучение. (В 1939 г. к этому списку добавился новый тип распада — деление ядер.)

Эксперименты, в которых изучался бета-распад, оказались в тупике еще за тридцать лет до происшествия с четностью. Количество вещества в продуктах этого распада было меньше энергии исходного ядра. Кроме того, собственные вращения (спины) частиц продуктов распада не соответствовали спину исходного ядра. Если распадается обладающее спином ядро, то спины его продуктов должны в сумме дать спин ядра до распада. Однако при бета-распаде либо испускалось нечто неуловимое, либо масса и спин просто исчезали, что по сути одно и то же. Физикам не хотелось отказываться от золотого правила — закона сохранения энергии: во всех физических процессах прибыль и убыль энергии точно равны друг другу. Однако в те годы новые квантовые представления поколебали многие заветные принципы, и Нильс Бор — творец представления об электронных орбитах в атоме — публично заявил о своей готовности распрощаться с точным энергетическим балансом на квантовом уровне. Бор заявил, что, вероятно, в квантовом мире энергия может исчезать бесследно.

В физике субъядерных частиц энергия всегда играла роль твердой валюты. Могут ли ее запасы бесследно улечься? В 1931 г. Вольфганг Паули, который редко оказывался не в состоянии сформулировать новую идею, нерешительно предложил выход из этого энергетического кризиса, который он назвал «крайней мерой». Выступая на конференции в Пасадене, Калифорния, Паули высказал допущение, что помимо электрона при бета-распаде испускается еще одна частица, которая уносит часть энергии, но которую не удается обнаружить. Эта невиди-

мая частица не имеет собственной массы и обладает только кинетической энергией движения. К тому же она вращается наподобие электрона. Он заявил, что единственный способ обнаружить присутствие этих частиц — сравнить то, что было до распада, с тем, что осталось после него. Однако даже вольнодумцу Паули эта идея казалась слишком искусственной, и он ограничился устным докладом, не представив письменных материалов; тем не менее его высказывания не ускользнули от недремлющего ока отдела научной хроники в *New York Times*.

Хотя Паули публично озвучил эту идею впервые, упоминал он о ней и раньше. В декабре 1930 г. Паули получил приглашение на конференцию по радиоактивности в Тюбингене, Германия, однако предпочел остаться в Цюрихе, чтобы в канун Рождества пойти там на танцевальный вечер. В декабре 1929 г. Паули женился на танцовщице Кете Депне, но брак не удался с самого начала, и танцовщица предпочла Паули общество химика Пауля Гольдфингера. Развод состоялся в ноябре 1930 г.; Паули тогда писал: «Я бы понял, если бы ее выбор пал на тореадора, но заурядный химик...».

Паули вел легкомысленный образ жизни, и ему страшно хотелось пойти на танцы. Он отправил в Тюбинген письмо с извинениями, что не может участвовать в конференции, и намекнул собравшимся там «уважаемым радиоактивным дамам и господам», что их проблемы с бета-распадом могут быть решены, если прибегнуть к помощи невидимых частиц, уносящих часть энергии и спин. Паули предложил назвать эти прозрачные частицы нейтронами, и в течение нескольких лет невидимые легкие нейтроны Паули путали с электрически нейтральными частицами, предложенными Резерфордом в качестве составных частей ядра. Последние были обнаружены в Кембридже в 1932 г.; эти ядерные частицы имели право первенства на название «нейтрон», поэтому для гипотетической частицы Паули пришлось подыскивать другое имя. С этой проблемой справился в Риме Энрико Ферми, назвавший частицу Паули *нейтрино*, что по-итальянски означает «маленькая нейтральная».

Роль нейтрино сводилась к тому, чтобы незаметно похищать энергию — что-то вроде субъядерного энергетического ворюшки. Чтобы оставаться невидимой, эта частица должна быть незаметной для всех частиц на своем пути. Но риску подвергаются даже искусственные в своем ремесле грабители. Каковы пределы для нейтрино оставаться незамеченным? В Германии в 1934 г. Ханс Бете и Рудольф Пайерлс подсчитали, что, прежде чем поглотить-

ся каким-нибудь ядром, одиночное нейтрино способно пересечь воображаемый океан, размеры которого сравнимы с расстоянием между галактиками. Поразмыслив над своим устрашающим результатом, Бете и Пайерле пришли к выводу, что наличие нейтрино можно установить лишь на основе баланса энергии. Сложите все, что было вначале, и все, что осталось в конце: любая невязка должна быть отнесена за счет нейтринной кражи. Подобно субъядерному Робин Гуду, нейтрино перераспределяет субъядерные блага, не будучи пойманным. Через несколько лет Бете и Пайерле уехали из Германии и продолжали работать: Бете — в Соединенных Штатах, а Пайерле — в Объединенном Королевстве. Оба они были тесно связаны с исследованиями ядерной энергии, но в 1934 г. ни Бете, ни Пайерле не осознавали, что у ядерной энергии есть будущее и что однажды будут построены ядерные реакторы. И, конечно же, они не догадывались о том, что эти реакторы будут создавать мощные потоки нейтрино.

Когда Бете и Пайерле подсчитывали, что, прежде чем оказаться поглощенным, нейтрино должно пересечь океан межгалактических размеров (толщину воды в 1000 световых лет), они имели в виду, что столь огромное препятствие даст одиночному нейтрино шанс быть поглощенным. Если же плавательный бассейн будет более скромных, скажем, земных размеров, то вероятность захвата нейтрино уменьшится в миллиарды миллиардов раз. Если бы на всей Земле было только два обитателя, то вероятность их встречи была бы очень мала. Если же обитателей десять миллиардов, то малой становится вероятность ни с кем не встретиться. Один шанс из миллиарда миллиардов, что нейтрино поглотится в плавательном бассейне — это ничтожно мало. Но если удастся получить многие миллиарды нейтрино, то вероятность того, что несколько из них поглотятся, уже не будет пренебрежимо малой.

ВИДЯ НЕВИДИМОЕ

В 1945 г. на сцене неожиданно появился новый мощный источник нейтрино. Атомная бомба высвободила невиданное число призрачных частиц Паули. Впрочем, она создавалась совсем для других целей. Во время Второй мировой войны американские военные в рекордные сроки построили в Лос-Аламосе лабораторию, задача которой заключалась в создании оружия массового уничтожения. Когда в 1945 г. эта страшная цель была достигнута, многие из работавших в Лос-Аламосе ученых, в том

числе Бете и Пайерлс, вернулись обратно в свои университеты, однако в Лос-Аламосе продолжались работы по созданию вооружений. Получив на какое-то время возможность отойти от зловещих работ, исследователи из Лос-Аламоса смогли вернуться к решению других физических задач. В 1951 г. двое молодых ученых — Фредерик Рейнес и Клайд Коуэн — как раз нуждались в подобной интеллектуальной разрядке. Поразмыслив, они пришли к выводу, что при взрыве атомной бомбы испускается такое огромное количество нейтрино, что несколько из них можно будет зарегистрировать. Ученые приступили к проектированию детектора, который смог бы вблизи выдержать взрыв атомной бомбы, но оставался бы при этом достаточно чувствительным, чтобы зарегистрировать крайне редкие события с нейтрино. Поначалу они рассчитывали поместить свой детектор в вакуумную камеру, чтобы защитить его от возникающей при взрыве бомбы ударной волны. Однако это оказалось слишком сложным. Время проведения такого эксперимента составляет лишь долю секунды. Если что-нибудь окажется не так, до для проведения эксперимента придется ждать следующей бомбы. Рейнес и Коуэн решили поступить иначе и пометить детектор на ядерном реакторе. Реактор испускает нейтрино не с такой интенсивностью, как при взрыве атомной бомбы, но детектор может просто стоять около реактора и ждать... Быть может, одно нейтрино из реактора поглотится протоном в детекторе, в результате чего образуются нейтрон и позитрон. Этот антиэлектрон тут же аннигилирует с образованием излучения, которое можно зарегистрировать.

В 1953 г. созданный Рейнесом и Коуэном опытный образец 300-литровой нейтринной мишени на реакторе в Хэнфорде, Вашингтон, позволил обнаружить редкие сигналы. Однако интенсивность счета была слишком низкой. Количество вылетающих из реактора нейтрино было недостаточно, чтобы число маловероятных столкновений возросло и обеспечило достоверный результат. Чтобы добиться желанной цели, Рейнес и Коуэн перенесли на более мощный реактор — Саванна Ривер, Южная Калифорния, и использовали в пять раз большую нейтринную мишень. В течение 100 дней они регистрировали по три нейтринных отсчета в час. Число нейтрино, вылетающих из реактора, было известно, и скорость счета согласовывалась с результатами расчетов, которые Бете и Пайерлс проделали двадцать лет назад. Изобретательность и терпение Рейнеса и Коуэна, подкрепленные мощным потоком нейтрино из реактора, подтвердили, что

предсказанные Паули частицы действительно существуют. Нейтрино перестали быть невидимками. 14 июня 1956 г. два американских физика отправили Паули в Цюрих следующую телеграмму: «Счастливы сообщить Вам, что мы определенно зарегистрировали нейтрино». Потребовалось 25 лет, чтобы предсказание Паули подтвердилось, и прошло еще почти 40 лет, прежде чем Рейнес был приглашен в 1995 г. в Стокгольм для вручения Нобелевской премии. К сожалению, Клайд Коуэн скончался в 1974 г.

ЧАСТИЦА-ЛЕВША

В ту сентябрьскую ночь 1956 года мысли Абдуса Салама в полете были поглощены недавним открытием нейтрино и идеей о нарушении зеркальной симметрии. «Я не мог заснуть, — вспоминал он. — Я все время думал о том, зачем Природе понадобилось нарушать зеркальную симметрию... Теперь отличительной чертой большинства типов взаимодействий стала причастность к радиоактивным явлениям нейтрино Паули. Когда я пролетал над Атлантикой, мне вспомнился очень серьезный вопрос о нейтрино, который Рудольф Пайерлс задал мне на экзамене несколько лет назад: почему у нейтрино нулевая масса?».

В 1949 г. Салам приехал на стажировку в Кембридж, имея весьма смутное представление о новых идеях Фейнмана и Швингера в квантовой электродинамике. Восприняв эти идеи в рекордно короткий срок, он стал применять их к другим частицам. Опубликовав серию статей, в 1951 г. Салам возвратился в Пакистан и стал в возрасте 25 лет профессором Пенджабского университета в Лахоре. По местным меркам новая должность Салама была весьма престижной, однако он чувствовал себя оторванным от новостей и стимулирующей, волнующей атмосферы новейших исследований; кроме того, в Лахоре не было соответствующей современным требованиям библиотеки. Салам осознал, что не может обходиться без всего этого, и в 1954 г. он простился с родиной, чтобы вернуться назад, в Кембридж, на этот раз в качестве преподавателя университета.

Подобно Фейнману, Салам был наделен острой интуицией, которая помогала справляться с самыми неподатливыми задачами. Так, например, когда Пайерлс спросил Салама, почему масса нейтрино равна нулю, тот догадался, что Пайерлс не выясняет его уровень подготовки, а просто забавляется, задавая вопрос, на который никто, даже сам Пайерлс, не знает ответа. Ответ пришел

Саламу в ту неуютную ночь в небе над Атлантикой. Сидя в своем тесном кресле, Салам записал прототип уравнения для нейтрино. Оно напоминало уравнение Дирака для электрона, описывающее частицы и античастицы со спином, направленным либо вверх, либо вниз, но в него по-другому входили четырехкомпонентные дираковские матрицы. Вспомнив вопрос Пайерлса о невесомом нейтрино, Салам опустил массовый член в своем уравнении. Он тут же заметил, что матрицы действуют подобно выключателю вращения — нейтрино могло вращаться только в одну сторону. Салам понял, что безмассовое нейтрино подобно микроскопическому буравчику, просверливающему свой путь в пространстве со скоростью света. Ни одна частица не может угнаться за движущимся со скоростью света нейтрино, поэтому не существует удобной позиции, с которой можно было бы рассмотреть его спин. Он всегда будет направлен в одну сторону. Подобно уравнению Дирака, имеющему электронные и позитронные решения, уравнение Салама описывает нейтрино и антинейтрино. Эти две частицы вращаются в противоположных направлениях — одна по часовой стрелке, другая против часовой стрелки. Единственная неоднозначность заключалась в том, в какую сторону вращаются нейтрино и антинейтрино — вращается ли нейтрино по часовой стрелке, а антинейтрино против часовой стрелки или же наоборот? Уравнение справедливо в любом случае. Ответ на этот вопрос, каким бы он ни был, не имел значения для Салама в ту ночь. Обычный винт с правой резьбой в зеркале выглядит как винт с левой резьбой, точно так же и нейтрино в зеркале уже не будет выглядеть как нейтрино. Оно будет выглядеть как антинейтрино. Салам понял, что виновником нарушения симметрии при радиоактивном распаде было нейтрино — эта прозрачная частица Паули.

На следующее утро Салам ликовал; торопливо сойдя с самолета, он на всех парах помчался в свой маленький кабинет в Кембридже, где справился в некоторых книгах и вывел несколько следствий из своей новой теории. По-видимому, все получалось, и это еще больше подняло его настроение. Салам поспешил на поезд в Бирмингем, где жил Пайерлс, чтобы сообщить знаменитому физика, что он наконец нашел ответ на вопрос, заданный в шутку несколько лет назад. Пайерлс был удивлен, увидев Салама в дверях, но выслушал все, что тот хотел сказать. Его ответ был вежливым, но твердым: «Я полагаю, что зеркальная симметрия вообще не может нарушаться». Салам слишком рано постучался в дверь к Пайерлсу: миссис Ву пока еще только готовила свой

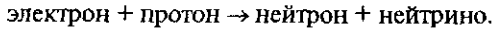
грандиозный эксперимент в Колумбийском университете. Однако в молодости Салам был настойчив и передал свою статью о нейтринно одному физику, который собирался встретиться в Цюрихе с Паули — «отцом» этой частицы. Скоро пришел ответ: «Передайте привет моему коллеге Саламу и посоветуйте ему заняться чем-нибудь другим».

Салам был подавлен и колебался, прежде чем отправить в печать свою идею о безмассовом нейтринно. Четыре месяца спустя, 24 января 1957 года, Паули опять написал Саламу. После публикации результатов Ву по проверке зеркальной симметрии в распаде кобальта идеи Салама подтвердились, и Паули изменил свое мнение. Тем временем Ли и Янг в Соединенных Штатах и Лев Ландау в России пришли к аналогичным результатам относительно нейтринно и его зеркального отражения. Однако у Паули была такая оговорка: «Некоторое время я относился к этой конкретной модели с определенным скептицизмом, поскольку мне казалось, что роли нейтринно придавалось излишне большое значение».

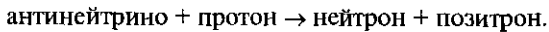
Физикам по-прежнему предстояло выяснить, как ориентированы спины нейтринно и антинейтринно. Теория безмассового нейтринно находилась в положении Алисы, которая, проснувшись, не могла понять, находится ли она в Зазеркалье или по ту же сторону, что и камин. Из теории лишь следовало, что нейтринно и антинейтринно движутся в пространстве со скоростью света, вращаясь в противоположных направлениях. Только эксперимент мог определить, в какую именно сторону вращается винт — влево для нейтринно и вправо для антинейтринно, или же наоборот. Экспериментальное обнаружение нейтринно само по себе явилось триумфом и поразило многих физиков. Главной задачей теперь было определить направление вращения нейтринного винта.

Морис Гольдхабер начал изучать физику в Еврейском университете в Иерусалиме. Вскоре после переезда в Берлин в 30-х годах ему вновь пришлось собирать чемоданы, на этот раз для переезда в Кембридж, где под руководством Резерфорда он провел свои первые эксперименты с нейтронами. В 1938 г. он снова переезжает, теперь уже в Соединенные Штаты. Узнав об открытии нейтринно и о дилемме с его вращением, Гольдхабер поставил феноменально тонкий эксперимент, в котором при поглощении ядром электрона один протон превращался в нейтрон и испускалось нейтринно. Когда вращающееся нейтринно вылетает из ядра, ядро приобретает отдачу, но при этом вращается в том же на-

правлении, что и нейтрино. После многократного повторения тщательных измерений экспериментаторы огласили полученный результат — ядро отдачи вращается против часовой стрелки, поэтому нейтрино тоже вращается против часовой стрелки, т. е. является «левовинтовым». Двойник нейтрино — антинейтрино является «правовинтовым». Наблюдавшийся Гольдхабером процесс был таким:



Если перенести частицы по другую сторону стрелы времени, то они превратятся в античастицы, и эта реакция запишется в виде:



Это та самая реакция, которую Рейнес и Коуэн обнаружили в 1956 г. на Саванна Ривер. На самом деле поток частиц от реактора состоял из антинейтрино. В случае с нейтрино античастицу открыли раньше, чем саму частицу!

ТЕОРИЯ И ТРАГЕДИЯ

Механизмы с одинаковым успехом можно собирать, используя болты как с левой, так и с правой резьбой. Это всего лишь вопрос привычки, по которой мы закручиваем их по часовой стрелке и откручиваем в обратном направлении. Однако Природа дала нам только левовинтовые нейтрино. Если это кому-то не понравится и он захочет увидеть правовинтовые нейтрино, ему придется обратиться к другому набору частиц — антиматерии. Но с этим набором следует обращаться предельно аккуратно. Если случайно ввернуть болт из антиматерии в механизм из обычного вещества, то последствия будут ужасными!

Нейтрино не несет электрического заряда. Несмотря на то что эта неуловимая частица проносится сквозь материю со скоростью света, с ней в течение нескольких лет кряду может ничего не происходить. Поэтому различие между нейтрино и антинейтрино, вращающимися соответственно по и против часовой стрелки, оказывается еще более неуловимым.

В 1936 г. у неизменно застенчивого молодого итальянского физика по имени Этторе Майорана сложилось иное представление о нейтрино. Майорана сначала работал в Риме с Энрико Ферми, затем уехал за границу, где работал сначала в Копенгагене с Нильсом Бором, а затем в Лейпциге с Вернером Гейзенбергом.

По возвращении в Италию он собирался получить постоянную работу в каком-нибудь университете — в Италии традиционно это делается по результатам открытого конкурса. С этой целью Майорана собрался с мыслями и написал трактат «Симметричная теория электронов и позитронов», в котором предусматривалось существование дополнительной нейтральной частицы, являющейся одновременно собственной античастицей. Майорана предположил, что нейтрино и антинейтрино — это одна и та же частица с двумя ориентациями спина, отвечающими вращению как по часовой стрелке, так и против часовой стрелки. Чтобы это было так, нейтрино должно обладать массой, и, следовательно, его можно догнать, имея «зеркало», движущееся со скоростью света. В этом зеркале нейтрино будет вращаться в противоположном направлении. Другие электрически нейтральные частицы, например нейтральный пи-мезон (пион), совпадают со своими античастицами. Почему этого не может быть и с нейтрино?

Эта теория позволила 31-летнему ученому стать в 1937 г. профессором теоретической физики в университете Неаполя. Исследовательская работа нуждается в стимулах, но в Неаполе Майоране не с кем было даже поговорить. Ему впервые пришлось читать лекции и беседовать со студентами, однако это было совсем не то общение, которого ему так не хватало. Более того, исполнение всех этих обязанностей давалось ему с большим трудом. Он подолгу засиживался в своем кабинете, а когда выходил из него, то никогда не шел по середине коридора, а старался держаться ближе к стенам. 25 марта 1938 г. отчаявшийся ученый отправил главе своего факультета телеграмму следующего содержания: «Я только что принял окончательное решение. В нем нет ни капли эгоизма, и я отдаю себе отчет в том, сколько неприятностей мое внезапное исчезновение доставит вам и студентам... Пожалуйста, передайте привет всем, кого я знал и ценил... и о ком я сохраню добрые воспоминания, по крайней мере, до 11 часов сегодняшнего вечера, а может быть, и дольше».

Сицилиец Майорана отправился на пароме из Неаполя в Палермо. На следующее утро из Палермо он послал еще одну телеграмму в университет: «Надеюсь, вы уже получили мою телеграмму. Море отвергло меня, и я возвращаюсь в Неаполь... Я по-прежнему намерен отказаться от преподавательской деятельности». На следующий день паром вернулся в Неаполь, но Майораны на нем не было. С тех пор его больше никто не видел, несмотря на усиленные поиски, обещание вознаграждения и даже личное вмешательство Муссолини. По-видимому, Майорана

решил покончить с собой и утопился, однако ему не хватило на это мужества во время первой поездки.

Исчезновение Майораны было сокрушительным ударом для итальянской физики. Но вслед за первым вскоре последовал и другой. В тот же год Энрико Ферми, в семье которого были евреи, получил Нобелевскую премию по физике и после церемонии вручения премии в Стокгольме вместо возвращения в Италию отправился в Соединенные Штаты, где пробыл вплоть до завершения своей трудовой деятельности. Ферми умер от рака в возрасте 53 лет в 1954 г.

