

Георгий ГАМОВ

Мистер Томпкинс



исследует атом



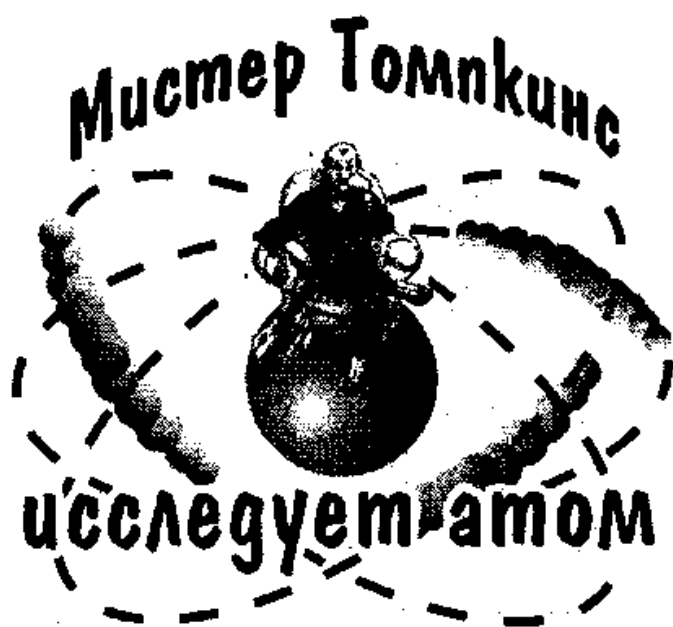
УРСС



ГАМОВ ГЕОРГИЙ АНТОНОВИЧ

(1904 – 1968)

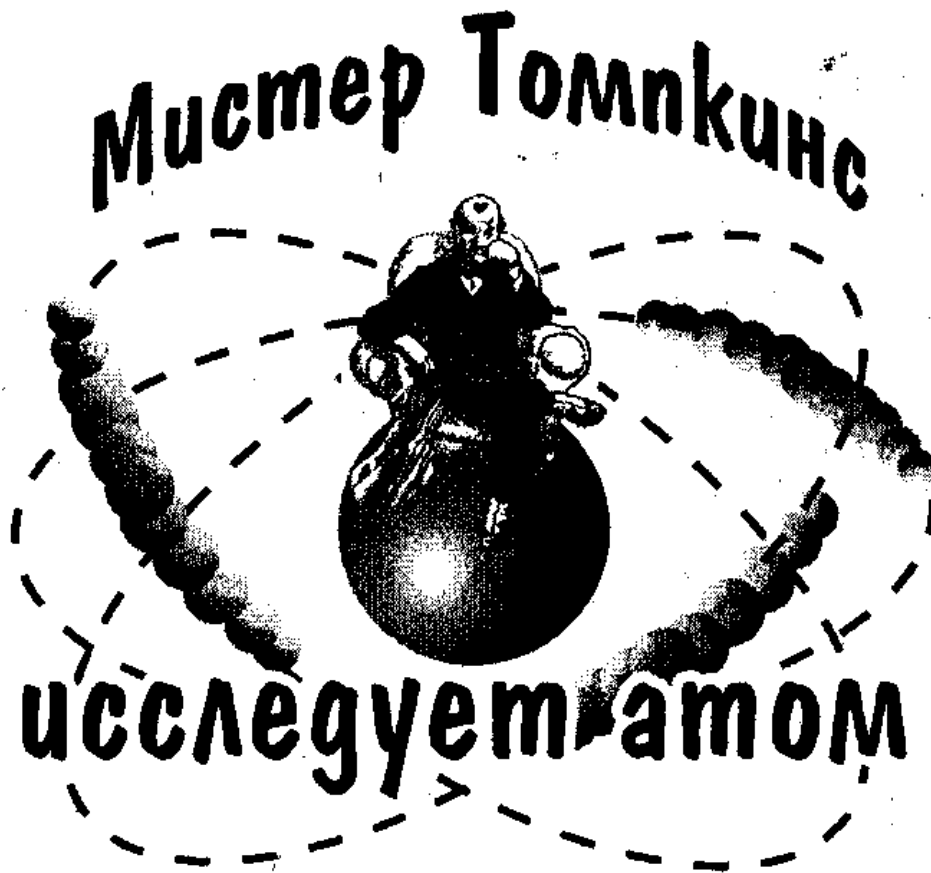
Георгий ГАМОВ



George Gamow

**Mr. Tompkins
Explores the Atom**

Георгий ГАМОВ



Издание второе, исправленное

Перевод с английского
Ю. А. Данилова



УРСС

Москва • 2003

Гамов Георгий

**Мистер Томпкинс исследует атом: Пер. с англ. Изд. 2-е, испр. — М.:
Едиториал УРСС, 2003. — 160 с.**

ISBN 5-354-00357-1

Эту книгу написал выдающийся физик и популяризатор науки Георгий Антонович Гамов (1904–1968). В фантастических, но вполне реальных с научной точки зрения снах герою книги — интересующемуся современной наукой скромному банковскому служащему мистеру Томпкинсу — помогает старый профессор физики, просто и доходчиво объясняющий необычные явления, наблюдаемые героем в мире квантовой механики, атомной и ядерной физики, теории элементарных частиц и т. д.