Памятником Майоране стала его идея о том, что нейтрино и его античастица тождественны; физики теперь говорят о «частице Майораны». Существует серьезный экспериментальный метод проверки. Если гипотеза Майораны верна, то два процесса бета-распада ядра могут «взаимно скомпенсировать» друг друга и привести к «двойному безнейтринному бета-распаду», при котором заряд ядра изменяется на две единицы (вместо одной при обычном бета-распаде), но нейтрино не испускается, ибо нейтрино при первом бета-распаде инициирует второй распад. Этот эффект чрезвычайно трудно обнаружить, но физики терпеливо его ищут, а новые эксперименты ставятся и по сей день. Хотя Майорана, по всей видимости, умер много лет назад, его плодотворные идеи по-прежнему живы.

Впоследствии возникли новые смелые идеи, согласно которым предсказанное безмассовое нейтрино на самом деле должно обладать крошечной массой, составляющей примерно ту же долю от массы электрона, которую масса электрона составляет от массы атома. Некоторые результаты уже получены, однако для подтверждения этих гипотез потребуются масштабные эксперименты и годы накопления данных. Нейтрино легко не расстанутся со своими секретами. Как бы там ни было, безмассовое нейтрино Салама является, по крайней мере, очень хорошим приближением к реальности.

Сразу после создания своей теории Салам, которому был тогда 31 год (в том же возрасте Майорана приехал в Неаполь), стал профессором теоретической физики в престижном лондонском Имперском колледже науки и технологии. Помимо проведения физических исследований Салам много сил отдавал поощрению наук в развивающихся странах. Сохранив живые воспоминания о том, в какой изоляции он оказался по возвращении на родину в 1951 г., в 1964 г. Салам основал Международный центр теоретической физики в Триесте (Италия), который и по сей день является



Рис. 9.1. Абдус Салам на церемонии вручения ему Нобелевской премии 1979 года в Стокгольме, первый пакистанец, получивший эту престижную награду (фото ICTP, Триест).

исследовательским центром мирового уровня и в котором подающие надежды молодые ученые со всего мира могут в самом начале своей деятельности получить представление об исследованиях на передовых рубежах науки. Кульминация в научной карьере Салама была достигнута в 1979 г., когда он совместно с американскими учеными Шелдоном Глэшоу и Стивеном Вайнбергом получил Нобелевскую премию по физике за объединение электромагнетизма с силами, которые участвуют в реакциях с нейтрино и называются в физике *слабыми взаимодействиями*. Объединение двух совершенно различных явлений природы явилось кульминационным пунктом продолжавшейся четверть века работы, первые шаги которой были сделаны Энрико Ферми. Это объединение возникло в XX веке как эквивалент максвелловского объединения электричества и магнетизма в рамках единой теории — электромагнетизма. Последний шаг был сделан Вайнбергом и Саламом независимо друг от друга в 1967 г., почти столетие спустя после опубликования Максвеллом его знаменитых уравнений. *Электрослабая теория* — этот термин придумал Салам в 1978 г. — позволила представить столь различные явления, как вспышка молнии, способность компаса указывать направление и ядерный бета-распад, проявлениями одной и той же фундаментальной силы.

Со всего мира на Салама посыпались почести. Он приобрел значительное влияние в своей стране, которой с 1958 по 1969 г. правил Айюб Хан. Но, несмотря на то что Салам был единственным пакистанцем, удостоенным Нобелевской премии, его положение на родине вскоре стало непрочным. Салам принадлежал к немногочисленной исламской секте Ахмадие, которую в 1974 г. Пакистанская национальная ассамблея, возглавляемая Зульфикаром Али-ханом Бхутто, отлучила от ислама, и Салам ушел с влиятельного поста главного национального научного советника.

Последователи секты Ахмадие почитают Мирзу Ахмада, родившегося в местечке Кадриан на севере Индии в конце девятнадцатого века, как пророка, что официальный ислам считает кощунством. Секта Ахмадие имеет приверженцев главным образом в Пакистане, Индии и Восточной Африке. Эта немногочисленная, но заметная секта часто становится жертвой религиозной нетерпимости и дискриминации со стороны как ортодоксов, так и широких масс правоверных. В 1979 г. после известия о присуждении ему Нобелевской премии Салам получил приглашение от президента Пакистана Зия-Уль-Хака. Он должен был выступить с лекцией о своей работе в университете Исламабада, однако из-за угроз со стороны группы студентов, известных своей способностью к насильственным действиям, лекцию отменили. Беназир Бхутто не пожелала принять Салама во время своего первого срока на посту премьер-министра Пакистана. Наибольшее оскорбление было нанесено Саламу в стенах его альма-матер — Лахорском государственном колледже — когда зачитывался список отличившихся выпускников. Одного имени в нем не было.

Салам родился в благопристойной семье в маленьком индийском городе в 1926 г. Выдающиеся способности, неистощимая энергия и пламенное честолюбие помогли ему справиться с самыми неподатливыми интеллектуальными и политическими задачами и в конечном счете принесли международное признание. Немногие из сынов Индостана достигали таких успехов. Однако Саламу не суждено было насладиться плодами своих трудов — по жестокой прихоти судьбы в начале 90-х годов его жизненные силы пошли на убыль. Поначалу он мужественно пытался не отходить от своих научных и административных дел, но несколько раз, падая, он получал травмы. Салам стал жертвой редкого неврологического заболевания, которое неумолимо подрывало его силы и способность к общению с другими людьми. Саламу сообщили, что жить ему осталось всего несколько лет. Он больше не

мог исполнять обязанности директора в своем исследовательском центре в Триесте. Чтобы отдать дань уважения основателю центра, пока его силы окончательно не иссякли и он был в состоянии реагировать на происходящее, в 1994 г. там была организована трехдневная конференция, на которую со всего мира собрались коллеги Салама, его почитатели и бывшие студенты. Одним из участников был Чженьнин Янг, чья лекция о зеркальной симметрии так поразила юного Салама в 1956 г. Кульминацией конференции стало присуждение Саламу Санкт-Петербургским университетом почетной степени — ректор этого университета специально приехал на конференцию. Салам слушал, сидя в своем инвалидном кресле, но говорить не мог. По окончании формальной части участники терпеливо дожидались своей очереди, чтобы высказать ему свои наилучшие пожелания. После именитых профессоров настала очередь студенческой молодежи. Одним из последних подошел беспокойный молодой человек из Пакистана — за отличные успехи этот молодой ученый получил стипендию саламовского Центра. Наклонившись к Саламу, сидящему в коляске, он произнес: «Сэр, я студент из Пакистана. Мы Вами очень гордимся». Плечи у Салама дрогнули, и по его лицу покатались слезы.

Салам окончательно утратил дееспособность и жил в Оксфорде, где за ним ухаживала его супруга, известный оксфордский молекулярный биолог Луиза Джонсон. Время от времени Салама кто-нибудь навещал, однако общаться с ним было крайне трудно, и это удавалось лишь тем, кто говорил на его родном языке — панджаби. Салам умер в ноябре 1996 г., а памятником ему стал его собственный вклад в развитие физики, а также процветающий Международный центр в Триесте.

10

КУРС НА СТОЛКНОВЕНИЕ АНТИЧАСТИЦ

В марте 1960 г. темпераментному австрийскому физику Бруно Тушеку, работавшему тогда в итальянской лаборатории ядерной физики во Фраскати, неподалеку от Рима, пришла идея, превратившая античастицы из лабораторной диковинки в средство современного эксперимента. Тушек получил физическое образование и во время Второй мировой войны был занят в Германии на работах, связанных с радарам и радиоэлектроникой. В 1945 г., когда союзнические армии оказались на немецкой территории, гестапо забеспокоилось. Из-за своей привычки читать иностранные газеты, а также из-за примеси еврейской крови в 1945 г. Тушек был арестован. Британская армия наступала, и заключенных из гамбургской тюрьмы под конвоем переводили в Киль. Тушек был болен и упал по дороге. Эсэсовский конвойный вытащил пистолет и выстрелил. Увидев лужу крови, солдат оставил недвижимое тело лежать на земле, и колонна продолжила свой путь. Однако Тушек был всегo-навсего ранен в мочку уха.

Коллегой Тушека, когда тот работал во время войны в Гамбурге, был талантливый норвежский инженер Рольф Видероз. Будучи в 1924 г. стажером в Карлсруэ, Видероз предложил оригинальную идею индукционного ускорителя. Явление электромагнитной индукции связано с перемещением проводника с током перпендикулярно внешнему магнитному полю. Идея Видероз заключалась в том, чтобы обойтись без проводника и использовать мощное магнитное поле для воздействия на носители электрического тока — движущиеся в вакууме электроны. Теоретически электроны должны накапливать энергию при движении перпендикулярно направлению магнитного поля — что-то вроде трансформатора без обмотки. Однако для этого устройства был необходим более глубокий вакуум, чем Видероз мог обеспечить,

и богатое воображение ученого занялось поисками других способов ускорять электроны.

В 1930 г. молодой американский физик Эрнест Лоуренс просматривал литературу в библиотеке Калифорнийского университета в Беркли, близ Сан-Франциско, и натолкнулся на статью Видероз. Лоуренс не знал немецкого и поэтому не мог вникнуть в то, что Видероз писал о трудностях создания циклического ускорителя электронов и других частиц. Рисунки в статье позволили Лоуренсу понять суть идеи, и он занялся воплощением ее в жизнь. Благодаря изобретенному им циклотрону физики получили возможность ускорять частицы до высоких энергий, и перед ними открылись новые научные горизонты (см. гл. 7). В 1939 г. Лоуренс получил Нобелевскую премию по физике.

Во время войны Тушек узнал в Гамбурге об ускорителях частиц от Видероз, который внимательно следил за продвижением своей идеи. На этих магнитных «ипподромах» роль зайца играли высокочастотные электрические колебания, заставляющие разгоняться субатомные «борзых» до огромных скоростей. Этими субатомными гончими обычно были либо протоны, либо электроны. Можно ли тем же способом ускорять соответствующие античастицы? Смогут ли детекторы запечатлеть «момент истины», когда встретятся частица с античастицей, когда частица столкнется со своим «зеркальным» отображением?

Получив ученую степень в Глазго, Тушек поехал в итальянскую лабораторию во Фраскати, близ Рима, где поначалу изъяснялся на смеси английского и латыни. В 1960 г. там ему пришла плодотворная идея. В одинаковых электромагнитных полях частицы и античастицы движутся в противоположных направлениях; в 1932 г. Карл Андерсон мучительно пытался отличить позитроны от электронов, которые двигались соответственно снизу и сверху в магнитном поле его детектора. Тушек предложил ускорять электроны одновременно с позитронами, заставив их двигаться во внешнем магнитном поле в противоположных, слегка смещенных относительно друг друга направлениях, а затем заставить оба пучка столкнуться. При столкновении электроны будут аннигилировать с позитронами с образованием высокоэнергетических фотонов — мощных вспышек излучения. Энергию сталкивающихся электронов и позитронов можно варьировать, изменяя тем самым частоту фотонов, как в сверхвысокочастотном радиопередатчике. Если ученым повезет, то длина волны высокоэнергетических фотонов, возникающих при столкновениях высокоэнергетических электронов и позитронов, достиг-

нет величины, необходимой для рождения более тяжелой пары частица — античастица: кварка и антикварка. Любой сигнал, созданный парой кварк — антикварк, будет тотчас зарегистрирован детектором.

Для такого электрон-позитронного *коллайдера* нужны позитроны. Их можно получить, направляя электроны на металлическую мишень, в результате чего будет рождаться множество электрон-позитронных пар, а затем отклоняя ненужные частицы магнитным полем. После постановки во Фраскати во 1961 г. предварительных опытов детище Тушека — АДА (от итал. *Anello d'Accumulazione* — накопительное кольцо) диаметром чуть более одного метра было перевезено во французскую лабораторию Орсе, близ Парижа, в которой имелся мощный источник позитронов. В 1963 г. на установке АДА было осуществлено столкновение пучка электронов с пучком позитронов. АДА проложила путь, которому последовали другие установки. Понемногу увеличивая энергию электронных и позитронных пучков, ученым удалось достичь энергии, достаточной для рождения других частиц — из электронов и позитронов стали возникать кварки и антикварки.

Стэнфордский университет (Калифорния) изначально пошел другим путем, и Стэнфордский центр линейных ускорителей СЛАК (от англ. *SLAC — Stanford Linear Accelerator Center*) с двухмильной электронной пушкой стал частью пейзажа близ Пало Альто, южнее Сан-Франциско. В 1967 г. на этой мощной субъядерной установке впервые была выявлена кварковая структура протона. Однако Стэнфорд тоже намеревался построить электрон-позитронное коллайдерное кольцо типа АДА. После создания одной из крупнейших в мире физических установок в Стэнфорде не могли рассчитывать на большое финансирование, и поэтому на автомобильной стоянке около большого ускорителя был сооружен электрон-позитронный коллайдер СПИР (от англ. *SPEAR — Stanford Positron Electron Accelerating Ring* — стэнфордское ускорительное кольцо электронов и позитронов) диаметром 80 метров. Размер этой установки намного превосходил размеры АДА, однако кое-где уже проектировались существенно большие электрон-позитронные коллайдеры.

Мало-помалу энергия электронов и позитронов в СПИРе увеличивалась, и в ноябре 1974 г. СПИР напал на золотую жилу — энергия аннигиляции достигла величины, заставившей «захлебнуться» детекторы. Аккуратно подбирая величину энергии, группа, работавшая на СПИРе под руководством Бартона Рихтера, обнаружила сигналы от частиц, которые буквально оглушили де-

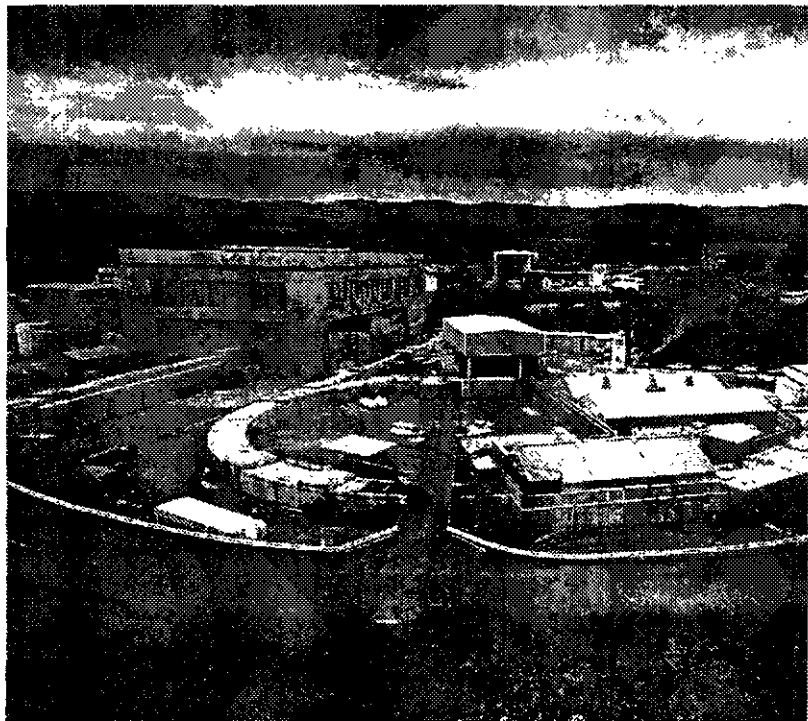


Рис.10.1. Кольцо СПИР в Стэнфордском центре линейных ускорителей (СЛАК) позволило продемонстрировать, как позитроны (античастицы электронов) можно использовать для создания более массивных антикварков (фото СЛАК).

тектор. Энергия сталкивающихся электронов и позитронов превращалась в невиданное ранее субъядерное состояние — новый кварк и соответствующий антикварк. Будучи тяжелее трех кварков, предсказанных Гелл-Манном десятью годами ранее, этот кварк явился новой формой материи. Следуя причудливой традиции, его назвали *очарованным*. Ту же частицу, состоящую из очарованного кварка и антикварка, наблюдали в группе Сэмюэла Тинга в Брукхейвене; в 1976 г. Рихтер и Тинг были приглашены в Стокгольм для вручения им Нобелевской премии.

Было открыто уже четыре кварка, но по-прежнему оставалось неясно, как высоко может завести эта «кварковая» лестница. Поднимаясь по ней в область все более высоких энергий, электрон-позитронные кольца постепенно увеличивались в размерах,

и 14 июля 1989 г., в 200-летнюю годовщину Великой французской революции в ЦЕРНе, близ Женевы (Швейцария), было запущено самое большое кольцо — ЛЭП (от англ. *LEP* — *Large Electron Positron*) с периметром 27 километров. При точной юстировке положения пучков частиц и античастиц в ЛЭП приходится считаться с влиянием Луны, поскольку приливные силы дважды в сутки деформируют земную кору и изгибают кольцо ЛЭП. Деформация величиной всего несколько сантиметров на 27-километровой трассе способна ликвидировать столкновение пучков электронов и позитронов в ЛЭП.

ОХЛАЖДЕННЫЕ АНТИЧАСТИЦЫ

После успеха электрон-позитронного проекта Бруно Тушека колоритный советский физик Герш Будкер предложил построить в Новосибирске кольцо на встречных протон-антипротонных пучках. Еврей Герш Ицкович Будкер предпочитал именоваться Андреем Михайловичем Будкером, так как это звучало «более по-русски». Энергичный Будкер был женат пять раз («все мои любовные приключения оканчивались браком») и связал свою жизнь с использованием технологии «удивительного мира частиц» на благо общества. При создании протон-антипротонного коллайдера Будкер столкнулся с проблемой строительства антипротонного источника. Трудность состояла в том, что антипротоны рождаются при значительно более высоких энергиях, чем позитроны, и гораздо менее послушны. По образному выражению Будкера, осуществить его мечту о протон-антипротонном коллайдере было не проще, чем «стреле Робин Гуда с Земли попасть в стрелу Вильгельма Телля с Сириуса».

Протон-антипротонные пары возникают при соударении протонного пучка с мишенью наряду с множеством других частиц. Проблема в том, что антипротонов рождается мало и, кроме того, они вылетают в произвольных направлениях и имеют различные энергии. Даже при использовании магнитных линз и фильтров разброс непослушных антипротонов оказывается слишком большим для нормальной работы ускорителя. Большинство из них уходит с орбиты и погибает на стенке кольца. Будкер сообразил, что антипротоны слишком «горячи», поэтому, прежде чем иметь с ними дело, их следует охладить. Он предложил пропустить пучок «буйных» антипротонов сквозь гладкий «рукав» из электронов. При этом избыточное тепловое движение антипротонов — их хаотические поперечные колебания, будут

поглощены окружающими «холодными» электронами. В 1974 г. предложенный Будкером *метод электронного охлаждения* заработал.

В ЦЕРНе у неразговорчивого специалиста по ускорителям из Голландии по имени Симон Ван дер Меер была другая идея, как справиться с пучком непослушных частиц. Для контроля за искажением формы циркулирующего пучка он предложил использовать специальные датчики. Сигналы этих датчиков должны показывать, насколько пучок разошелся, и это позволит рассчитать необходимую корректировку. Но к тому времени, когда вычисления будут готовы, пучок уже уйдет в другое место. Ван дер Меер предложил разместить управляющие электроды на противоположной стороне круговой орбиты частиц и питать их по проводам, проходящим по диаметру кольца. Движущаяся со скоростью света частица проходит половину периметра 10-метрового кольца за 150 наносекунд (наносекунда — миллиардная доля секунды). Чтобы пройти по диаметру кольца, сигналу потребуется 100 наносекунд. Если поправка будет вычислена за 50 наносекунд, то управляющий сигнал догонит нужный участок пучка и подправит его форму. В течение многих тысяч последовательных корректировок пучок постепенно станет гладким. В 1972 г. Ван дер Меер изложил свою идею *стохастического охлаждения*. В конце он добавил: «Эта работа была выполнена в 1968 г. Сама по себе идея выглядит в настоящее время слишком надуманной для публикации». Данный метод был реализован на практике в 1974 г. с использованием быстродействующих электронных схем для обработки сигналов.

За всеми этими работами внимательно следил чрезвычайно деятельный итальянский физик Карло Руббиа, обладавший сверхъестественной способностью угадывать направление развития физики. В середине 60-х годов Руббиа уже понял, что физические представления подошли к роковому перепутью. Физики всегда стремились к обобщающим теориям, способным объяснить максимально большое число явлений, исходя из минимального количества посылок. До начала девятнадцатого века электричество и магнетизм считались различными явлениями. Натирание эбонитовых палочек, казалось, не имело никакого отношения к стрелке компаса. Однако постепенно пришло понимание того, что между электричеством и магнетизмом существует внутренняя связь — проводник с током создает магнитное поле, а при движении проводника в магнитном поле в нем возникает электрический ток. Взаимосвязь электрических и магнит-

ных явлений была отражена в уравнениях, написанных Джеймсом Клерком Максвеллом в 1864 г. Уравнения Максвелла объединили эти явления, и, кроме того, из них вытекало, что свет представляет собой электромагнитные волны.

Через сто лет теоретики начали подозревать, что подобное объединение могло бы связать электромагнетизм с взаимодействием, которое ответственно за радиоактивный бета-распад и называется в физике *слабым*. Хотя, на первый взгляд, нет ничего более непохожего друг на друга, чем бета-распад ядра и магнитное поле проводника с током, на более фундаментальном уровне оказывается, что у электромагнетизма, световых волн и фотонов есть много общего со слабым взаимодействием. Следующий виток объединения был пройден, когда теоретики во главе с американцами Шелдоном Глэшоу, Стивеном Вайнбергом и пакистанцем Абдусом Саламом по кусочкам собрали огромную мозаичную картину, в которой электромагнетизм и слабое взаимодействие предстали как различные проявления *электрослабых сил*.

Для завершения этой картины требовалось разобраться в том, что такое вакуум, который к тому времени стал одним из важнейших физических понятий. Вакуум не просто заполнен мимолетной квантовой «пенной», но в нем имеется выделенное направление. Кусок дерева легко раскалывается топором вдоль волокон, однако его гораздо труднее распилить поперек них.

Электромагнитное взаимодействие переносится квантами света — фотонами. Электрослабое взаимодействие переносится частицами двух видов — одна частица электрически нейтральна и называется *Z*, а другая — заряженная и называется *W*. Прокладывая свой путь в вакууме, электромагнитные силы легко справляются с большими расстояниями благодаря невесомым фотонам. Напротив, слабые силы быстро затухают в пустоте, и их можно почувствовать лишь на очень малых расстояниях. Носители слабого взаимодействия, *W*- и *Z*-частицы, очень массивны — примерно в сто раз тяжелее протона и даже тяжелее ядра железа.

Подобно фотонам, *W*- и *Z*-частицы постоянно заняты своим делом, однако, чтобы заставить их показаться на свет божий, нужно располагать энергией, достаточной для материализации их массы. В середине 70-х годов ни один электрон-позитронный коллайдер не был в состоянии обеспечить энергию, достаточную для рождения *W* и *Z*. Руббиа рассматривал еще не проверенную на практике протон-антипротонную идею как первую реальную возможность получить *W* и *Z*. Сами по себе протоны и антипротоны не будут создавать новые частицы. По замыслу Руббиа, про-



Рис. 10.2. Карло Руббиа предвидел перспективы использования антипротонов (фото Boutique/ В. Pillet, St. Genis).

тоны и антипротоны станут боевыми колесницами, на которых кварки и антикварки ринутся в бой. Это было больше, чем просто идея нового эксперимента. Чтобы получить антипротоны и заставить их сталкиваться с протонами, пришлось бы целиком переоборудовать огромную лабораторию. Руббиа поехал со своим предложением в Фермилаб — лабораторию в Иллинойсе, близ Чикаго, где только что был запущен крупнейший в мире ускоритель. Идея Руббиа была решительно отвергнута.

Вскоре в одном из экспериментов в Фермилабе была открыта самая массивная из известных частиц. Она была тяжелее своей близкой родственницы, открытой Рихтером и Тингом в 1974 г., и состояла из кварка и антикварка нового, уже пятого по счету типа. Традиция давать кваркам причудливые названия к тому времени уже устоялась, однако пока не сложилось общего мнения, в честь чего следует назвать этот новый кварк. Одни предпочитали поэтическое название *красота*, а другие — более приземленное «bottom» (низ), возникшее по аналогии с кварком «down» (вниз), одним из двух легких кварков, входящих в состав протонов и нейтронов.

Получив отказ в Фермилабе, Руббиа повез свой амбициозный проект в ЦЕРН, где Ван дер Меер отлаживал свою методику стохастического охлаждения. В середине 70-х годов ЦЕРН располагал впечатляющей коллекцией протонных ускорителей мирового

класса. Первая большая европейская машина — протонный синхротрон (ПС), была запущена в ЦЕРНе в 1959 г. Помимо него, уже вводилась в строй другая установка, сравнимая по размерам с ускорителем в Фермилабе, — протонный суперсинхротрон (СПС). Постройка СПС была своего рода соревнованием с Фермилабом, которое выиграла американская лаборатория. ЦЕРН предоставлял возможность ставить эксперименты тысячам физиков из Европы и других частей света; из-за неповоротливой организационной структуры, а также в силу континентальной европейской корректности ЦЕРН всегда предпочитал поддерживать лишь «надежные» эксперименты. Более открытые американцы охотнее шли на риск и опережали европейцев по числу Нобелевских премий. Поначалу международное сотрудничество было самоцелью, однако исследования должны быть чем-то вознаграждены. Уязвленное отсутствием явных научных достижений, руководство ЦЕРНа решило поддержать план Руббиа. Это было смелым решением. Кое-кто считал его даже слишком смелым. СПС только начинал делать успехи, и было жаль прекращать его доработку. Протон-антипротонная методика находилась на пределе технологических возможностей. Даже если бы все заработало как надо и три кварка полетели бы навстречу трем антикваркам с невиданной дотоле энергией, то в результате возникала бы масса различных частиц, маскирующая то новое, что могло там возникнуть.

Чтобы сравнить между собой метод электронного охлаждения Будкера с методом стохастического охлаждения Ван дер Меера и выбрать из них более подходящий, в ЦЕРНе было построено небольшое испытательное кольцо ICE (от англ. *Initial Cooling Experiment* — предварительный эксперимент по охлаждению). В 1978 г. на первый взгляд более трудоемкий метод стохастического охлаждения Ван дер Меера выглядел, однако, более подходящим для обуздания непослушных пучков, чем метод Будкера. В опытах на ICE использовались протоны, и оставалось провести один последний тест. Протоны живут вечно; по идее, это должно относиться и к антипротонам. Однако этого никто никогда не проверял. Могло оказаться, что в конце концов антипротоны распадаются, как и другие новые массивные частицы, обнаруженные в экспериментах при высоких энергиях. Со времени открытия антипротонов в 1965 г. максимальное время, в течение которого они оставались в поле зрения, составляло 140 микросекунд. Если антипротоны быстро распадаются, то нет смысла создавать сложные и дорогостоящие антипротонные установки. В 1979 г. на кольце ICE была получена первая порция антипрото-

нов, и физики затаили дыхание. Эти античастицы могли удерживаться в кольце в течение нескольких часов. ЦЕРН дал зеленый свет проекту Руббиа, и протон-антипротонный коллайдер из мечты превратился в практическую задачу.

В этом эксперименте должны были возникнуть целые поколения античастиц. Они должны были появляться на свет, обучаться и затем направляться на работу. Сердцем нового проекта ЦЕРНа была «фабрика» антипротонов. Антипротоны выделялись магнитным полем из набора частиц, возникающих при бомбардировке протонами мишени. Миллион протонов создавал примерно один антипротон в виде протон-антипротонной пары, а в каждом протонном импульсе был миллион миллиардов частиц. (Впоследствии из рожденных антипротонов стали формировать узкий пучок с помощью фокусирующей металлической «линзы», которая питалась током в тысячи ампер; такие линзы изготавливаются из легкого металла лития, чтобы уменьшить вероятность поглощения антипротонов при пролете через линзу.)

Антипротоны направляются в новое кольцо накопителя антипротонов, и там их колебания успокаиваются благодаря стохастическому охлаждению Ван дер Меера. Затем охлажденный сгусток антипротонов переводится на соседнюю накопительную орбиту, и вводится следующая порция антипротонов, которая также охлаждается и переводится на накопительную орбиту. Через несколько дней, в течение которых инжектируется несколько сотен тысяч сгустков антипротонов, на орбите накопителя будут находиться миллионы миллионов антипротонов, что сопоставимо с интенсивностью обычного протонного пучка. После этого антипротонный пучок нужно вывести из накопителя и еще ускорить сначала в ПС, а затем в СПС вместе с пучком протонов, циркулирующим в противоположном направлении. Когда протоны и антипротоны достигнут в СПС предельной энергии, пучки следует слегка подтолкнуть, чтобы произошло столкновение. «Все это слишком сложно», — говорили скептики, преимущественно с другого побережья Атлантики. Это ни за что не получится. Антипротоны просто рассеются.

3 июля 1980 г. был произведен пробный запуск накопителя с одними протонами. Поскольку все работало должным образом, ток в электромагнитах включили в обратном направлении, и в накопитель впустили первую порцию антипротонов. Однако из-за того, что к тому времени было введено в строй небольшое число установок стохастического охлаждения, полученная интенсивность антипротонного пучка составляла лишь несколько про-

центов от расчетной. Тем временем завершалось оборудование туннелей, по которым антипротоны должны были поступать в следующие кольца. К лету 1981 г. все ускорители ЦЕРНа работали на антипротоны, и были зарегистрированы первые протон-антипротонные столкновения при высокой энергии. Карло Руббиа медлил с отъездом на международную конференцию в Лиссабоне, так как ему хотелось объявить на ней о наблюдении этих столкновений. Тональность критики изменилась. «Число столкновений всегда будет недостаточным для проведения физических экспериментов». Центр внимания переместился с возможности получить антипротоны на возможность регистрировать и анализировать протон-антипротонные столкновения.

Для регистрации этих столкновений Руббиа начал сооружение гигантского детектора — тысячи тонн оборудования размещались в виде концентрических слоев вокруг места столкновения протонов с антипротонами, наподобие огромной русской матрешки. Каждый слой был предназначен для регистрации продуктов определенных столкновений. Объединяя данные со всех детекторов, ученые могли составить полную картину происходящего. Детекторы были установлены в огромных подземных залах ЦЕРНовского СПС. Для обслуживания этих гигантских детекторов потребовалась группа из 200 физиков — такого размаха до той поры не знал ни один научный эксперимент. Протон-антипротонные эксперименты ЦЕРНа начала 80-х годов определили новые масштабы научного сотрудничества. Последующие эксперименты были еще более грандиозными. Ответственность за различные компоненты детектора делилась между участвовавшими в эксперименте исследовательскими институтами и университетами. Проектирование, установка и наладка тысяч приборов в составе детектора потребовали усилий, измеряемых сотнями человеко-лет. Сложная электроника собиралась проводником за проводником, модуль за модулем; сборка детекторов происходила в институтах, которые участвовали в эксперименте. Каждый модуль, прошедший испытательные тесты, отправлялся в Женеву. Материально-техническое обеспечение этой операции было грандиозным. Иногда ограничения на размеры детекторов определялись максимально возможным габаритом груза, который можно было транспортировать в Женеву.

Собрав первые данные о протон-антипротонных столкновениях, физики с энтузиазмом принялись за их анализ. Они увидели явные признаки того, что частицы вылетали узкими пучками — *струями*. Это свидетельствовало о столкновениях друг с

другом кварков и антикварков, находящихся в недрах протона и антипротона. Кварковые струи никогда ранее не наблюдались так четко. Но физики знали, что время для поисков W - и Z -частиц еще не пришло. Хотя необходимая энергия уже была достигнута, интенсивность протон-антипротонных столкновений по-прежнему оставалась слишком низкой, чтобы обеспечить достаточную вероятность образования W и Z .

В 1982 г. интенсивность столкновений удалось повысить, и все было готово к тому, чтобы провести первый протон-антипротонный сеанс, имевший реальные шансы на обнаружение W и Z . Однако из-за происшествия с детектором Руббиа всю установку потребовалось перебрать, так что этот сеанс пришлось отложить. Физики ворчали, впрочем, не было счастья, да несчастье помогло. Вместо серии коротких сеансов, перемежаемых другими экспериментами, коллайдерной программе был выделен один большой непрерывный сеанс позднее в том же году. Для накопления антипротонов требовалось время, поэтому дробление эксперимента на мелкие эпизоды было нежелательно. В течение продолжительного сеанса специалисты получали возможность отладить свои действия и обеспечить более надежную работу антипротонного источника.

Летом 1982 г. британский премьер-министр Маргарет Тэтчер нанесла неофициальный визит в ЦЕРН по случаю швейцарского праздника. Получив в свое время химическое образование, она всегда питала живой интерес к фундаментальным исследованиям. Во время визита ей сказали, что «если будет немного везения, если коллеги-ускорительщики помогут и если твердо верить в Санта Клауса, то к Рождеству мы получим W ». После визита она попросила Генерального директора ЦЕРНа — в то время им был немецкий физик Хервиг Шоппер — незамедлительно проинформировать ее об обнаружении W и Z . По ее словам, она не хотела полагаться на информацию от прессы.

Спустя несколько месяцев после визита Маргарет Тэтчер интенсивность протон-антипротонных столкновений была увеличена в сто раз по сравнению с предыдущим годом. Циркулирующие антипротонные пучки становились все более долговечными — отдельный антипротонный сгусток мог удерживаться в течение почти двух суток, прежде чем окончательно рассеивался. К этому времени в эксперименте произошло уже несколько миллиардов протон-антипротонных столкновений. Точно зная, что они ищут, экспериментаторы подготовили электронные магистрали для направления данных в свои компьютеры. Специальным образом за-



Рис. 10.3. Август 1982 г. — Британский премьер-министр Маргарет Тэтчер узнает об экспериментах с антипротонами от Генерального директора ЦЕРНа Хервига Шоппера (справа) и заместителя Карло Руббиа Алана Астбери (слева) (фото ЦЕРН).

программированные электронные «турникеты» срабатывали каждый раз, когда появлялось событие, претендующее на рождение W -частицы. Хотя поначалу об этом помалкивали, в помещениях, откуда управляли ходом эксперимента, стали замечаться удовлетворенные улыбки. В декабре 1982 г. Шоппер был достаточно уверен в полученных результатах, чтобы сообщить о них Маргарет Тэтчер. Не подозревая, что глава ЦЕРНа уже позволил информации просочиться на Даунинг-Стрит, Карло Руббиа и его заместитель, английский физик Алан Астбери в январе телеграфировали

Тэтчер: «Мы начали получать свидетельства существования долгожиданных W и, между прочим, бесспорно подтвердили существование Санта Клауса». Ответ на это послание приводится ниже.



ДАУНИНГ-СТРИТ, 10

ПРЕМЬЕР-МИНИСТР

26 января 1983 года

Уважаемый др. Астбери

Спасибо Вам и Карло Руббиа за телекс, отправленный от имени участвующей в эксперименте UA1 британской группы. Не знаю, что выглядит более захватывающим — первые данные о W -частицах или же известие о том, что Санта Клаус существует на самом деле. Как бы там ни было, примите мои искренние поздравления с очень важным открытием. Мне особенно приятно, что английские ученые опять оказались среди команды-победительницы. Не сомневаюсь, что это открытие будет подтверждено вашими экспериментами ближайшей весной и что оно будет лишь первым из многочисленных важных открытий Вашей группы.

Рис. 10.4. Письмо британского премьер-министра Маргарет Тэтчер Алану Астбери после его сообщения о том, что в протон-антипротонном эксперименте было сделано важное открытие.

В начале нового года имелось уже десять событий, претендующих на W -частицы, однако пока об этом не было объявлено — такое открытие имеет слишком большое значение. Однако к уик-энду 22 января 1983 г. уверенность Карло Руббиа выросла. «Они выглядят, как W , они ведут себя, как W , они и есть W », — говорил он. Сообщение об обнаружении электрически заряженных W -частиц было сделано 25 января.

Экспериментаторы знали, что Z -частица, электрически нейтральный спутник W -частицы, образуется при протон-антипротонных столкновениях реже, чем W , однако ее «следы» было легче обнаружить. В апреле 1983 г. начался очередной антипротонный эксперимент. Несмотря на то что теперь рождалось, накапливалось и ускорялось большее количество антипротонов, Z -частицы, казалось, не хотели обнаруживать свое существование, однако уже в конце мая были получены первые «визитные карточки» Z , и 1 июня было объявлено об открытии Z -частиц. Из кварков и антикварков возникли носители слабого взаимодействия. Физики назвали их *промежуточными бозонами*. Демонстрируя свою неистощимую фантазию, журналисты дали открытию название «тяжелый свет», намекая на глубокую связь этих частиц с электромагнитным излучением. За это открытие Карло Руббиа и Симон Ван дер Меер в 1984 г. получили Нобелевскую премию по физике — довольно быстро для обычных нобелевских стандартов

Затея с W - и Z -частицами была рискованным предприятием с научной и технологической точек зрения. Шелдон Глэшоу, Абдус Салам и Стивен Вайнберг — трое теоретиков, создавших электрослабую теорию, были удостоены Нобелевской премии в 1979 г. Это явилось довольно смелым решением шведской Королевской академии, если учесть, что к тому времени еще не были обнаружены W - и Z -частицы, которые предсказывала данная теория. Узнав об этом событии, один известный физик заметил: «Означает ли это, что им придется вернуть премию, если W - и Z -частицы не будут обнаружены?». Вопрос остался чисто риторическим. Физики во всем мире аплодировали открытию. Сотрудники Фермилаба отзывались о нем как о «событии в физике элементарных частиц, которое равноценно полету «Аполло» на Луну в 1969 г.».

После завершения своей научной миссии протон-антипротонный коллайдер в ЦЕРНе был остановлен в 1992 г. К этому времени в нем было ускорено несколько сотен миллиардов антипротонов. Создание античастиц потребовало больших затрат средств, времени и труда. Однако если вообразить, что все эти антипрото-

ны удалось бы собрать вместе, то они легко уместились бы на булавочной головке и весили не больше пылинки. После окончания работ в ЦЕРНе оборудование антипротонного источника отправили в Японию, чтобы использовать его для генерации античастиц на Дальнем Востоке.

Фермилаб, который отверг исходное предложение Руббиа по опытам с антипротонами, впоследствии решил не отставать от ЦЕРНа. Протон-антипротонный коллайдер был запущен в Фермилабе в 1985 г., и энергия его пучка была значительно выше, чем у коллайдера ЦЕРНа. Звездный час коллайдера в Фермилабе настал в марте 1985 г., когда был экспериментально обнаружен самый массивный шестой кварк, названный *t-кварком* (от англ. *top* — верх). Столкновения легких кварков с антикварками приводили к рождению тяжелых кварков и антикварков.

При столкновениях частиц с античастицами в лаборатории, будь то столкновения электронов с позитронами или протонов с антипротонами, возникает множество других частиц и античастиц, однако всегда число рождающихся частиц равнялось числу античастиц. Энергия связана с температурой, которая определяет, насколько быстро движутся частицы вещества; энергия сталкивающихся в коллайдере пучков частиц и античастиц эквивалентна температуре, которая могла наблюдаться лишь в первые доли секунды после Большого Взрыва, в результате которого образовалась Вселенная. Если бы Вселенная создавалась в условиях, аналогичных лабораторным, то в ней было бы одинаковое число частиц и античастиц. Но нас окружают только частицы. В экспериментах по столкновению частиц и античастиц стремятся достичь более высоких температур, с тем чтобы обнаружить механизмы, нарушающие симметрию, описанную в гл. 8. Если это удастся, то в таких экспериментах можно будет смоделировать условия Большого Взрыва, которые предопределили господство материи над антиматерией.

Антиматерия аннигилирует с обычной материей, поэтому всякая попытка удержать ее в сосуде из обычных материалов обречена на неудачу. Антиматерию можно удержать только в объеме, лишенном материальных стенок. Это можно сделать, например, удерживая циркулирующие пучки позитронов и антипротонов с помощью магнитного поля, как было описано в предыдущей главе. Но это происходит в условиях, когда античастицы движутся по окружности с большой скоростью, и удерживающая их центростремительная сила — это сила, действующая со стороны магнитного поля. А как быть с частицами, которые движутся слишком медленно, чтобы попасть на орбиту в магнитном поле? Можно ли накапливать такие частицы?

В 1984 г. группе из Вашингтонского университета в Сиэтле, возглавляемой Хансом Демельтом, удалось в течение трех месяцев удерживать единственный позитрон в специально созданной ловушке частиц — крошечном цилиндре размером меньше диаметра человеческого волоса, в котором одиночная частица покоится на подушках, создаваемых магнитным и электрическим полями. Впрочем, Демельт создавал это устройство не в качестве ловушки для антиматерии. Имелась более глубокая причина, по которой он свыше двадцати лет трудился над созданием не имеющего стенок контейнера для частиц.

Коллеблющаяся струна отдает часть своей энергии окружающему воздуху, и эта энергия улавливается нашим слухом. Электромагнитные волны, например свет — это также волновой процесс, однако другой природы. Чтобы инициировать волновой процесс, нужно иметь какой-нибудь осциллятор, например закрепленную на обоих концах струну, а затем заставить этот осциллятор «звучать». Если бы электромагнитное излучение создавалось колебаниями таких невидимых микроскопических струн, то, вообще говоря, не существовало бы предела для частот его колебаний. В случае звуковых волн большая частота отвечает более высокому тону, тогда как для электромагнитных волн, например для света, повы-

шение частоты означает переход от красной части спектра к фиолетовой.

В 1900 г. Макс Планк догадался, что атомные осцилляторы не могут непрерывно излучать энергию (см. гл. 6) — они не могут иметь бесконечно малые размеры, поэтому существует максимальная частота. Струнный инструмент, например скрипка может издать короткий звук, если ущипнуть струну, но может звучать и непрерывно, если воспользоваться смычком. Но даже при медленном движении смычка извлечение звука не является непрерывным процессом: когда волос смычка трется о струну, она постоянно испытывает щипки, что создает впечатление непрерывного звучания. Планк заявил, что атомные осцилляторы тоже требуют, чтобы их «щипали», причем при каждом «щипке» будет высвободиться один квант излучения. Если осцилляторов достаточно много, то их излучение будет казаться непрерывным. Точно так же нам кажется непрерывным звучание струнной группы в оркестре, и мы не в состоянии различить, в какую сторону в данный момент там движутся смычки. Более того, Планк заявил, что энергия излучения атомного осциллятора зависит от его частоты — чем выше частота излучаемой электромагнитной «ноты», тем большую энергию затрачивает осциллятор. Планк написал простое уравнение, обеспечивающее эту связь: $E = h\nu$, где E — энергия колебаний, связанная с частотой колебаний ν через постоянную Планка h .