Книга предназначена для школьников, студентов и всех, кто интересуется современными научными представлениями.

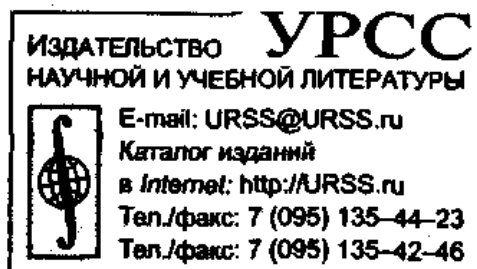
Иллюстрации автора и Джона Хукхэма

Издательство «Едиториал УРСС». 117312, г. Москва, пр-т 60-летия Октября, 9.

Лицензия ИД № 05175 от 25.06.2001 г. Подписано к печати 30.04.2003 г.

Формат 60×90/16. Тираж 2000 экз. Печ. л. 10. Зак. № 3-963/190.

Отпечатано в типографии ООО «Рохос». 117312, г. Москва, пр-т 60-летия Октября, 9.



ISBN 5-354-00357-1

© Перевод с английского:
Ю. А. Данилов, 1999, 2003
© Едиториал УРСС, 2003

Оглавление

| | |
|--|------------|
| Предисловие к третьему русскому изданию | 6 |
| Введение | 9 |
| Глава 1. Квантовый бильярд | 11 |
| Глава 2. Квантовые джунгли | 35 |
| Глава 3. Демон Максвелла | 47 |
| Глава 4. Веселое племя электронов | 69 |
| Глава 4$\frac{1}{2}$. Часть предыдущей лекции, которую проспал мистер Томпкинс | 89 |
| Глава 5. Внутри ядра | 99 |
| Глава 6. Резчик по дереву | 113 |
| Глава 7. Дыры в пустоте | 133 |
| Глава 8. Мистер Томпкинс знакомится с японской кухней | 147 |

Предисловие к третьему русскому изданию

Мировая научно-популярная литература знает немало шедевров, принадлежащих перу выдающихся деятелей науки. Вспомним хотя бы «Историю свечи» М. Фарадея, «Жизнь растения» К. А. Тимирязева, фантастику Д. Габера, «Воспоминания о камне» А. Е. Ферсмана, «Апологию математика» Г. Харди, «В дебрях Центральной Азии» В. А. Обручева (список без особого труда можно было бы продолжить).

Трилогия Г. А. Гамова о мистере Томкинсе остается заметным явлением даже в окружении самых замечательных произведений научно-популярного жанра. Для изложения лишенных наглядности понятий современной физики, возникших и развитых в XX в. и зачастую противоречащих интуиции, основанной на повседневном опыте, Г. А. Гамов нашел оригинальный прием: его «сквозной» герой банковский клерк мистер Томкинс с огромным интересом и энтузиазмом пытается разобраться в достижениях современной науки, но от усталости после напряженного рабочего дня или под влиянием каких-то расслабляющих обстоятельств засыпает, продолжая во сне постигать трудные для понимания научные истины в яркой образной форме.

Предисловие к третьему русскому изданию

В 1994 г. перевод первых двух частей трилогии Георгия Гамова о приключениях мистера Томпкинса был удостоен Литературной премии имени Александра Беляева.