Частота колебаний — это количество гребней, возникающих в волне за одну секунду. Расстояние между двумя последовательными гребнями есть *длина волны*. Для волн, распространяющихся с постоянной скоростью, скажем, для звука или света, частота падает с увеличением длины волны, поскольку за секунду укладывается меньшее число гребней волны. Чем меньше длина волны, тем выше частота. Басовые струны арфы длиннее дискантовых. В планковской теории энергия, затрачиваемая на извлечение звука, неодинакова для различных струн его «квантовой арфы» — низкочастотные, басовые струны надо лишь слегка тронуть, тогда как по дискантовым придется бить молотком.

Эта глубокая взаимосвязь энергии и излучения проложила себе путь в сознании физиков спустя четверть века. Вернер Гейзенберг, создатель матричной механики, собирался обдумать следствия, вытекавшие из необычных результатов, даваемых его матричной механикой. Почему Природа выглядит такой причудливой на субатомном уровне? В те времена невозможно было поставить эксперимент с отдельной субатомной частицей, поэтому Гейзенберг провел «мысленный» эксперимент. Проблема состояла в том, что-

бы одновременно определить положение и скорость одной субатомной частицы — постановка этой задачи выглядела вполне разумной.

Первое, что нужно сделать, — это взглянуть на частицу. Для этого на частицу надо направить свет, и его отраженные лучи покажут, где она находится. Однако электромагнитное излучение в такой подсветке характеризуется определенной длиной волны, и из-за этого измеренное положение частицы до определенной степени окажется «размазанным». Длина волны обычного света меньше миллионной доли метра. Отдельный атом примерно в десять тысяч раз меньше длины волны такого света, и его не удастся увидеть в таком свете — огромные волны света просто не заметят «атомного» препятствия. Чтобы увидеть атом, нужны гораздо меньшие длины волн. Но откуда их взять?

Из квантовой картины Планка следовало, что энергия излучения не является непрерывной, несмотря на то, что она выглядит таковой при участии достаточно большого числа атомных осцилляторов. Излучение подобно ливню — в нем все намокает, хотя он и состоит из отдельных капель воды. Планк показал, что излучение с малой энергией (низкая частота и большая длина волны) подобно легкому туману, способному равномерно увлажнить землю на большой площади, тогда как излучение с большой энергией (высокая частота, малая длина волны) напоминает град во время грозы, который способен нанести значительный урон.

Но если квантовое излучение напоминает капли дождя, т. е. выглядит как частицы, то и частицы могут походить на излучение. Эту смелую гипотезу Луи де Бройль воплотил в 1923 г. в своей известной формуле. Де Бройль заявил, что чем больше энергия частицы, тем выше частота и тем короче длина соответствующей волны. Длина волны, отвечающая пучку электронов, зависит от их энергии. Этот факт со временем стал использоваться в электронных микроскопах для исследования вирусов, которые слишком малы и не могут быть обнаружены в обычном свете, а также для исследования атомных и молекулярных структур.

Предположим, рассуждал Гейзенберг, мы собираемся создать микроскоп, в котором можно будет отчетливо увидеть отдельный электрон. Для проведения столь точного измерения координат нужно использовать излучение с предельно малой длиной волны (предельно высокой частотой), т. е. энергию такого гипотетического микроскопа придется увеличивать до тех пор, пока в нем не станет виден объект исследования — электрон. Мы измеряем координаты этого электрона. Если бы нам также удалось измерить и

скорость электрона, то, вообще говоря, мы смогли бы определить, где он будет находиться в произвольный момент времени, т. е. смогли бы предсказать его будущее. Однако все не так просто. Уже сам факт наблюдения электрона означает, что квант излучения в нашем микроскопе отразился от электрона и попал в окуляр. Энергия излучения, с помощью которого можно увидеть такой маленький объект, как электрон, очень велика. Когда такое излучение отражается от электрона, отдача оказывается столь большой, что исследуемый электрон резко отскакивает в сторону и его скорость изменяется. Мы можем точно определить, где электрон находился, но тем самым мы повлияем на его дальнейшую судьбу.

Совершенно аналогично: если бы мы хотели определить скорость электрона, например, измеряя время, за которое он проходит определенное расстояние, то были бы не в состоянии точно узнать, где он окажется. Рассмотрим предельный случай, когда электрон покоится. Если его скорость равна нулю, мы не сможем узнать, за какое время он пройдет наше контрольное расстояние, и, следовательно, он может быть где угодно! Эта головоломка носит название *принципа неопределенности* Гейзенберга. Прошло пятьдесят лет, прежде чем технология смогла подняться до уровня «мысленного эксперимента» Гейзенберга и физики получили возможность воссоздать эти условия на практике.

«МЕНЬШЕ – БОЛЬШЕ»

Ханс Демельт вырос в Берлине, был признан на военную службу, во время Второй мировой войны едва не погиб под Сталинградом, в 1945 г. попал в плен. После освобождения из плена в 1946 г. он сначала жил случайными доходами, ремонтируя радиоприемники, а затем стал изучать физику в Геттингенском университете. В 1947 г. Демельт был одним из тех, кто нес гроб Макса Планка, чей старший сын погиб в Первую мировую войну, а две дочери умерли еще в детстве. Во время Второй мировой войны в дом Планка попала бомба, и большинство его бумаг пропало; его младший сын был казнен за участие в покушении на Гитлера в 1944 г. После войны Планк, которому в ту пору было 87 лет, на короткое время стал директором Института Кайзера Вильгельма, впоследствии переименованного в Институт Макса Планка в его честь.

Будучи еще ребенком, Демельт слышал, как его отец рассуждал о запутанности, красоте и мудрости римского права. Но придуманные человеком законы казались Демельту слишком произвольными. «Я был очарован физическим миром с его всеобщими

и непреложными законами», — сказал он как-то впоследствии. Благодаря этой страсти он стал одним из первых, кто увидел отдельный атом. Преданность Демельта делу построения ловушек без стенок подняла технологию обращения с заряженными частицами до уровня искусства и в конце концов принесла ему приглашение приехать в Стокгольм, чтобы получить Нобелевскую премию по физике 1989 года. Создание этих ловушек также открыло возможность «подвешивать» частицы антиматерии в пространстве, защищая их от опасности аннигиляции с окружающим веществом.

«Явления физического мира чрезвычайно многообразны и взаимосвязанны, — говорит Демельт. — Жизнь экспериментатора тратится на попытки воссоздания в лаборатории явлений, которые были бы достаточно простыми для изучения». Демельт вспоминает, что когда он был студентом в Геттингене, однажды лектор поставил мелом на доске точку и сказал: «Вот здесь находится электрон». Это поразило Демельта, поскольку он до этого слушал лекции Вернера Гейзенберга, в которых основоположник квантовой механики объяснял, что в соответствии с его принципом неопределенности покоящийся электрон с равной нулю скоростью может находиться где угодно! Из электроники Демельту было известно, что электронами можно управлять с помощью электрических и магнитных полей, и он поставил перед собой сложную задачу — преодолеть принцип неопределенности, научившись удерживать субатомные частицы в течение достаточно продолжительного времени.

Если приложить высокое напряжение к трубке, заполненной разреженным газом, то атомы газа ионизируются, и от катода исходит непрерывный поток электронов — *катодные лучи*. На этот поток заряженных частиц можно воздействовать магнитом, помещенным рядом с трубкой. В самых первых экспериментах было показано, что катодные лучи можно отклонять магнитом. Подходящая конфигурация магнитных полей может заставить электроны проделывать более сложные трюки. В циклотроне Лоуренса частицы удерживаются на неизменной орбите с помощью магнитного поля, создающего центростремительную силу. Если приложенное к катодной трубке магнитное поле сделать достаточно сильным, электроны разворачиваются в обратном направлении, и ток прекращается. Не зная, куда им двигаться дальше, электроны слоняются безо всякой цели, ударяясь о молекулы оставшегося в трубке газа и теряя при этом свою энергию. Эти низкоэнергетичные электроны заворачиваются магнитным полем к



Рис. 11.1. Ханс Демельт, охотник за частицами (фото ЦЕРНа).

аноду. В 30-е годы Ф. М. Пеннинг показал, как это явление можно использовать для определения числа молекул остаточного газа, и изобрел чрезвычайно полезный вакуумметр. Вакуумметр Пеннинга очень похож на большие радиолампы, когда-то использовавшиеся в радиоприемниках.

В 1956 г. Демельт взял такой вакуумметр Пеннинга и изменил полярность его подключения на обратную. В результате электроны, вместо того чтобы в конце концов попасть на анод и создать регистрируемый прибором ток, бесцельно блуждали в магнитном поле. В такой трубке электроны блуждают в электрическом и магнитном полях подобно шарикам во вращающейся чашке. Расположение электродов напоминает консервную банку — цилиндрическая часть является анодом, а отделенные от нее дно и крышка служат катодами-близнецами. Если электрон оказывается поблизости от катода-крышки, он отбрасывается назад в банку на орбиту, напоминающую кружево. Демельт назвал это устройство *ловушкой Пеннинга* в честь пионера электроники Пеннинга, без которого воплотить эту идею было бы невозможно. Если бы Демельт не упомянул имя Пеннинга, то это устройство, несомненно, было

бы названо ловушкой Демельта. Вращающийся в ловушке электрон действует подобно крошечному радиопередатчику, и Демельту удалось зарегистрировать его излучение с помощью приемника, использовавшегося тогда в военно-морском флоте. Излучая, электрон постепенно теряет энергию и начинает двигаться более спокойно в «чашке» из электрического и магнитного полей.

Как и многие другие физики, Демельт был очарован почти магической силой уравнения Дирака. По его словам, оно было «величественно и прекрасно». Согласно этому уравнению даже покоящийся электрон обладает угловым моментом, как если бы он вращался вокруг собственной оси. Более того, эта ось не может быть ориентирована произвольно — она является своего рода квантовым индикатором, который может указывать только два направления — либо «вверх», либо «вниз». Демельт не мог понять, каким образом вообще может вращаться электрон, который, по-видимому, не обладает физическими размерами и является математической точкой. Он был не первым, у кого возникали затруднения с пониманием того, как нечто не имеющее размеров умудряется вращаться — Паули характеризовал спин электрона как «не поддающуюся классическому описанию двойственность». Паули говорил, что электрон вообще не вращается, а просто обладает неким свойством, сходным с вращением.

Тем не менее за отсутствием какой-либо иной картины представление о спине как о механическом вращении по-прежнему сохранялось. Физики говорили, что это вращение было неким врожденным свойством. Если сосуд с жидкостью привести во вращение с большой скоростью, то после его внезапной остановки жидкость будет продолжать вращаться. Впрочем, во всех этих наглядных картинах предполагалось, что электрон обладает физическими размерами, какими бы малыми они ни были. Вращающийся электрический заряд ведет себя как постоянный магнит. Точно так же каким-то образом вращающийся электрон должен вести себя подобно крошечному магнетику. Самые первые эксперименты показали, что магнетизм вращающегося электрона в два раза превышает ожидаемый, и это усилило подозрения о том, что спин электрона обладал особыми свойствами. Триумфом уравнения Дирака стало объяснение двукратного магнетизма электрона как прямого следствия теории относительности. В более поздних экспериментах выяснилось, что это отношение было равно двум лишь приближенно — имелось небольшое, примерно в 0,1%, расхождение, объясняемое теми же квантовыми эффектами, что и лэмбовский сдвиг (гл. 6). Электрон окружен облаком виртуальных фотонов и

электрон-позитронных пар, которые влияют на его магнетизм. Уравнение Дирака не учитывает этих эффектов — для их объяснения нужно обратиться к квантовой электродинамике Ричарда Фейнмана и Юлиана Швингера.

Для измерения магнитных свойств атомов Отто Штерн разработал в 1920 г. остроумный метод, в котором пучок частиц пропущался между имевшими специальный профиль полюсами мощного магнита. В таком магнитном поле атомные магнитики выстраиваются наподобие стрелок крошечных компасов. Однако у этих квантовых компасов стрелки могут указывать только в определенных направлениях по аналогии с тем, как атомные электроны могут находиться лишь на определенных орбитах, являющихся своего рода ступеньками энергетической лестницы. Когда частица пролетает сквозь магнит Штерна, ее магнитный момент принимает одно из двух разрешенных квантовой механикой направлений. Таким методом Штерн измерил магнитный момент протона, который оказался совсем не похож на магнитный момент электрона. Это принесло Штерну Нобелевскую премию по физике 1943 года — первую премию, присужденную после перерыва, вызванного Второй мировой войной.

Однако метод Штерна не годился для электронов. Траектории существенно более легких электронов искривляются в магнитном поле, и его эффект препятствует измерению собственного магнитного момента электрона. Чтобы преодолеть эту трудность, Демельт удерживал электрон в ловушке, которую охлаждал жидким гелием для вымораживания теплового движения частиц, а затем прикладывал слабое магнитное поле. Радиоизлучение такой системы сосредоточено около единственной частоты, отвечающей вращающемуся по своей орбите электрону, и содержит постоянный шум, обусловленный остаточным тепловым движением, однако время от времени основная частота меняется, когда спин электрона меняет свое направление на противоположное.

Помимо пеннинговской электромагнитной ловушки у Демельта имелась и другая возможность, при которой использовалось только электрическое поле. Идея состояла в том, что вместо удержания электрона на магнитной орбите использовать высокочастотное электрическое поле в качестве своеобразного камертона. Частицы, настроенные на частоту этого высокочастотного камертона, окажутся в резонансе и будут колебаться вместе с ним, а остальные частицы — нет. Спектр индуцированного таким образом излучения покажет, какие имеются атомы. Эта методика была изобретена Вольфгангом Паулем в Бонне в 1954 г. и оказалась пригод-

ной для атомного анализа. Пауль вел лабораторные работы в Геттингене, когда Демельт был еще студентом, а также оказался вместе с Демельтом в Стокгольме в 1989 г. благодаря их работе над ловушками для частиц.

Чтобы усовершенствовать свою методику и сделать ее пригодной не только для наблюдения за постоянными изменениями ориентации спина электрона, но и для точных измерений, Демельт направил в ловушку яркий луч лазера. Тональность сирены на полицейской машине изменяется, когда та проезжает мимо (эффект Доплера). Точно так же лазерное излучение, воспринимаемое вращающейся по орбите частицей, будет сосредоточено в диапазоне частот от максимальной, когда частица движется навстречу пучку, до минимальной, когда она движется по направлению пучка. Ширина этой полосы частот зависит от орбитальной скорости частицы. Настраивая лазер, можно добиться совпадения этой полосы с любой частотой «внутреннего» вращения частицы, которая окажется в резонансе, что приведет к испусканию излучения. Таким способом Демельту удалось выполнить точные измерения магнитного момента электрона и показать, что он был в 2,0023193044 раза больше, чем ожидалось — это значение отличалось на 0,1% от фактора 2, предсказанного уравнением Дирака. Квантовоэлектродинамические расчеты *à la* Фейнман давали 2,0023193048! Это одно из самых поразительных совпадений теории с экспериментом — погрешность в несколько миллиардных долей равносильна тому, что снайпер с Земли попадет в кофейную чашку на Луне.

Отдельный электрон, «прикреплённый» к Земле ее электрическим полем, можно отождествить с гигантским атомом, в котором Земля играет роль ядра. Демельт назвал этот псевдоатом «геониумом». Результатом десятилетних героических усилий Демельта и его группы стало точное измерение магнитного момента электрона и позитрона (при изменении направления электрического поля). Никогда еще столь большие усилия не тратились на исследование столь малого объекта. Демельт назвал этот проект «Меньше — больше» («Less is more»). Полученные в эксперименте значения магнитных моментов электрона и позитрона совпадают с точностью до нескольких десятимиллиардных долей. По сей день это остается самой точной проверкой того факта, что частицы ведут себя так же, как и античастицы.

Измеренный магнитный момент оказался в 1,000000000055 раз больше предсказываемого самыми точными физическими расчетами. Это крошечное различие между предсказанным и измеренным значениями навело Демельта на мысль, что электрон и позит-

рон, возможно, не являются точечными частицами, но имеют конечный размер. Если использовать измеренное значение магнитного момента в качестве опорного, то диаметр электрона окажется равным одной стомиллиардмиллиардной доле сантиметра (10^{-20} см), что в тысячу раз меньше разрешения лучшего из существующих «рентгеновских снимков» электрона. Воспользовавшись этим тысячекратным фактором в качестве страхового полиса, Демельт высказал предположение о том, что на таких масштабах электрон уже не является отдельной частицей, но состоит из субкварков, каждый из которых в десять миллиардов раз тяжелее самого электрона и является следующей ступенькой вниз по лестнице, ведущей в конечном счете к тому, что он назвал «космоном» — самой маленькой и самой массивной частице Вселенной.

ЛОВУШКА ДЛЯ АНТИПРОТОНОВ

После того как электроны и позитроны были пойманы в ловушку и обмерены с невиданной точностью, внимание было обращено на антипротоны. Антипротоны удерживались в установках для частиц высокой энергии в ЦЕРНе, однако там идея состояла в том, чтобы их использовать, а не измерять. В ЦЕРНе было также построено кольцо ЛИР (от англ. *LEAR — Low-Energy Antiproton Ring*) для низкоэнергетичных антипротонов, которое предназначалось в том числе и для их изучения. (ЛИР явился прорывом в исследовании антиматерии, и о нем пойдет речь в следующей главе.) Джеральд Габриэльс — бывший коллега Демельта по Вашингтонскому университету — предложил использовать ловушку Пеннинга для накопления антипротонов в ЛИРе. На этом пути пришлось преодолевать множество трудностей. Чтобы минимизировать тепловое движение, которое могло разрушить хрупкие орбиты в ловушке, частицы следовало охладить до температуры жидкого гелия и даже ниже. Но жидкий гелий очень быстро поглотил бы драгоценные антипротоны, поэтому вместо него следовало использовать газ из холодных электронов: отрицательно заряженные электроны могли мирно уживаться с отрицательно заряженными антипротонами. Антипротоны из ЛИРа поступали в 13-сантиметровую ловушку Пеннинга со сверхглубоким вакуумом. Когда антипротоны попадали внутрь нее, поляриность напряжения на электродах ловушки изменялась на обратную — «дверь» ловушки захлопывалась, и в нее не могло проникнуть больше ни одного антипротона. Те же, что оказывались внутри, были заточены в крошечном пространстве объемом в один кубический миллиметр.

На этом этапе в ловушке находилось примерно десять тысяч антипротонов и еще больше электронов охлаждающего газа. Высокочастотное электрическое поле удаляет из ловушки легкие электроны. Постепенно уменьшая глубину электромагнитной ловушки, из нее удаляют лишние антипротоны, пока их не останется штук 15. Затем оставшиеся антипротоны удаляют из ловушки поодиночке, пока в ней не останется один-единственный антипротон. После этого глубину ловушки опять увеличивают, чтобы не дать покинуть ее этой единственной частице. Настроившись на слабый радиосигнал от этого антипротона, группа Габриэльса измерила его частоту. Первый антипротон был пойман в ловушку Габриэльсом в 1986 г. После проведения этих измерений группа Габриэльса занялась накоплением ультрахолодных антипротонов в глубокой ловушке, и к 1993 г. они были в состоянии удерживать до миллиона антипротонов одновременно.

Создание подобных ловушек потребовало от физиков максимального напряжения их творческих способностей. Но Природа еще более изобретательна, и у нее оказались свои методы удержания частиц. В атомах соседствуют частицы с противоположными электрическими зарядами — протоны и электроны. В принципе атомоподобные системы могут быть образованы обычным ядром и любой отрицательно заряженной частицей, например антипротоном. Для получения антипротонов пучок частиц высокой энергии надо направить на мишень, в которой образуются вторичные частицы, в том числе и антипротоны, вылетающие с очень высокими скоростями, сопоставимыми со скоростью света. Эти быстрые антипротоны сталкиваются с обычными атомами, выбивают из них электроны и замедляются. В конце концов антипротоны замедляются до «скорости пешехода». Когда такой антипротон встречается с одиночным протоном, благодаря электрическим силам притяжения может начаться орбитальное движение одного вокруг другого. Такой атом называется *барионием* и представляет собой атом водорода, в котором орбитальный электрон заменяет антипротон. Это способ удержания антипротонов, придуманный самой Природой. Барионий впервые наблюдался в экспериментах, проведенных в ЦЕРНе в 1970 г. Однако антипротон примерно в 2000 раз тяжелее электрона, поэтому размеры атома бариония намного меньше размеров атома водорода. Подобно всем нормальным атомам, барионий имеет набор разрешенных уровней энергии, своего рода «лестницу», и при образовании этого атома антипротон высаживается на одной из ее верхних ступеней. Теряя энергию на излучение, он постепенно спускается вниз по энерге-

тической лестнице и приближается к протону. В атоме водорода и в других обычных атомах ядро гораздо тяжелее орбитальных электронов, и его можно считать неподвижно закрепленным в центре атомной «солнечной системы», в которой электроны движутся по удаленным орбитам. Но у бариония обе составляющие атом частицы имеют одинаковую массу. В этом случае нельзя считать, что одна из них совершает орбитальное движение вокруг другой. На самом деле они вращаются относительно друг друга. Когда антипротон спускается на низшую ступень энергетической лестницы, расстояние между протоном и антипротоном становится сравнимым с размером самих частиц — протон и антипротон фактически перекрываются друг с другом и довольно быстро аннигилируют. Однако они все-таки успевают какое-то время покрутиться относительно друг друга в электромагнитном падеде, прежде чем аннигилируют.

До 1987 г. ученые ни разу не наблюдали, как антипротон доходит до низшей ступени на энергетической лестнице бариония, поскольку он всегда становился жертвой протона, не успев по ней спуститься. В 1987 г. работавшие на ЛИРе физики наблюдали каскад рентгеновских квантов, испущенных в процессе приближения антипротона к протону. Одному из ста антипротонов все-таки удавалось дойти до низшей ступени на энергетической лестнице. Свойства атома бариония могут быть точно рассчитаны, однако эти предсказания теряют силу, когда протон начинает перекрываться с антипротоном. Изменения свойств атома позволяют физикам понять, что происходит, когда протон в течение короткого промежутка времени существует вблизи антипротона, прежде чем они станут жертвами аннигиляции.

Располагая различными видами естественных и искусственных ловушек, физики к 1986 г. сумели изолировать отдельные антипротоны и позитроны. В принципе у них были исходные компоненты для создания первых атомов антиматерии. Электрически нейтральные атомы состоят из отрицательно заряженных электронов, совершающих орбитальное движение вокруг положительно заряженного ядра, содержащего протоны и нейтроны. В случае антиматерии роли электрических зарядов меняются местами — положительно заряженные позитроны совершают орбитальное движение вокруг отрицательно заряженного ядра из антипротонов и антинейтронов. Водород является простейшим из атомов — единственный электрон вращается вокруг ядра из единственного протона. Простейший атом антиматерии — антиводород должен состоять из позитрона, вращающегося вокруг анти-

протона. Если принять во внимание опыт работы с отдельными частицами, то путь к созданию антиводорода может показаться проторенным — нужно поместить антипротоны и позитроны в электромагнитную ловушку и предоставить им возможность подхватить один другого.

Получающиеся в результате атомы антиматерии будут электрически нейтральны и сразу же покинут ловушку под действием гравитации. Однако будут ли античастицы падать под действием гравитационных сил с той же скоростью, что и обычная материя? Согласно теории Эйнштейна гравитационные силы зависят только от массы, поэтому вещество и антивещество должны падать одинаково. Но до сих никто не наблюдал, как антиматерия ведет себя в гравитационном поле. Может даже случиться, что она будет «падать вверх»! Наблюдение за поведением антиматерии в гравитационном поле стало бы следующим шагом в серии экспериментов, начатых Галилеем четыреста лет назад.

Чтобы изучить поведение антиматерии в гравитационном поле, физики строят большие пеннинговские ловушки, чтобы удержать миллионы антипротонов и измерить воздействие на них гравитационного поля Земли. Это будет чрезвычайно тонкий эксперимент по влиянию гравитации на антиматерию. Может оказаться, что материя и антиматерия отталкиваются друг от друга гравитационными силами. (Другим решающим опытом было бы исследование того, как антипротоны падают на анти-Землю. Могущественные теоремы говорят о том, что антипротоны будут падать на анти-Землю точно таким же образом, как протоны падают на Землю, однако смоделировать анти-Землю будет намного сложнее, чем создать антипротоны!)

Мы привыкли думать, что гравитация является универсальной силой притяжения — любая масса во Вселенной притягивает к себе все остальные массы. Но так было не всегда. Чтобы дать Вселенной возможность достичь ее настоящих размеров, гравитация, возникшая сразу после Большого Взрыва, должна была быть силой отталкивания, гораздо более мощной, чем известные нам теперь силы притяжения. Играла ли антиматерия какую-либо роль в этой «антигравитации»?

Кольцо СПИР в Стэнфорде продемонстрировало, насколько продуктивно сталкивать электроны с позитронами для создания кварков и антикварков. Ставка на электрон-позитронное направление исследований оказалась выигрышной. Одной из первых по пути СПИРа последовала гамбургская лаборатория ДЭЗИ (от нем. *DESY — Deutsches Elektronen Synchrotron* — немецкий электронный синхротрон). В ДЭЗИ уже имелась электронная база, и там началось строительство серии электрон-позитронных колец.

Первое из них — ДОРИС (от нем. *Doppel-Ring-Speicher* — двойное накопительное кольцо), имеющее форму эллипса 50×100 м, вступило в строй сразу после открытия на СПИРе четвертого, очарованного кварка. Поскольку ДОРИС могла сталкивать электроны и позитроны с большими энергиями, на ней можно было подняться к следующему поколению кварков. На ДОРИС рождались частицы, содержащие кварк лятого типа «красивый», или *b-кварк*, и его антикварк.

Хотя ДОРИС без труда справлялась со своими задачами, уже проектировался ее преемник ПЕТРА. Имея диаметр 730 м и более высокие энергии электронов и позитронов, эта установка, вероятно, могла первой подняться на шестую ступеньку по кварковой лестнице. Частицы начали сталкиваться с античастицами в этой установке в 1987 г., на девять месяцев раньше запланированного срока и почти на два года раньше, чем у конкурентов в США. ПЕТРА была полновластной хозяйкой на электрон-позитронном поле.

Ступеньки на кварковой лестнице расположены неравномерно, и никто не знал, как высоко окажется следующая. Пучок частиц в ПЕТРА нащупывал признаки новой кварк-антикварковой точки опоры. Но это был лишь план на будущее. Энергии электронов и позитронов в ПЕТРА были недостаточны для создания *W* и *Z* — носителей слабого взаимодействия. Главный приз дождался тяжелой протон-антипротонной артиллерии Карло Руббиа. Но на

какие исследовательские достижения можно было рассчитывать на ПЕТРА?

КВАРКОВЫЕ СВЯЗИ

Когда электроны и позитроны настроены на кварк-антикварковый резонанс, кварк-антикварковый сигнал звучит громко и ясно, как это было на СПИРе в 1974 г. Однако, когда электроны и позитроны экономят энергию, кварк-антикварковые позывные делаются неясными. На создание связей, удерживающих вместе кварк и антикварк, тратится дополнительная энергия. При увеличении энергии эти связи начнут вибрировать подобно внезапно растянутому куску резинки. Если еще увеличить энергию, то резинка в конце концов разорвется, и половинки разлетятся в противоположные стороны.

Даже при разрыве связи кварка с антикварком не происходит их разделения. Горизонтальный стержень имеет два конца — правый и левый. Если распилить его пополам, то получатся два стержня поменьше, но у каждого будут и левый, и правый концы. Левый и правый концы — это лишь свойства предмета, а не предметы сами по себе. Сколько бы ни отрезался левый конец, никогда не получится стержня с одним правым концом. В нашем мире кварки тоже являются лишь свойством: никто никогда не видел свободного кварка или антикварка. При разрыве упругой связи между кварком и его антикварком возникают две кварк-антикварковые пары, каждая со своей связью. Уже в первых экспериментах продукты электрон-позитронной аннигиляции ясно демонстрировали возникновение диаметрально противоположных струй частиц (рис. 12.1) — того, что осталось от разорванной кварк-антикварковой связи.

Упругая связь кварка и антикварка, удерживающая их в связанном состоянии, построена из частиц → глюонов (от англ. *glue* — клей), названных Мюрреем Гелл-Манном так потому, что они как бы склеивают кварки друг с другом. Когда кварк и антикварк находятся близко друг к другу, глюонная связь почти никак себя не обнаруживает. Эта связь подобна длинной пружине, которая инертна, когда ее концы сближаются, и напрягается, лишь когда их разводят в разные стороны. Чем больше расстояние между концами пружины, тем выше ее упругое напряжение.

При разрыве перенапряженной связи на две части с кварками и антикварками на концах часть запасенной энергии может излучаться, подобно тому как гитарная струна издает при вне-



Рис. 12.1. При аннигиляции электрона и позитрона рождается пара кварк-антикварк. Связь этой пары может разрываться, в результате чего образуются дополнительные пары кварк-антикварк. Такие пары появляются в виде «струй», летящих в противоположных направлениях.

запном обрыве резкий звук. Но в отличие от гитарной струны разрыв кварк-антикварковой связи приводит к возникновению частицы — *глюона*.

Выделяющаяся энергия распределяется между тремя пучками частиц — две струи образуются в результате разрыва связи кварков с антикварками на концах, и одна порождается глюоном. Возникающая при этом картина напоминает фирменный знак компании «Мерседес» (рис. 12.2.). Такие картины впервые наблюдались в 1979 г. на электрон-позитронном коллайдере ПЕТРА. На ПЕТРА не удалось получить шестой кварк, однако в пучках материи и антиматерии на ней были обнаружены глюоны — «клей», удерживающий кварки с антикварками.

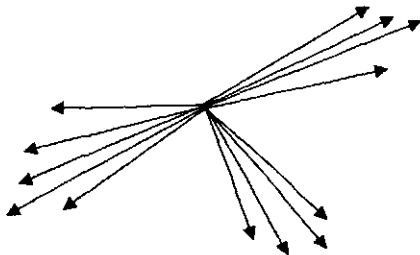


Рис. 12.2. Полученные на электрон-позитронном коллайдере ПЕТРА четкие различимые три струи показали, что при столкновениях электронов с позитронами могут рождаться глюоны — частицы, которые склеивают кварки с антикварками. При разрыве связи кварка с антикварком высвобождается энергия и помимо рождения новых пар кварк-антикварк могут образоваться также отдельные глюоны. Затем глюоны превращаются в кварк-антикварковые пары.

ИНТЕРМЕДИЯ С АНТИПРОТОНОМ

Глюоны связывают кварки с антикварками. Они также способны склеить три кварка, в результате чего получается протон, или три антикварка, и тогда получается антипротон. Для изучения глюонов нужны протоны и антипротоны с низкими энергиями. Можно ли было выделить часть антипротонов для других целей, когда ЦЕРН готовился к решению главной задачи — получению W - и Z -частиц путем столкновения высокоэнергетичных пучков протонов и антипротонов? Переключив ускоритель, можно было замедлить антипротоны до скорости пешехода. Нельзя ли заставить глюоны как-то иначе проявить себя, подобрав комбинацию из низкоэнергетичных антипротонов и протонов?

Поначалу ЦЕРН не собирался тратить драгоценные античастицы на то, что выглядело побочным физическим исследованием, однако ЛИР в конце концов получил на это разрешение при условии жесткого рационирования антипротонов. В состав оборудования ЛИРа входили четыре 8-метровых трубопровода, расположенных по сторонам квадрата, которые соединялись с четырьмя антипротонными каналами, отклонявшими пучок антипротонов магнитным полем на 90° . Первые антипротоны были инжесктированы в ЛИР в 1982 г. Исследование кваркового клея было одной из приоритетных задач в программе исследований на ЛИРе, однако ЛИРу пришлось ждать почти до окончания своей карьеры, прежде чем удалось приступить к реализации программы, причем она не была связана с исследованиями кваркового «клея».

Детство ЛИРа было полно лишений — ему доставалось лишь 6% всех имевшихся в ЦЕРНе антипротонов. Столь тощая диета означала, что ЛИРу следовало научиться максимально использовать драгоценные античастицы, и его специалисты разработали метод вывода циркулировавших антипротонов из кольца поодиночке. Антипротоны движутся почти со скоростью света, поэтому при одиночном выведении в течение 10 минут получался пучок, похожий на растянувшуюся от Земли до Солнца тонкую антипротонную цепочку, вдоль которой античастицы располагались через каждые 100 метров.

ЛИР задумывался как протон-антипротонный коллайдер на низких энергиях, в котором пучки частиц и античастиц циркулируют навстречу друг другу, однако таким образом он так никогда не использовался. При этом нарушалась бы чистота антипротонных пучков, требовавшихся для других экспериментов на ЛИРе, в

которых построенные по специальному заказу детекторы выхватывали антипротоны из пучка, накопленного в ЛИРе. Чтобы исследовать процессы аннигиляции, не создавая помех побочным экспериментам, ЛИР прибегнул к помощи мощного газового инжектора, создававшего плотную водородную завесу, состоящую преимущественно из протонов. Струя газа впрыскивалась поперек циркулирующих антипротонов и обладала в миллионы раз большей плотностью, чем любой протонный пучок, обеспечивая тем самым более высокую интенсивность протон-антипротонных столкновений. Такая газовая завеса возмущает циркулирующий антипротонный пучок, однако это происходит только в одной точке, и возникающие колебания пучка можно погасить. Технология создания подобных струй чрезвычайно сложна — сверхчистый водород впрыскивается под большим давлением через микроскопическое сопло диаметром в один микрометр. Чтобы поддерживать глубокий вакуум в кольце, эту тонкую струю газа, поперечник которой после ее расширения составляет примерно один квадратный сантиметр, отсасывают на противоположной стенке кольца. Инжекторы настолько мощные, что струя газа вылетает из сопла со сверхзвуковой скоростью, а расход составляет примерно 100 000 литров в секунду. Струйная газовая мишень использовалась детектором «Джетсет» («Jetset») — компактным цилиндром высотой 2 м. «Джетсет» начал работать в 1990 г., т. е. на восьмом году функционирования ЛИРа.

К этому времени ЦЕРН утратил свою монополию на антипротоны. На другом побережье Атлантики, в Фермилабе, где в 1976 г. Карло Руббиа впервые предложил свой антипротонный проект, антипротоны давно уже стали инструментом физических исследований. В Фермилабе когда-то захлопнули перед Руббиа дверь, однако потом передумали и в 1979 г. приступили к осуществлению собственной антипротонной программы. Зная о стартовом преимуществе ЦЕРНа, но имея в своем распоряжении пучки более высоких энергий, в Фермилабе выбрали более долгосрочную программу. Козырной картой Фермилаба стал новый ускоритель — Тэватрон, способный разгонять пучки до более высоких энергий, чем в ЦЕРНе. Фермилабовский протон-антипротонный коллайдер Тэватрон заработал в 1985 г. Его звездный час наступил в марте 1995 г, когда был открыт шестой кварк, который был назван *t-кварком* (от англ. *top* — верх) и оказался намного тяжелее остальных. Неудивительно, что этот кварк, который в триста раз тяжелее пятого кварка, никогда не наблюдался на электрон-позитронном коллайдере ПЕТРА.

Несмотря на то что Фермилаб не располагал установкой, эквивалентной ЛИРу, прецизионные антипротонные эксперименты там можно было проводить по периметру накопительного кольца, в котором происходило накопление частиц антиматерии, которые затем направлялись в Тэватрон. В одном из этих экспериментов тоже использовалась струйная газовая мишень. Экспериментам в Фермилабе присваиваются порядковые идентификационные номера. У струйной газовой мишени был номер E760.

В 1991 г. протон-антипротонный коллайдер СПС в ЦЕРНе был окончательно закрыт, и эстафетная палочка исследования антипротонов высоких энергий перешла к Фермилабу. Однако фабрика антипротонов по-прежнему существовала в ЦЕРНе, и ее единственным клиентом теперь стал ЛИР. У ЛИРа, находившегося все время в тени огромного протон-антипротонного коллайдера СПС, сложился комплекс неполноценности. Склад научных трофеев ЛИРа оставался на удивление пустым. Из-за скудного финансирования исследовательских работ возникли опасения, что антипротонный источник ЦЕРНа навсегда закроют, а его компоненты подарят Японии. Этого можно было бы избежать, если бы на ЛИРе был получен важный научный результат.

Одна из особенностей ЛИРа заключалась в возможности синтезировать атомы с антипротонами. Простейшим антипротонным атомом является антиводород с ядром из антипротона и орбитальным позитроном. Если бы позитроны удалось ввести в ЛИР в дополнение к циркулирующим там антипротонам, то можно было бы синтезировать антиводород. Химия тогда вступила бы в зазеркальный мир антиматерии. Создатели ЛИРа будто предвидели такую возможность. В углах ЛИРа, имевшего по периметру форму квадрата, отрицательно заряженные антипротоны поворачивались магнитным полем, а в прямолинейных секциях подвергались охлаждению. Если на прямолинейном участке возникнет нейтральная частица, например антиатом, то она не испытает воздействия отклоняющего пучок магнитного поля и вылетит из торца прямолинейной секции. Конструкция ЛИРа предусматривала окна в местах поворотов орбиты на 90 градусов, с тем чтобы любую нейтральную частицу можно было зарегистрировать детекторами снаружи кольца.

Несмотря на эту предусмотрительность, окна, через которые антиатомы имели возможность вылетать наружу, были довольно скоро загорожены другой аппаратурой. Хотя античастицы стали обыденным явлением в физике, мало кто из ученых обнаруживал интерес к антихимии. Основное внимание уделялось другим ти-

пам атомов, имеющим в своем составе антипротоны. Отрицательно заряженные антипротоны способны замещать электроны в атомах. Поскольку антипротон примерно в 2000 раз тяжелее электрона, подобные экзотические атомы выглядят совершенно иначе. Орбитальный антипротон находится очень близко от ядра. Антипротонный гелий, образующийся из обычного гелия при замещении антипротоном одного из двух орбитальных электронов, обнаруживает множество интересных физических свойств. Однако никого не интересовал антиводород, ядром которого является античастица.

КАК СОЗДАТЬ АНТИАТОМ

Американский теоретик Стэнли Бродски и гость из Чили Иван Шмидт изучали в Стэнфорде распределение кварков в субъядерных частицах. Они решили заново разобраться в том, как заряженные частицы рассеиваются атомами, и пришли к выводу, что в этих реакциях могут рождаться электрон-позитронные пары. Со времен пионерских работ Блэкетта и Оккиалини, выполненных в 1932 г., электрон-позитронные пары стали обычным побочным продуктом физических экспериментов. Характерные завитки электронов и позитронов, закрученные в противоположных направлениях, обнаруживаются всякий раз, когда высокоэнергетичное излучение материализуется в частицы. Если бы заряженными частицами были антипротоны, а скорости позитрона и одного из антипротонов оказались очень близки друг к другу, то, полагали Бродски и Шмидт, позитрон и антипротон могли бы образовать атом антиводорода. У водителя автомобиля немного шансов завязать разговор с пешеходом, мимо которого он проезжает, однако едущие рядом с одинаковой скоростью шоферы такси в состоянии обмениваться информацией. Цель состояла в том, чтобы согласовать скорости позитронов и антипротонов. Тщательное согласование, возможно, позволит управлять созданием атомов антиматерии.

Прежде чем предложить кому-либо поставить такой эксперимент, Бродски и Шмидт хотели подсчитать, сколько антиводорода можно получить таким способом. В Стэнфорде работал специалист по атомной физике Чарльз Мангер, проводивший по соседству в Беркли эксперименты по образованию позитронов. Ознакомившись с предложением Бродски и Шмидта, Мангер порекомендовал воспользоваться струйной газовой мишенью, используемой в протон-антипротонных коллайдерах. Полагая,

что расчетный выход антиводорода может оказаться неутешительно малым, Мангер также указал на то, что будет относительно несложно зарегистрировать даже отдельные атомы антиводорода. Затем Мангер повез эту идею в Фермилаб, где она могла быть реализована параллельно с существующим газоструйным проектом E670. Этот новый эксперимент получил номер E862. Заявленная в нем цель звучала так: «Мы намерееваемся обнаружить первые атомы антиводорода».

В июле 1992 г., в то самое время, когда проект E862 рассматривался в инстанциях Фермилаба, около восьмидесяти специалистов собрались в Мюнхенском университете Людвиг Максимилиана, чтобы обсудить, как создать атомы химической антиматерии. Несмотря на интерес к вопросам антихимии и тот факт, что ЛИРу угрожало закрытие, у ЦЕРНа не было на сей счет никаких планов. Однако некоторые из работавших на ЛИРе физиков присутствовали на этой конференции. После выступления нобелевского лауреата Вольфганга Пауля и обзора антипротонной физики участники конференция занялись решением насущной задачи: как синтезировать антиводород.

На мюнхенской конференции по антиводороду было также три специалиста, знавших ЛИР как свои пять пальцев. Выслушав мнения о различных возможностях синтеза антиводорода, Мишель Шанель, Пьер Лефевр и Дитер Мёль вспомнили об окнах на 90-градусных изгибах ЛИРа, откуда могли вылетать нейтральные частицы. Их интересовал следующий вопрос. Быть может, на «Джетсет» с его струйной мишенью все это время рождались атомы антиводорода, но просто никто не дал себе труда этим поинтересоваться? В 1993 г. группа «Джетсет» кое-как собрала из разрозненных частей детектор и установила его за детектором, расположенным на пути пучка за выходным окном. Позитрон легко отделялся от антиатома и мог быть зарегистрирован первым детектором. Аннигиляция этой античастицы с характерным разлетом фотонов в диаметрально противоположных направлениях будет зарегистрирована чувствительными кристаллами. Оставшиеся антипротоны будут зарегистрированы системой полупроводниковых счетчиков. Набор счетчиков на 5-метровом пути позволит также измерить время пролета частицы. Этот «секундомер» отличит антипротоны ЛИРа от прочих частиц. В течение двух недель «Джетсет» пристально изучал антипротоны в широком диапазоне энергий. Было зарегистрировано тринадцать совпадений пар частиц, из которых только одно обнаруживало характерный для аннигиляции позитрона разлет в разные

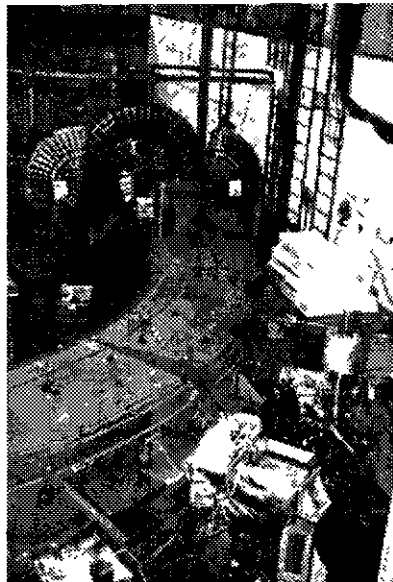


Рис. 12.3. Антипротонное кольцо ЛИР. На переднем плане один из четырех магнитов, отклоняющих антипротонные пучки. В конце прямолинейного участка на заднем плане расположена установка, зарегистрировавшая первые атомы антиматерии в 1995 г. (фото ЦЕРНа).

стороны двух фотонов. Исследовательская группа ликовала, но одного кандидата в атомы антиводорода было недостаточно. Эксперимент был повторен на следующий год, однако антиводород больше не появлялся.

В октябре 1994 г. 16 физиков из группы «Джетсет», в составе которой было 42 сотрудника, вынесла на обсуждение официальное предложение о проведении самостоятельного эксперимента с целью заявить свое право на создание антиводорода. Большинство физиков представляло три немецких исследовательских центра — Юлих (включая руководителя группы Вальтера Элерта), Дармштадтскую лабораторию и Университет Эрланген — Нюрнберг. Группа из четырех сотрудников Генуэзского университета и Института ядерной физики, возглавляемая Марио Макри, должна была позаботиться о струйной мишени. Воплощение этого замысла требовало строительства новых детекторов и размещения их как снаружи, так и внутри выходного окна ЛИРа; кроме того, сама камера ЛИРа требовала доработки. Однако антипротоны в ЛИРе были нарасхват, поэтому задуманный эксперимент требовалось провести в кратчайшие сроки. Чтобы увеличить интенсивность образования электрон-позитронных пар, группа предложила вместо водорода инжектировать на орбиту антипротонов более тяжелый газ. Поначалу было предложено

использовать азот или аргон, но поскольку в распоряжении группы было всего несколько дней, то выбор пал на сверхтяжелый ксенон. Этот скромный эксперимент был официально одобрен в феврале 1995 г. и после поспешной установки дополнительных детекторов был проведен летом следующего года. Дальнейшие события были описаны в гл. 1.

Немногие научные открытия столь широко и оперативно освещались в средствах массовой информации. Забавно, что большинство физиков, занимавшихся в ЦЕРНе элементарными частицами, упорно отказывались замечать интерес общественности к этим событиям. Синтез антиводорода просто подтвердил то, что им уже и так было известно. По их словам, дебют антихимии был «газетным экспериментом». В конце 1996 г., т. е. всего год спустя после антиводородной сенсации, топор палача опустил, и ЛИР навсегда прекратил свое существование. За время двенадцатилетней карьеры через него прошло сто миллионов миллионов антипротонов. Собранные вместе, эти частицы будут весить всего лишь 0,2 миллиардной доли грамма. Суммарная энергия аннигиляции всех этих антипротонов составляет 40 джоулей — этого хватит, чтобы на секунду зажечь маломощную лампочку.

Но все это было не напрасно. Для сохранения антипротонного плацдарма одно из колец фабрики антиматерии ЦЕРНа было переоборудовано, так что антипротоны по-прежнему доступны в Европе. Совершенный Элертом прорыв был лишь предварительным знакомством с антиматерией. Этот эксперимент был слишком скоротечным: антипротоны и позитроны соединялись друг с другом лишь на 40 миллиардных долей секунды. Настоящая работа сможет начаться только тогда, когда атомы антиводорода удастся удержать достаточно долго, чтобы дать возможность позитрону постепенно спуститься по ступенькам энергетической лестницы. Только после этого можно будет сравнить свойства водорода и антиводорода. В дальнейших экспериментах в ЦЕРНе и Фермилабе будет предпринята попытка удержать антиматерию и тщательно изучить ее. Это позволит получить ответ на самые важные вопросы. Ведет ли себя антиматерия как обычная материя? Как антиматерия ведет себя в гравитационном поле? Совпадают ли спектры антиатомов со спектрами атомов? Любые обнаруженные различия помогут понять, почему в нашей Вселенной нет антивещества.

Научное знание дается непросто, но еще труднее способствовать прогрессу науки, творчески проводя исследования. В предисловии к бестселлеру Лоуренса Краусса *The Physics of Star Trek* Стивен Хокинг говорит, что научная фантастика служит серьезной цели, стимулируя воображение. Хокинг пишет: «Научная фантастика подсказывает идеи, которые ученые затем воплощают в своих теориях, но иногда в науке неожиданно возникают представления, которые выглядят смелее, чем любая научная фантастика». Одним из них является антиматерия, стимулировавшая воображение писателей-фантастов. Антиматерия играет ключевую роль в осуществлении проекта *Star Trek* — без антиматерии он был бы невозможен. Не портя общего впечатления от книги, Краусс отмечает целый ряд неточностей в литературе, расцветшей на почве антиматерии. В ряде случаев антиматерия питала воображение и самих ученых.

«ЗВЕЗДНЫЕ ВОЙНЫ»

В своей транслировавшейся по телевидению речи 23 марта 1983 г. американский президент Рональд Рейган объявил о наступлении в США эры вооружений нового поколения, которые смогут «избавить мир от угрозы ядерной войны», сделав ядерные ракеты «беспомощными и бесполезными». В конце того же года Министерство обороны США объединило ведущиеся опытно-конструкторские работы в области вооружений под эгидой Стратегической оборонной инициативы (СОИ), руководителем которой стал генерал-лейтенант военно-воздушных сил Джеймс А. Абрахамсон. Целью проекта было создание неуязвимой, сверхсложной системы, предназначенной для уничтожения баллистических ракет из 10000-го советского арсенала, прежде чем они смогут достичь своей цели. Множество датчиков космического базирования будут обна-

руживать запуск советских ракет из шахт или с подводных лодок и следить за их полетом. По принятии решения о перехвате бортовые компьютеры этих ракет будут сбиты с толку остроумными ловушками, а новые виды «разумных» систем выследят и уничтожат их. Уничтожены будут даже ракеты с разделяющимися головными частями (кассетными боеголовками). Объединенные в систему невообразимой сложности, эти космические штурмовики будут находиться на околоземной орбите в состоянии постоянной боеготовности и в случае необходимости дадут залп из лазерного оружия двадцать первого века. Все это должно было стать реальным воплощением видеоигры «Нинтендо», и Соединенные Штаты горделиво заявляли, что станут непобедимыми.

Вопреки неоднократно повторявшимся требованиям Белого дома использовать официальный термин СОИ, этот будоражащий воображение план с подачи средств массовой информации был окрещен «Звездными войнами» — так назывался снятый Джорджем Лукасом в 1977 г. фильм, в котором силы добра во главе с Люком Скайуокером боролись с воинами зла, возглавляемыми Дартом Вейдером. Генерала Абрахамсона и его подчиненных вскоре стали называть «звездным ратниками». Поначалу на программу было ассигновано примерно 26 миллиардов долларов, а самые лакомые куски получили основные подрядчики — *TRW, Lockheed, General Electric, Rockwell, Boeing, Grumman, Hughes, Martin Marietta*... Многие из этих фирм создавали специальные подразделения СОИ или назначали специальных вицепрезидентов, дабы присматривать за новым прибыльным рынком.

То были благословенные дни для американской экономики — огромные перерасходы средств получали негласное одобрение, в то время как целые лавины ценных бумаг одна за другой бойко раскупались на оживленном рынке. Как только начались денежные вливания, проект «Звездных войн» стал еще более смелым. По сравнению с летящими со скоростью света лазерными пучками советские ракеты будут казаться системам наблюдения СОИ едва ползущими. Новые рентгеновские лазеры, приданные войскам космического базирования, будут запускаться не чем иным, как ядерным взрывом, инициирующим главную генерационную камеру, которая, в свою очередь, будет питать цилиндры меньших размеров. Разумеется, ядерный взрыв разрушит базовую установку, однако к тому моменту, когда это случится, система генерационных стержней и зеркал успеет направить смертоносный рентгеновский шквал на избранную цель.

Едва поднявшись над атмосферой Земли, советские межконтинентальные баллистические ракеты окажутся беззащитными и перед атакой мощных пучков субъядерных частиц. Чтобы исключить случайные отклонения пучков электрически заряженных частиц в магнитном поле Земли, на вылете из пучковой пушки они будут проходить через электрически нейтральные «глушители». Система оборонительных новинок будет дополнена гигантской суперпушкой, стреляющей небольшими, но «разумными» реактивными снарядами, чья бортовая электроника поведет их точно к цели. Эта пушка станет новой разновидностью «рельсовой» пушки, использующей электромагнитную энергию вместо химической реакции взрыва для придания пули скорости 11 километров в секунду, что в десять раз превосходит скорость пули, выпущенной из обычной винтовки. При таких скоростях даже пластиковая пуля способна пробить навывлет дюймовую стальную плиту. В своем окончательном виде скорострельная «рельсовая» пушка будет выпускать десяток пуль за считанные доли секунды, однако для этого ей потребуется электропитание мощностью 2,5 гигаватта — такой энергии достаточно для обеспечения целого города.

Таким образом, основным условием программы «Звездных войн» стало создание удобных и надежных источников энергии космического базирования, предназначенных для обеспечения подобных систем. Случись несколько ложных тревог, и обычные батареи быстро сядут. В космос уже запускались спутники с установленными на них небольшими ядерными реакторами, однако ядерные источники энергии космического базирования при больших размерах окажутся слишком дорогостоящими из-за проблемы защиты от излучения. Фантазия инженеров была занята поисками новых источников энергии, чьи характеристики соответствовали бы целям и задачам всей программы.

Параллельно с программой «Звездных войн» в США разрабатывался и другой грандиозный проект. Самолюбие некоторых американских физиков было задето, когда Карло Руббиа получил Нобелевскую премию за открытие W - и Z -частиц в 1983 г. на протон-антипротонном коллайдере в ЦЕРНе. После Второй мировой войны лауреатами Нобелевской премии по физике становились в основном американские ученые. В 1984 г. на карте опять внезапно возникла Европа. Неожиданные успехи на противоположной стороне Атлантики заставили американских физиков, которые уже успели привыкнуть к сложившемуся порядку вещей, почувствовать себя униженными. Более того, ЦЕРН соби-

рался строить новое 27-километровое кольцо электрон-позитронного коллайдера для проведения новых физических экспериментов в мирных целях. У американцев не было ничего подобного. Побуждаемые действовать, США стали проектировать грандиозное 87-километровое кольцо для ускорения протонных пучков до самой высокой в мире энергии. Такую гигантскую установку следовало строить там, где земля была дешевой и не возникало никаких препятствий. Поначалу этот ускоритель был неофициально наречен Дезертроном, но в конце концов получил официальное название Сверхпроводящий суперколлайдер. Поборники этой установки заявляли, что она «отражает всеобщие интересы американского научного сообщества в области высоких энергий». Не последнюю роль в настойчивом проталкивании этого проекта сыграло чувство национальной гордости. Этот ускоритель должен был стать американским научным флагманом, создать рабочие места и помочь подняться национальной образовательной программе в области науки. Кроме того, он должен был поставлять научные кадры для выполнения программы «Звездных войн».

Здравый смысл подсказывал, что 87-километровый ускоритель следует построить рядом с Фермилабом в Иллинойсе, где существующее 6-километровое кольцо явилось бы идеальным инжектором, обеспечивающим первоначальное ускорение протонов перед их вводом в кольцо Суперколлайдера. Однако верх одержал отнюдь не здравый смысл. Поскольку многие штаты наперебой предлагали строить Суперколлайдер на своей территории, вскоре он пал жертвой политических игр. В 1998 г. новый гигантский ускоритель решено было строить в Техасе — молодом штате, который остро ощущал нехватку культуры и пообещал вложить в строительство уйму денег.

Подогреваемая столь гигантскими проектами, атмосфера в физических кругах США в 80-х годах накалилась до предела. Воображению дали волю, и деньги потекли рекой. Именно в этой горячей атмосфере военно-воздушные силы США в апреле и октябре 1987 г. организовали две конференции по антиматериальным технологиям в корпорации РЭНД, мозговом центре в Санта Моника, Калифорния. РЭНД (от англ. *Research and Development*) был основан в конце 40-х годов для консультирования ВВС США по вопросам материально-технического обеспечения. Впоследствии функции РЭНД расширились, и он стал консультировать правительство по широкому кругу проблем, впрочем, вопросы обороны по традиции оставались одними из самых

главных. Способна ли антиматерия удовлетворить неумную потребность «Звездных войн» в энергии? Похоже, что деньги не служили препятствием при решении этого вопроса. Чем сложнее была проблема, на которую наталкивалась программа «Звездных войн», тем больше денег бросалось на ее решение — до тех пор, пока она в конце концов не поддалась.

На бумаге антиматерия выглядит неиссякаемым источником энергии. Энергия в латентной форме может находиться в куске горючего материала или может быть запасена в каком-либо устройстве, например в пружине или в электрической батарее. Чтобы использовать эту энергию, ее следует преобразовать из одного вида в другой. Когда в автомобиле давят на тормоз, энергия движения машины преобразуется в тепло за счет трения колодок о диски колес. При торможении автомобиля, движущегося со скоростью 50 километров в час, выделяется теплота, которой хватит для приготовления чашки чая. Соотношение между кинетической энергией и теплом, в которое она превращается, хорошо известно — это *механический эквивалент теплоты*. Все виды энергии эквивалентны друг другу, и каждый физический процесс характеризуется своим «обменным курсом». Одним из главных достижений эйнштейновской теории относительности была идея, что масса, т. е. материя как таковая, сама по себе является формой энергии. В этом случае обменный курс массы m и энергии E определяется формулой $E = mc^2$, где c — скорость света. Свет распространяется очень быстро — 300 000 километров (примерно семь периметров Земли) за секунду. Возведение этой скорости в квадрат дает весьма большое число, поэтому оказывается очень трудно превратить свободную энергию в инертную массу. Однако если двигаться в обратном направлении, то даже крошечные количества массы могут высвободить большую энергию. Лишь несколько тысячных долей массы атомной или водородной бомбы превращаются в энергию, однако этого достаточно, чтобы разрушить город или встряхнуть атолл в океане.

Любой источник энергии нуждается в определенном топливе — сырье, которое постепенно расходуется. Этот расход может принимать форму либо химического горения, когда топливо вступает в реакцию с кислородом, либо «ядерного горения», когда тяжелое нестабильное ядро превращается в более легкие и более стабильные ядра. В ядерных реакциях избыток массы высвобождается в форме энергии $E = mc^2$. Источники энергии характеризуются также тем, что остается после того, как топливо полностью истрачено: зола, выхлопные газы, ядерные отходы.

Какими бы достоинствами ни обладал конкретный метод производства энергии, создаваемые им отходы всегда нежелательны, поскольку из-за них возникают проблемы загрязнения окружающей среды.

Между тем антиматерия открывает возможность создания совершенного, абсолютно чистого источника энергии, который стал предметом мечтаний ученых с тех пор, как Дирак показал, что существование антиматерии является простым следствием релятивистских соотношений. При аннигиляции материи с антиматерией вся их масса превращается в энергию. При той же массе бомба на антиматерии была бы в тысячи раз мощнее термоядерного оружия и явилась бы, по существу, неисчерпаемым источником энергии. Если бы можно было управлять выделением энергии при аннигиляции, то всего несколько граммов антиматерии могли бы обеспечить энергией целый город в течение нескольких часов. Кроме того, аннигиляционный процесс обладает 100%-ным к.п.д. и не оставляет отходов.

Хотя антиматерия и является идеальным топливом, ее чрезвычайно трудно получить. Никакое горючее не достается даром — полезные ископаемые нужно добывать из-под земли, обрабатывать и доставлять туда, где в них нуждаются. Но не существует подземного рудника, где можно было бы добывать антиматерию. Каждый атом горючего из антиматерии придется создавать. Для этого потребуется такое же количество энергии $E = mc^2$, которое в конечном счете выделится при сгорании этого топлива. Нельзя получить больше энергии, чем ее было затрачено. При соударении высокоэнергетического пучка с мишенью наряду с антипротоном рождается множество частиц обычной материи, и на это бесполезно расходуется значительная доля энергии $E = mc^2$. Пучок частиц высокой энергии невозможно «настроить» только на производство античастиц. Чтобы получить всего один антипротон, нужно ускорить миллионы протонов и направить их на мишень. Все антипротоны, получаемые в ЦЕРНе в течение года, дадут энергию, которой хватит на то, чтобы зажечь 100-ваттную электрическую лампочку всего на три секунды! Если подсчитать энергию затрачиваемую на создание и накопление пучков протонов высокой энергии, то окажется, что эффективность производства энергии с помощью антиматерии составляет 0,00000001 %. Даже паровая машина обладает в миллионы раз большей эффективностью!

Возможно, существует другой способ использовать энергию антиматерии. Капля воды, упавшая на горячую плиту, быстро

испарится с громким шипением. Если повысить температуру поверхности, то упавшая на нее капля издаст громкий треск, а процесс испарения будет похож на маленький взрыв. Однако капля, помещенная на раскаленную докрасна плиту, ведет себя спокойно и испаряется медленно, иногда покачиваясь из стороны в сторону. Это парадоксальное поведение получило название эффекта Лейденфроста по имени открывшего его в девятнадцатом веке немецкого физика и объясняется наличием тонкого слоя пара, изолирующего водяную каплю от предельного жара снизу. При понижении температуры плиты слой пара становится тоньше и теплоизоляция капли уменьшается. При определенной температуре пар перестает изолировать каплю, и она взрывается. Мораль этой истории заключается в том, что реакция, происходящая в тонком слое потенциально мощного источника энергии, может изолировать его основной объем и предотвращать его участие в ней. Излучение, возникающее при первом соприкосновении антиматерии с обычной материей, будет действовать подобно подушке, защищающей остальной объем.

Однако в горячие дни программы «Звездных войн» никто не хотел прислушиваться к столь пессимистичным аргументам. Если денег хватит, то в принципе можно будет запустить на орбиту батарею из антиматерии для питания космических военных установок. Военно-воздушные силы США нуждались в идеях, а не в предостережениях. В этой игре не было ни правил, ни ограничений. В результате в 1986 г. в Лаборатории двигательных установок на базе Эдвардс военно-воздушных сил США в Калифорнии родился проект ARIES (*Applied Research in Energy Storage* — прикладные исследования в области накопления энергии). На следующий год около восьмидесяти ученых приняли участие в проводимой корпорацией РЭНД и финансируемой ВВС США конференции по антиматериальным технологиям. В заключительном отчете содержались рекомендации по строительству в США антипротонного источника. Физик Бруно Аугенштайн, который работал в РЭНД и одновременно являлся организатором конференции, заявил, что результаты конференции «свидетельствуют о том, что мы находимся на пороге значительного продвижения вперед как в области фундаментальной науки об антиматерии, так и в области ее практических приложений. Участники конференции обращаются к нации с настоятельной просьбой о поддержке этих исследований».

Данный отчет предусматривал проектирование и проведение пилотных экспериментов, которые должны были проло-

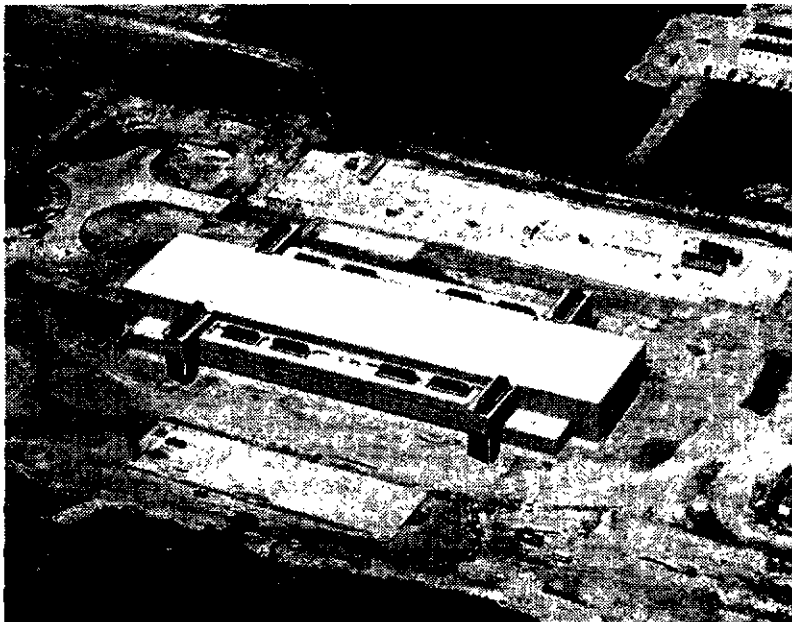


Рис. 13.1. Американский 87-километровый Сверхпроводящий суперколлайдер близ Уоксахачи (Waxahachie) в Техасе должен был стать крупнейшим в мире ускорителем. На этом снимке, сделанном в 1991 г. с воздуха, виден экспериментальный зал размером с футбольное поле, выстроенный над туннелем, в котором должен был разместиться Суперколлайдер. Строительство этой установки было прекращено в 1993 г., после чего остался 23-километровый участок пустого туннеля (фото SSC).

жить дорогу созданию двигательных установок на антиматерии в натуральную величину. В отчете говорилось, что огромные количества энергии, выделяемой при аннигиляции вещества с антивеществом, позволят создать двигатели нового типа; в нем, однако, оговаривалось, что для этого придется подождать, пока не будет получено хотя бы несколько миллиграммов антиматерии. Но независимо от конечного использования антиматерии для работы с ней потребуются создать специальные ловушки, которые будут использоваться при транспортировке драгоценной антисубстанции с завода-изготовителя до лаборатории, в которой будут проводиться последующие исследования. Разработка и создание емкостей для хранения антиматерии рассматривались в качестве «решающего условия реализации проекта».

Пока все эти проекты согласовывались, климат в мировой политике внезапно изменился до неузнаваемости. В 1989 г. пала Берлинская стена, а еще через два года распался Советский Союз. Продолжавшаяся полвека «холодная война» закончилась — по историческим масштабам это произошло сравнительно быстро. «Звездные войны» стали нецелесообразны, поскольку исчезла большая часть мотивов, способствовавших продвижению этой огромной исследовательской работы. Те из крестных отцов физики элементарных частиц — создателей атомной бомбы времен Второй мировой войны, кто остался в живых ко временам создания Суперколлайдера, — утратили свое влияние. Образовавшийся к этому времени гигантский бюджетный дефицит уже невозможно было прятать под ковер, и должен был включиться мощный финансовый тормоз. Попад в этот двойной захват, программа «Звездных войн» была остановлена, и строительство Суперколлайдера прекратилось в 1993 г., оставив за собой 23-километровый пустой туннель близ Уоксахачи, южнее Далласа (рис. 13.1). Многие научные карьеры оказались на грани краха, однако искушенность в математике довольно быстро заинтересовала проницательных менеджеров, подыскивающих специалистов, способных перехитрить фондовый рынок, используя компьютерное прогнозирование. В 1985 г. мало кто мог предвидеть падение Берлинской стены до конца текущего десятилетия. Возможно, «Звездные войны» и другая научная суета в США послужили цели, для осуществления которой не потребовалось «нажимать на кнопку». Угроза, исходящая от США с их научными и технологическими ноу-хау, бесспорно, способствовала подрыву советского влияния и ускорила крушение устаревшей системы.

КАРТИНКИ, ПОЛУЧЕННЫЕ С ПОМОЩЬЮ АНТИЧАСТИЦ

Когда «Звездные войны» отправились на свалку, физика антиматерии занялась неторопливыми, но более реалистичными проблемами. Планы создания двигателей на антиматерии были отложены, и антипротоны с позитронами стали обычным инвентарем в повседневных физических экспериментах. С их помощью открывались новые частицы и тщательно исследовались свойства уже известных. Между тем античастицы приспособивались для использования и в других областях, на этот раз в медицине и материаловедении. Они применялись для того, чтобы невидимое сделать видимым.

История получения изображений ведет отсчет от 8 ноября 1895 г., когда Вильгельм Конрад Рентген, профессор физики Вюрцбургского университета, готовил эксперимент, в котором высокое напряжение прикладывалось к вакуумной трубке. Рентгену приходилось слышать сообщения других ученых о том, что высоковольтные разряды, т.е. катодные лучи, способны проникать сквозь различные субстанции, однако он хотел увидеть это своими глазами. Завернув катодную трубку в плотную черную бумагу, он затемнил комнату и включил напряжение. К своему удивлению, ученый неожиданно заметил, что флуоресцентный экран в другом углу комнаты начал светиться. Экран сиял под воздействием какого-то излучения, проходившего сквозь черную бумагу. Помещая различные предметы между катодной трубкой и экраном, Рентген был ошеломлен, когда на экране увидел кости своей руки. Излучение, которое он назвал X-лучами, задерживалось костями, но легко проходило сквозь мягкие ткани. Сами по себе лучи были невидимыми, однако они могли воздействовать на флуоресцентный экран или фотографическую пластинку, создавая на них изображения.

Спустя год нечаянное открытие Рентгена уже использовалось в медицине для исследования переломов костей, а также в стоматологии для выявления полостей в зубах. На протяжении последующих семидесяти лет рентгеновская технология не претерпела заметных изменений со времен своего открытия — рентгеновские лучи создавались катодной трубкой, а изображение фиксировалось на фотопластинке. В 1972 г. появился новый метод — *компьютерная томография* (от греческого слова *tomos* — слой). Этот метод революционно изменил способы получения изображений в медицине. Вместо того чтобы фиксировать одну проекцию изображения, как это делается на обычной рентгеновской установке, камера компьютерного томографа вращается вокруг пациента. Собранная информация обрабатывается компьютером, восстанавливающим изображение горизонтального разреза человеческого тела. Каждый оборот камеры томографа дает свой горизонтальный разрез, и последовательные разрезы позволяют восстановить объемную картину.

Помимо использования рентгеновских лучей в медицине оказалось полезным использование меченых радиоактивных атомов — изотопов, которые накапливаются в определенных органах и чье излучение при использовании специального детектора или камеры позволяет получить четкие изображения. Этот метод, называемый радиоизотопным, дает дополнительную инфор-

мацию по сравнению с обычной рентгеноскопией. Излучение меченых атомов воспроизводит точное изображение мозга и сердца.

Вскоре после открытия позитрона в 1932 г. Фредерик Жолио и Ирэн Кюри открыли радиоактивные вещества, испускающие не электроны, а позитроны. Обычно при радиоактивном распаде нестабильные нейтроны превращаются в протоны с испусканием электронов. Положительный заряд получающегося в результате протона уравнивается отрицательным зарядом электрона. Однако в ряде случаев ядро предпочитает приобрести дополнительный нейтрон — тогда один из протонов ядра превращается в нейтрон с испусканием позитрона. Такие изотопы оставались просто физической диковинкой вплоть до начала 50-х годов, когда медики сообразили, что позитронные источники открывают новые интересные перспективы в радиографии.

Меченые атомы, испускающие позитроны, используются не как простые радиоактивные метки. Обычно испускаемые частицы регистрируются детектором. Античастицы же аннигилируют с атомными электронами в том месте, где они были испущены. Выделяющаяся при аннигиляции энергия, равная суммарной массе электрона и позитрона, уносится излучением — гамма-квантами. Эти кванты возникают парами и вылетают в диаметрально противоположных направлениях, что обеспечивает сохранение полного импульса. Если зарегистрировать эти два кванта, то они укажут место, где произошла аннигиляция. Картину распределения меченых атомов можно воссоздать поточечно, даже не прибегая к томографии.

Поскольку такой метод позволяет быстро получить изображение, то при этом требуется меньшее количество меченых атомов, что снижает получаемую пациентом дозу облучения. Как бы заботясь о реализации этого метода, Природа предусмотрительно создала излучающие позитроны изотопы кислорода, фтора, азота и углерода; время жизни этих изотопов достаточно велико, чтобы ввести их пациенту, и при этом время облучения оказывается приемлемым.

Наибольшую трудность представляло создание прибора для регистрации гамма-квантов. На его разработку ушло почти тридцать лет, прежде чем появились коммерческие образцы оборудования, — время было потрачено главным образом на усовершенствование гамма-детекторов для физических экспериментов. При наличии необходимой технологии *гамма-эмиссионная томография* (ГЭТ) стала широко использоваться в медицине; она



Рис. 13.2. Картина головного мозга человека, полученная на гамма-эмиссионном томографе (ГЭТ). После инъекции меченые атомы попадают в голову пациента, испускают позитроны, которые аннигилируют с электронами атомов мозга и выявляют его структуру. ГЭТ способна обнаружить очаги, ответственные за эпилепсию, а также диагностировать дегенеративные изменения, обусловленные болезнями Альцгеймера и Паркинсона (фото Adrian McKemey, Brunel University and MRC, UK).

также была приспособлена для дистанционного получения изображений в материаловедении, где, например, с ее помощью можно следить за циркуляцией масла в двигателе. Основная трудность связана с получением нестабильных изотопов, излучающих позитроны. Их следует производить где-то поблизости от гамма-эмиссионного томографа, однако последними укомплектовано около 150 центров по всему миру. Сфера их применения включает исследование опухолей, локализацию очагов возбуждения у больных эпилепсией и исследование других неврологических расстройств, а также исследование жизнестойкости тканей перед операциями на сердце. Гамма-эмиссионное сканирование дает важную информацию, что во многих случаях позволяет обойтись без «слепого» хирургического вмешательства. Биохимические результаты медикаментозной терапии могут быть получены с помощью ГЭТ раньше, чем проявятся органические изменения.

ГЭТ позволяет проследить путь биохимических препаратов в живом организме. До наступления эры ГЭТ такие исследования проводились на животных — им делалась инъекция, и через некоторое время их умерщвляли, замораживали и расчленили. Повторяя этот процесс через определенные промежутки времени, исследователи могли проследить за тем, как это вещество усваивалось — в конце концов получалась полная биологическая «модель», применимость которой была ограничена лишь ее субъективностью.

Мощные пучки частиц разрушают атомы мишени, попадая в нее. Однако эта разрушительная энергия может быть использована и для достижения благих целей. Пучки частиц разных видов находят все более широкое применение в качестве прецизионных «скальпелей» для уничтожения опухолей, расположенных глубоко в теле или в местах, трудно доступных для обычного хирургического вмешательства, например в голове или в глазу. Тщательно сформированные пучки способны миновать окружающие ткани и облучать только область, где локализована опухоль. При использовании пучков, содержащих определенные ядра, например ядра углерода, в тканях будет происходить ядерная реакция с образованием изотопов, испускающих позитроны. При таком облучении в ГЭТ формируется изображение, демонстрирующее разрушение опухоли.

Особое значение методика ГЭТ приобрела в изучении мозга. В неврологии ГЭТ может оказаться полезной для выявления отделов мозга, ответственных за эпилепсию, а также помочь диагностировать дегенеративные изменения при болезнях Альцгеймера и Паркинсона. Биохимическое воздействие различных соединений позволяет использовать ГЭТ для обнаружения едва заметных изменений в кровоснабжении различных отделов здорового мозга при возникновении в них очагов возбуждения под воздействием внешнего стимула. Таким методом были идентифицированы отделы, ответственные за речь, зрение, движение, восприятие цвета и даже боль. Античастицы помогли углубить наше понимание сознания.

Помимо этого были разработаны оригинальные методы использования позитронов низкой энергии для исследования структуры поверхностей и глубинного профилирования. Ряд лабораторий в Европе, США и Японии создали для этих задач позитронные пушки высокой интенсивности.

Красоте свойственна симметрия. Самым красивым объектом, будь то лица или здания, свойственна наибольшая симметрия и завершенность. Любая асимметрия выглядит изъяном на лице красоты. Тадж-Махал в Агре, Индия, — один из шедевров мировой архитектуры (рис. 14.1). Это величественное здание, возводившееся армией из 20 000 рабочих в течение более тридцати лет, было построено могольским султаном Шах-Джаханом как мавзолей для его возлюбленной супруги Мумтаз-Махал, умершей при родах своего четырнадцатого ребенка в 1631 г.

Великолепие Тадж-Махала уже издали захватывает дух. Никто не может остаться равнодушным к этой величественной красоте. Его башни и купола совершенны. Однако у этого величественного мавзолея есть еще одно измерение, которое столь же остроумно, сколь и впечатляюще. Когда приближаешься к усыпальнице, то кажешься себе меньше ростом из-за величия этого сооружения и теряешь способность замечать его симметрию. Но как бы в качестве компенсации за эту потерю очевидцы будут совершенно очарованы восхитительным богатством замысловатой мозаики, украшающей огромный мраморный фасад. И в целом, и в деталях эта мозаика выглядит настоящим шедевром. Она обладает симметрией и в целом, и в малом, причем обилие деталей только дополняет общий план. И общий план, и детали не могут существовать друг без друга. Они одинаково впечатляющи и одинаково важны.

Тадж-Махал обладает совершенной симметрией — каждая его деталь справа уравнивается деталью слева. Зеркальное изображение Тадж-Махала, в сущности, неотличимо от оригинала. Единственной подсказкой могут стать тексты из Корана, искусно начертанные на фасаде, — здесь не было другого выбора, поскольку текст, подчиняющийся строгому правилу письма справа

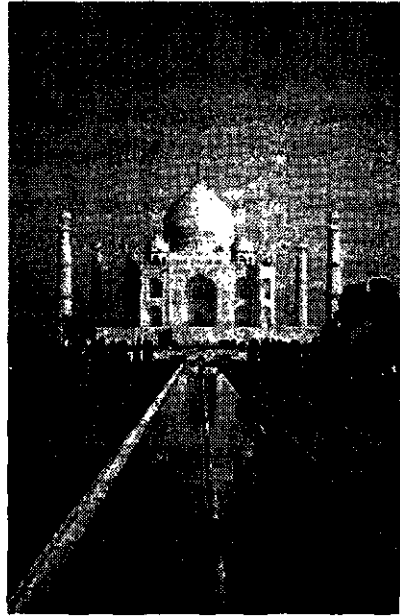


Рис. 14.1. Пример совершенной симметрии — Тадж-Махал (фото G. Fraser).

налево, не может быть симметричным. Перед мавзолеем расположен водоем, в котором здание отражается в вертикальном направлении, что создает дополнительную симметрию. Все, что находится вокруг мавзолея, столь же симметрично: сады создают идеально уравновешенный передний план. По обеим сторонам мавзолея расположены два здания меньших размеров — одно примыкает к мавзолею с востока, другое — с запада. Здание на западе — мечеть. Для правоверных достаточно одной мечети, и ее зеркальное отражение служит единственной цели — уравновесить архитектурную композицию.

Совершенная и очевидная симметрия одного из величайших сооружений в мире отражает симметрию нашей Вселенной, существующую на различных уровнях. Эта симметрия возникла вместе с самой Вселенной, когда 15 миллиардов лет назад крошечный сгусток плотной раскаленной материи превратился в огненный шар — произошел Большой Взрыв. Вся материя Вселенной возникла в этом катаклизме, но чтобы соблюсти баланс при взрыве, должны были возникнуть равные количества материи и антиматерии. Большой Взрыв должен был быть симметричным в отношении материя — антиматерия. Однако в видимой Вселенной почти не обнаруживается присутствия этой ре-

ликтовой антиматерии. Быть может, как в Великом Замысле Тадж-Махала, антиматерия существует, чтобы обеспечить совершенную симметрию, которую мы не в состоянии обнаружить.

ПРОПАВШАЯ АНТИМАТЕРИЯ

Мнение, что Вселенная возникла в результате Большого Взрыва, сформировалось в 1920-х—1930-х годах, однако поначалу его разделяли не все ученые. Многие верили в стационарную Вселенную, которая существовала вечно и будет существовать впредь и в которой новая материя создается постоянно, подобно воде, капающей из подтекающего крана. Выступая с нобелевской лекцией 12 декабря 1933 г., Поль Дирак, духовный отец антиматерии, допустил, что мы можем не догадываться о существовании во Вселенной антиматерии наряду с обычной материей, однако он, по-видимому, в то время еще не знал о том, как будет выглядеть картина Большого Взрыва (см. гл. 4).

Если бы Дирак оказался прав, то Вселенная должна была бы выглядеть как однородная смесь из материи и антиматерии. Где-то могло оказаться больше материи, чем антиматерии, а в других местах — наоборот, но в целом обе составляющие Вселенной должны были бы уравнивать друг друга. Где же антиматерия? Разумеется, ее залежей нет ни на Земле, ни даже в Солнечной системе, иначе мы наблюдали бы результаты ее яростных контактов с обычным веществом. В центре Солнечной системы находится Солнце, в котором постоянно происходит реакция превращения водорода в гелий и постоянно испускается поток частиц — *солнечный ветер*. Если бы солнечный ветер встречал на своем пути антиматерию, то при их аннигиляции возникали бы яркие вспышки.

Вселенная наполнена не только светящимися звездами и галактиками, но и темной космической пылью. Часть этого материала никогда не была в употреблении, и ему еще предстоит обрести свой звездный дом, а другая часть принадлежит старым звездам, которые взорвались и разлетелись леплом по космическим далям. Энергия звезд обусловлена термоядерным синтезом — легкие ядра сливаются в более тяжелые, при этом выделяется энергия, и звезда сияет. (Позитроны на короткое время возникают в недрах Солнца и, вероятно, в других звездах в результате термоядерной реакции слияния протонов — первого этапа в производстве солнечной энергии; см. гл. 5.) Когда завершается термоядерная реакция одного типа, начинается другая, и так до тех пор, пока в конце концов не будут исчерпаны все типы возможных реак-

ций. Когда ядерное топливо израсходовано, звезда не в силах противостоять собственному гравитационному полю и начинает сжиматься. Однако гравитационное сжатие в конце концов достигает предела, когда звездное вещество больше не может сжиматься. Сверхплотные останки звезды могут взорваться — возникает *сверхновая звезда*, и ее осколки разлетаются в космосе.

Космическая пыль — будь то реликтовая материя или звездный пепел — всегда неоднородна; ее сгустки постепенно стягиваются под действием гравитационного притяжения, и области с большей плотностью уплотняются еще более. В конце концов скапливается достаточно материи для того, чтобы зажглась новая звезда. В земных условиях эта звездная пыль обнаруживается в виде космических лучей; витая в магнитных полях открытого космоса, электрически заряженные частицы разгоняются до очень высоких энергий. Пролетая в течение световых лет в открытом космосе, частицы-инопланетяне врезаются в относительно плотные верхние слои земной атмосферы и образуют каскады новых частиц, ливнями обрушивающиеся на поверхность Земли. Регистрируя эти ливни с помощью детекторов, физики открыли новые виды частиц, которые прежде никогда не наблюдались на Земле, — примерами могут служить позитрон и каон.

Если во Вселенной есть антиматерия, то в космических лучах также должны присутствовать античастицы. Легкие частицы типа позитрона часто наблюдаются в космических лучах. Однако своим происхождением эти легкие античастицы обязаны, как правило, парам частица — античастица, возникающим при столкновении частиц космических лучей с атмосферой или космической пылью. Они необязательно принадлежат к реликтовой космической антиматерии. Детекторы, установленные на спутниках и наблюдающие за центральной частью нашей Галактики, регистрировали «фонтаны» из позитронов, которые, однако, можно объяснить бурными космическими явлениями, связанными с гигантскими всплесками излучения, которое приводит к образованию электрон-позитронных пар. Фонтанов других видов античастиц не обнаружено.

В состав звезд из антиматерии должны входить антиядра — состоящие из антипротонов и антинейтронов «зеркальные» отражения известных нам ядер. Если такие звезды погибают при взрыве сверхновых, то в пространство должны выбрасываться потоки антиядер. Однако в космических лучах, регистрируемых на поверхности Земли и даже в верхних слоях атмосферы, не было обнаружено следов присутствия античастиц тяжелее антипротона. Куда исчезла вся антиматерия Большого Взрыва?

Раз мы не обнаруживаем антиматерию, то, вероятно, материя и антиматерия существуют в раздельных областях пространства. Известная нам часть Вселенной — это мир материи. Быть может, где-то существует соответствующий мир антиматерии — «антимир». Возможно, что эти «зеркальные» Вселенные потеряли связь друг с другом и развиваются независимо. Но если это и так, они все равно должны были находиться в контакте друг с другом сразу после своего рождения в Большом Взрыве. При соприкосновении их границ, где бы и когда бы это ни происходило, частицы материи и антиматерии аннигилировали бы друг с другом, создавая мощные выбросы лучистой энергии, которую физики называют гамма-лучами. По мере последующего охлаждения Вселенной такое гамма-излучение тоже должно было остывать, и в конечном счете образовалось бы слабое и однородное космическое гамма-излучение, приходящее со всех направлений небесной сферы. Зная энергию, которая должна была выделиться при изначальном столкновении материи с антиматерией, физики могут оценить, на что будет похоже это излучение спустя 15 миллиардов лет.

В 1991 г. космический челнок «Атлантис» вывел на орбиту обсерваторию гамма-лучей ГРО (*GRO — Gamma Ray Observatory*). Физики получили возможность исследовать гамма-излучение по ту сторону земной атмосферы. На самом деле гамма-астрономия возникла еще в 1967 г., когда был запущен американский спутник-шпион «Vela» для наблюдения за вспышками гамма-излучения, выдававшими советские ядерные взрывы. «Vela» действительно зарегистрировал вспышки гамма-излучения, но они исходили не от Земли, а из открытого космоса. Со своей позиции ГРО отчетливо различала такие вспышки на слабом однородном фоне космического гамма-излучения. Вспышки были интереснее, чем слабое фоновое излучение, однако физики обратили внимание, что это фоновое излучение оказалось слабее, чем то, которое должно возникнуть при процессе аннигиляции реликтовой материи и антиматерии. Наблюдаемый сегодня гамма-фон не обнаруживает никаких признаков того, что аннигиляция материи и антиматерии когда бы то ни было происходила в больших масштабах.

РЕЛИКТОВОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ

Возможно ли, что миры материи и антиматерии никогда не соприкасались друг с другом? Если материя и антиматерия, возникшие в результате Большого Взрыва, разлетелись в разные стороны, то материальные и антиматериальные области Вселен-

ной оказались разделены в космосе огромными, ничем, кроме вакуума, не заполненными пространствами. Однако такая лоскутная Вселенная обладала бы определенными признаками.

За малую долю секунды после Большого Взрыва космический котел успел охладиться настолько, что кварки начали слипаться, образуя частицы типа протона и нейтрона, а из антикварков образовывались антипротоны и антинейтроны. Спустя приблизительно еще 100 секунд эти частицы достаточно остыли, чтобы формировать легкие ядра гелия и антигелия.

Через 300 000 лет произошло два события. (300 000 выглядит долгим сроком, однако по отношению к возрасту Вселенной в 15 миллиардов лет он находится в такой же пропорции, которую составляют несколько минут в сравнении с одним годом.) Космическое варево остыло настолько, что электроны могли захватываться протонами и другими легкими ядрами — возникли первые атомы. В областях, заполненных антиматерией, позитроны соединялись с антиядрами, образуя атомы химических антиэлементов. Поскольку излучение перестало поглощаться веществом Вселенной, она внезапно стала прозрачной, «и стал свет»^{*}. Ослепительное сияние мироздания возвестило о наступлении эры материи. Это сияние ослабевало по мере расширения Вселенной и в конце концов превратилось в слабое микроволновое фоновое излучение. В 1965 г. это излучение было зарегистрировано Арно Пензиасом и Робертом Вильсоном в *Bell Laboratories*, Нью-Джерси. Разрабатывая чувствительные антенны для приема сигналов спутников связи, Пензиас и Вильсон досадовали на назойливый радиосум, который, как они полагали, был просто помехой. Они безуспешно пытались избавиться от этого шума, но в конце концов пришли к выводу, что он является характерной особенностью космического пространства и исходит из глубин Вселенной. Это *реликтовое фоновое радиои излучение* является последним отголоском Большого Взрыва. Открытие Пензиаса и Вильсона^{**} показало, что теория Большого Взрыва шла по верному пути — альтернативные теории вроде теории стационарной Вселенной сошли с дистанции.

Реликтовое фоновое излучение чрезвычайно однородно и заполняет все пространство. Однако оно не может быть абсолютно однородным, поскольку создавшая его Вселенная тоже не абсолютно однородна. Ряд физиков, в том числе Стивен Хокинг, отме-

* Ветхий Завет, Гл. 1, Песнь 3. — *Прим. перев.*

** За это открытие ученые в 1978 г. были удостоены Нобелевской премии по физике. — *Прим. перев.*

чали, что свойства реликтового фонового излучения должны отражать структуру, которой Вселенная обладала пятнадцать миллиардов лет назад. Неоднородности распределения вещества (и антивещества) были теми «гравитационными» зародышами, которые потом развились в существующие ныне галактические структуры.

Для поиска этих неоднородностей в начале 1980-х годов возглавляемая Джоном Мейдером группа NASA предложила вывести на орбиту с помощью космического челнока спутник COBE (*Cosmic Background Explorer* — исследователь космического фона). Однако из-за катастрофы «Челленджера» эта программа была приостановлена, и COBE поспешно переделали, чтобы его можно было запустить обычной ракетой — это произошло в 1990 г. В 1992 г. COBE обнаружил «рябь» в реликтовом фоновом излучении. Едва уловимое мерцание температуры излучения всего в 30 миллионных долей градуса позволило получить первую карту прото-Вселенной. Этот едва заметный трафарет направлял кисть гравитации, когда та живописала Вселенную в процессе ее развития. Впоследствии полученные на COBE данные подтвердились и были дополнены с помощью других измерительных систем.

Космологам еще предстоит понять, каким образом столь малые флуктуации смогли эволюционировать в галактики, которые мы теперь наблюдаем. Но одно уже ясно наверняка. Если бы во Вселенной изначально существовали изолированные кластеры материи и антиматерии, то это наложило бы характерный отпечаток на свойства реликтового фонового излучения. Слабые флуктуации, зафиксированные COBE и рядом других детекторов, несовместимы с гипотезой о том, что материальные и антиматериальные области Вселенной стали эволюционировать независимо сразу после Большого Взрыва. Первозданной антиматерии была предоставлена возможность аннигилировать с материей. Аннигиляция была бы неизбежной, но существующее космическое излучение не обнаруживает ее признаков. Похоже, что в нашей Вселенной вообще нет антиматерии.

ГРАВИТАЦИЯ СПОСОБНА НЕ ТОЛЬКО ПРИТЯГИВАТЬ, НО И ОТТАЛКИВАТЬ

Почему антиматерия оказалась в немилости у Природы? В гл. 8 мы видели, что существующие на кварковом уровне едва уловимые асимметрии могли стереть антиматерию с лица мироздания. Другим виновником могла быть гравитация. Совместное действие этих механизмов могло привести к тому, что симмет-

рия между материей и антиматерией оказалась бессодержательной для нашей Вселенной, подобно тому, как «зеркальная» мечеть Тадж-Махала служит единственной цели — сохранить симметрию Великого Замысла.

Эволюция Вселенной в целом всегда была во власти вездесущих гравитационных сил, и именно гравитация в конечном счете будет решать ее судьбу. Наиболее изученное проявление гравитационных взаимодействий — это силы тяготения. В семнадцатом веке Исаак Ньютон пришел к выводу, что все массивные тела притягиваются друг к другу так, как если бы их массы были сосредоточены в их центрах тяжести. Под действием этих беспощадных сил притяжения яблоки падают с деревьев, а звезды оказываются в плену своих извечных орбит. Именно вывод Ньютона о том, что эти совершенно различные эффекты суть проявления одной и той же силы, стал настоящим прорывом в понимании гравитации. Другой гигантский шаг вперед был сделан в 1916 г., когда появилась общая теория относительности Альберта Эйнштейна. Эйнштейн заявил, что материя искажает вокруг себя пространство и время подобно массивному предмету, помещенному в центре резинового листа. Предметы меньшей массы, размещенные на том же листе, также образуют на нем вмятины, однако будут скатываться к более массивному предмету в центре благодаря созданному им большему прогибу поверхности. Эйнштейн утверждал, что точно таким же образом массы движутся по пути наименьшего сопротивления в пространстве-времени, искаженном присутствием других масс. Мистическая сила гравитационного притяжения оказалась всего-навсего геометрией пространства-времени. Если в пространстве нет материи, то пространство-время оказывается плоским, и гипотетическая пробная частица никуда не будет двигаться — гравитация отсутствует.

«Антигравитация» т. е. гравитационные силы, действующие между предметами из антиматерии, также должны быть силами притяжения, однако проверить это сможет только анти-Галилей, поставивший опыт с каким-либо анти-предметом на падающей анти-башне в анти-Пизе. В новых экспериментах с антипротонами будет предпринята попытка выяснить, как антиматерия ведет себя под действием обычной земной гравитации (см. гл. 11). Если антиматерия станет «падать вверх», то, на первый взгляд, это выглядело бы необычно. Однако это был бы не первый случай, когда гравитация приводит к силам, заставляющим тела энергично отталкиваться друг от друга. Гравитация способна выступать и в другом обличье, отличном от привычных сил тяготения, но не менее важном

для Вселенной в целом. Гравитация может проявляться как силы отталкивания, без которых Вселенная не могла бы существовать.

Пространство-время никогда не пустует. Даже до возникновения Вселенной пустота была заполнена квантовыми «мерцаниями» — в ней мимолетно возникали пары частица — античастица, однако у них не было достаточно энергии, чтобы материализоваться и продолжить свое существование. Все эти мерцания бесследно исчезли, не оставив и следа, однако был один исключительный случай — Большой Взрыв. Если подставить в уравнения общей теории относительности Эйнштейна некоторую вероятность зарождения «квантового пузырька», то из них вытекает, что он будет расти быстрее скорости света, испытывая двукратное увеличение в размерах всего за 10^{-34} секунды. Эта теория называется космологами «инфляционной» (см. гл. 8) и объясняет, каким образом виртуальный квантовый пузырек материи и антиматерии превратился в жизнеспособную «вселенную» размером с футбольный мяч. Обретя существование, материя и антиматерия должны были взаимодействовать друг с другом и в результате стали испытывать действие обычных гравитационных сил. Материя пыталась собраться вместе и воспрепятствовать этому первичному расширению. Это «перетягивание каната», на одном конце которого находится начальная фаза гравитационного расширения, а на другом — действующие силы притяжения, продолжается и по сей день.

Если во Вселенной достаточно много вещества, то силы гравитационного притяжения в конце концов остановят процесс расширения Вселенной. В этом случае гравитационное притяжение в итоге одержит верх над исходным отталкиванием, Вселенная начнет сжиматься и в конце концов коллапсирует. Если же во Вселенной недостаточно вещества, то она навсегда останется расширяющейся под влиянием первичного толчка, полученного в Большом Взрыве. Поскольку инвентаризация вещества во Вселенной еще не начиналась, космологам остается только гадать, какой из двух описанных сценариев является истинным.

Если произойдет коллапс, Вселенная будет уничтожена. Однако менее масштабные коллапсы, обусловленные силами гравитационного притяжения, происходят постоянно. Критическая скорость, которую ракета должна набрать, чтобы вырваться из тисков гравитации, зависит от массы звезды или планеты, с которых она собирается улечь. Скорость, необходимая для того, чтобы улечь с Земли, составляет примерно 11 километров в секунду, тогда как для того, чтобы улечь с Луны, достаточно иметь скорость примерно 2,4 километра в секунду. Для гораздо

более массивных звезд эта скорость в конце концов может оказаться равной скорости света — даже самому свету не удастся покинуть звезду. Подобная массивная звезда навечно обречена гравитацией оставаться *черной дырой* — брешью в космическом пространстве, проглатывающей все, что оказывается поблизости от нее. Черные дыры никак не обнаруживают, чем они когда-то являлись, — черная дыра, возникшая в результате коллапса антиматерии выглядит точно так же, как и любая другая. Быть может, антиматерия во Вселенной оказалась запертой в черных дырах.

РАСШИРЯЮЩАЯСЯ ВСЕЛЕННАЯ

Вечная борьба между силами гравитационного притяжения и отталкивания проявляется в характере расширения Вселенной. Лишь сто лет назад астрономы полагали, что в нашей Галактике — Млечном пути — собраны все звезды Вселенной. Они говорили, что Вселенная может иметь и большие размеры, однако окружающее пространство пусто и не представляет никакого интереса. Во время «коперниковской» революции двадцатого столетия американский астроном Эдвин Хаббл выяснил, что кроме нашей Галактики есть и другие, причем создается впечатление, что они разбегаются друг от друга. Чем дальше от нас находятся галактики, тем больше времени их свет затрачивает на то, чтобы до нас дойти, и тем моложе изображение этих галактик. Удаленные галактики движутся от нас с большей скоростью, чем близкие (т. е. те, что выглядят более древними), — это знаменитое *красное смещение*, открытое Хабблом. Тусклый свет этих удаленных на миллиарды световых лет галактик был испущен, когда Вселенная была еще молода и инфляционные последствия Большого Взрыва не успели уравновеситься силами тяготения.

Измерение скорости разбегания галактик дает космологам возможность оценить возраст Вселенной. Чем дальше находится галактика, тем быстрее она удаляется. Чем более быстрым выглядит это расширение, тем больше времени прошло со времен Большого Взрыва. Производить такие измерения трудно, поскольку для них требуются независимые измерения расстояний. Поэтому время от времени появлялись сообщения о том, что Вселенная моложе своих самых древних звезд — дилемма «старого вина в новых бутылках». Эти проблемы были решены в последние годы благодаря замечательным, резким изображениям, сделанным телескопом «Хаббл» с его выгодной позиции на околоземной орбите.

Свои коррективы в понимание процесса эволюции Вселен-

ной внесли наземные телескопы, наблюдающие за взрывами сверхновых. Сверхновые всегда рождаются одинаково, поэтому их взрывы обладают одинаковой мощностью. Вспышки сверхновых должны быть одинаково яркими, так что сравнение их видимой интенсивности при наблюдениях с Земли позволяет получить надежную оценку их относительного удаления. Анализ данных о сверхновых, собранных в течение последних лет с помощью этих телескопов, позволил астрономам установить, что расширение Вселенной (которое должно неумолимо замедляться из-за взаимного гравитационного притяжения материальных объектов) — это только начало. Расширение Вселенной обнаруживает слабую тенденцию к ускорению, а не к замедлению — гравитационное отталкивание по-прежнему выполняет свою работу в одной упряжке с более привычными силами гравитационного притяжения. По мере расширения Вселенной ее вещество разлетается все дальше, силы гравитационного притяжения ослабевают, и материя вновь оказывается под воздействием сил гравитационного отталкивания. Повседневное представление о гравитации как о силе, удерживающей планеты на их орбитах и заставляющей предметы падать на землю, — это лишь локальная картина, справедливая на расстояниях, значительно меньших тех, которые свет прошел со времен Большого Взрыва.

Для объяснения этих явлений отважные теоретики нарисовали новую картину. В ней к обычным силам гравитационного притяжения, действующим между всеми телами (из материи или из антиматерии), добавляется еще одна гравитационная компонента, в которой масса обладает знаком по аналогии с электрическим зарядом. Подобно тому как разноименные электрические заряды притягиваются, а одноименные отталкиваются, новая компонента гравитации приводит к возникновению сил отталкивания при взаимодействии материи с материей и антиматерии с антиматерией и к силам притяжения при взаимодействии материи с антиматерией. Наравне с предложенными Сахаровым слабыми асимметриями между материей и антиматерией эти необычные гравитационные эффекты также должны были участвовать в формировании Вселенной и удалении из нее антивещества.

В ПОИСКАХ КОСМИЧЕСКОЙ АНТИМАТЕРИИ

Стартуя с космодрома Кеннеди космического центра НАСА 2 июня 1998 г., космический челнок «Дискавери» имел на борту двухтонный магнитный альфа-спектрометр AMS (от англ. *Alpha*

Magnetic Spectrometer). Это был первый крупный эксперимент в области физики элементарных частиц на околоземной орбите. В этом десятидневном пилотном эксперименте был накоплен опыт, оказавшийся весьма ценным для последующей эксплуатации AMS на борту Международной космической станции в рамках одного из крупнейших научных проектов двадцать первого века. Цель AMS состояла в поиске ядер космической антиматерии. Находясь на выгодной орбитальной позиции, высокотехнологичный детектор AMS будет тщательно следить за составом космических лучей вне пределов земной атмосферы. Если ему удастся обнаружить космическую антиматерию, это поможет разрешить загадку сотворения мира, половина которого оказалась куда-то спрятанной. Если поиски увенчаются успехом, то возникнет противоречие со свидетельствами об отсутствии антиматерии, собранными к настоящему времени из глубин видимой части Вселенной. Потребуется пересмотр наших представлений о происхождении Вселенной и основных принципов космологии, и это станет «коперниковской» революцией двадцать первого века.

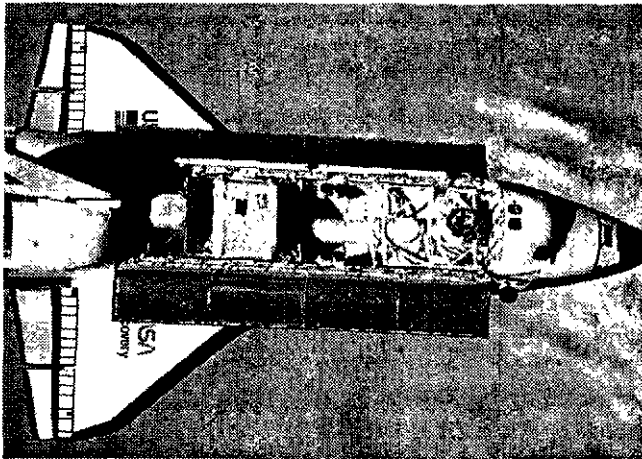


Рис. 14.2. Июнь 1998 г. Космический челнок «Дискавери» с открытыми створками люка грузового отсека. Вид с космической станции «Мир» непосредственно перед их стыковкой. Помимо большого прямоугольного контейнера с оборудованием для «Мира» «Дискавери» нес на борту модуль меньших размеров (в кормовой части) с магнитным альфа-спектрометром (AMS). Это был пилотный эксперимент перед размещением AMS на борту Международной космической станции, где его задача будет состоять в поисках космической ядерной антиматерии (фото НАСА).

Оглавление

Предисловие редактора русского издания.....	5
Предисловие	8
1. НАУЧНАЯ ФАНТАСТИКА СТАНОВИТСЯ РЕАЛЬНОСТЬЮ	9
2. МИРЫ ЗА «ЗЕРКАЛОМ»	22
3. ОТСУТСТВИЕ СИММЕТРИИ В МИРЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЗАРЯДОВ	36
4. МАЭСТРО КВАНТОВОЙ ТЕОРИИ	54
5. НЕОПРОВЕРЖИМОЕ ДОКАЗАТЕЛЬСТВО	74
6. ВРЕМЯ ТЕЧЕТ ВСПЯТЬ	86
7. КВАРКИ И АНТИКВАРКИ	104
8. КРИВЫЕ ЗЕРКАЛА	118
9. КОСМИЧЕСКИЙ «ШТОПОР»	136
10. КУРС НА СТОЛКНОВЕНИЕ АНТИЧАСТИЦ	150
11. ЛОВУШКА ДЛЯ АНТИМАТЕРИИ	166
12. «КЛЕЙ» И АНТИХИМИЯ	179
13. АНТИМАТЕРИЯ ЗА РАБОТОЙ	189
14. АНТИМАТЕРИЯ И ГРАВИТАЦИЯ	202

ЛУЧШИЕ КНИГИ МИРА — В ИЗДАТЕЛЬСТВЕ «МИР»



Имеются в продаже:



Лавенда Б. СТАТИСТИЧЕСКАЯ ФИЗИКА. Вероятностный подход: Пер. с англ. — 432 с., ил.

Статистические методы находят в настоящее время самое широкое применение в физике и технологии благодаря общности и универсальности подхода. В последние два десятилетия был достигнут значительный прогресс в понимании и предсказании свойств маломерных систем, изучений высокотемпературной сверхпроводимости, теории фазовых переходов, физики плазмы, теории ранней Вселенной и других, порой весьма далеких друг от друга проблем.

В книге излагаются теоретические основы современных методов статистической физики, при этом большое внимание уделяется принципиальным вопросам обоснования статистической физики на основе вероятностного подхода. Рассматриваются также темы: принцип Больцмана, излучение черного тела, термодинамическая вероятность, квантовая статистика, сопряженные распределения, статистическая эквивалентность, кинетическое обоснование принципа Гаусса.

Основное содержание книги:

- Энтропия и вероятность
- Излучение черного тела
- От одного до бесконечности
- Обработка информации
- Источники канонического распределения
- Принцип статистической эквивалентности
- Фазовые переходы излучения и вещества
- Кинетическое обоснование закона ошибок Гаусса

Для студентов и преподавателей вузов по специальностям химическая физика, статистическая физика и физическая химия, а также для научных работников.

Адрес: 107996, ГСП-6, Москва, 1-й Рижский пер., 2
Контактные телефоны: (095)286-83-88, 286-82-33, 286-25-50
Факс: (095)286-84-55 ✧ E-mail: victor@mir.msk.su ✧

<http://www.mir-pubs.dol.ru>

Г. Фрейзер

АНТИМАТЕРИЯ

ЗАЗЕРКАЛЬНЫЕ МИРЫ

Группа физиков, работающих в Европейском центре ядерных исследований, относительно недавно сообщила удивительную новость. Им впервые удалось получить в лаборатории атомы антиматерии. В окружающем нас мире антиматерия не может существовать из-за процессов аннигиляции с обычным веществом.

Существование антиматерии было предсказано в 1928 г. Полем Дираком, что легло в основу представления об антимире, в чем-то подобном миру за зеркалом, Зазеркалью, в котором оказалась известная героиня Льюиса Кэрролла-Алиса.

При зарождении Вселенной в результате Большого Взрыва антиматерия должна была играть столь же важную роль, что и обычная материя. Однако в доступной нам части Вселенной по видимому, присутствует только материя. В книге предпринята попытка объяснить это явление.

* * * * *

Автор книги Гордон Фрейзер работает в Европейском центре ядерных исследований в Женеве. Он является главным редактором ежемесячного журнала CERN Courier, который освещает разнообразные аспекты физики элементарных частиц и смежных областей. Кроме того, в качестве приглашенного лектора он читает лекции в ряде университетов.

ISBN 5-03-003389-0



9 785030 033891