Ю.А.Данилов,
лауреат Беляевской премии

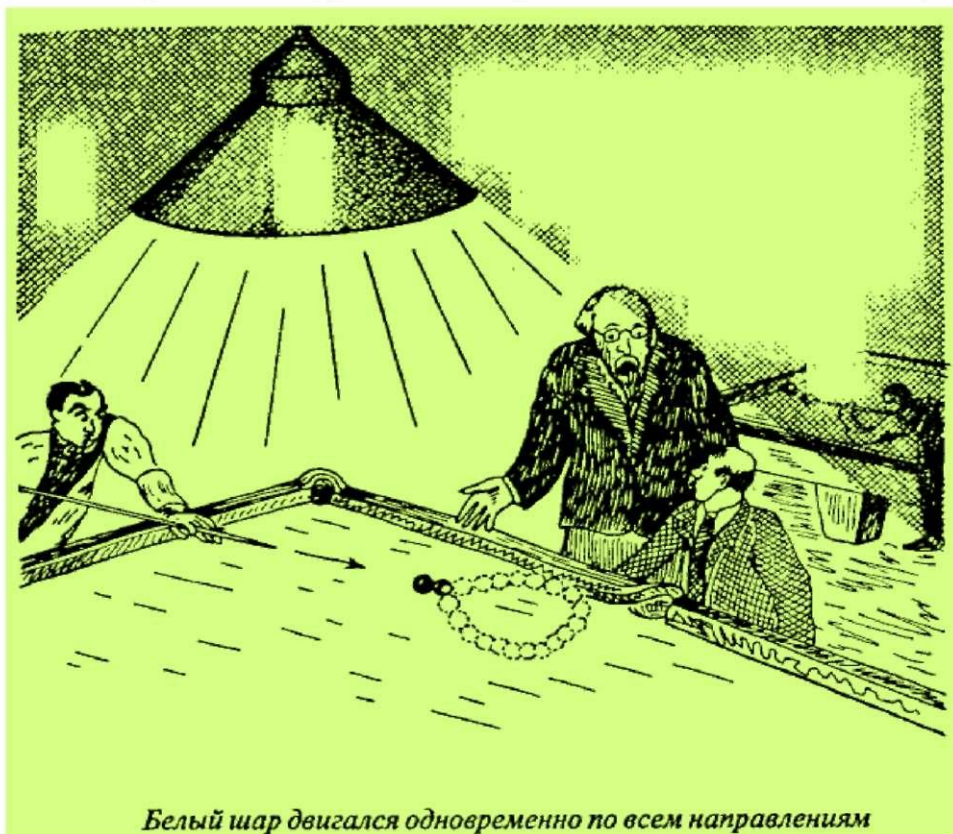
***Моему другу и издателю
Рональду Мэнсбриджу***

Глава 1

Квантовый бильярд

Однажды мистер Томпкинс возвращался к себе домой страшно усталый после долгого рабочего дня в банке, где он служил. Проход мимо паба, мистер Томпкинс решил, что было бы недурственно пропустить кружечку эля. За первой кружкой последовала другая, и вскоре мистер Томпкинс почувствовал, что голова у него изрядно кружится. В задней комнате паба была бильярдная, где игроки в рубашках с засученными рукавами толпились вокруг центрального стола. Мистер Томпкинс стал смутно припоминать, что ему уже случалось бывать здесь и прежде, как вдруг кто-то из его приятелей-клерков потащил мистера Томпкинса к столу учиться играть в бильярд. Приблизившись к столу, мистер Томпкинс принялся наблюдать за игрой. Что-то в ней показалось ему очень странным! Играющий ставил шар на стол и ударял по шару кием. Следя за катящимся шаром, мистер Томпкинс к своему большому удивлению заметил, что шар начал «расплываться». Это была единственное выражение, которое пришло ему на ум при виде странного поведения бильярдного шара; который, катясь по зеленому полю, казался все более и более размытым, на глазах утрачивая четкость своих контуров. Казалось, что по зеленому сукну катится не один шар, а множество шаров, к тому же частично проникающих друг в друга. Мистеру Томпкинсу часто случалось наблюдать подобные явления и прежде, но сегодня он не принял ни капли виски и не мог понять, почему так происходит.

— Посмотрим, — подумал мистер Томпкинс, — как эта размазня из шара



столкнется с другой такой же размазней.

Должно быть, игрок, нанеший удар по шару, был знатоком своего дела: катящийся шар столкнулся с другим шаром в лобовом ударе, как это и требовалось.

Послышался громкий стук, и оба шара —

покоившийся и налетевший (мистер Томпкинс не мог бы с уверенностью сказать, где какой шар) — разлетелись «в разные стороны». Выглядело это, что и говорить, весьма странно: на столе не было более двух шаров, выглядевших несколько размазанно, а вместо них бесчисленное множество шаров (все — с *весьма* смутными очертаниями и сильно размазанные) поразлеталось по направлениям, составлявшим от 0° до 180° с направлением первоначального соударения. Бильярдный шар скорее напоминал причудливую волну, распространяющуюся из точки соударения шаров.

Присмотревшись повнимательнее, мистер Томпкинс заметил, что максимальный поток шаров направлен в сторону первоначального удара.

— Рассеяние S-волны, — произнес у него за спиной знакомый голос, и мистер Томпкинс, не оборачиваясь, узнал профессора.

— Неужели и на этот раз что-нибудь здесь искривилось, — спросил мистер Томпкинс, — хотя поверхность бильярдного стола мне кажется гладкой и ровной?

— Вы совершенно правы, — подтвердил профессор, — пространство в данном случае совершенно плоское, а то, что вы наблюдаете, в действительности представляет собой квантовое явление.

— Ах, эти матрицы! — рискнул саркастически заметить мистер Томпкинс.

— Точнее, неопределенность движения, — заметил профессор. — Владелец этой бильярдной собрал здесь коллекцию из нескольких предметов, страдающих, если можно так выразиться, «квантовым элфантизмом». В действительности квантовым законам подчиняются все тела в природе, но так называемая квантовая постоянная, управляющая всеми этими явлениями, чрезвычайно мала: ее числовое значение имеет двадцать семь нулей после запятой. Что же касается бильярдных шаров, которые вы здесь видите, то их квантовая постоянная гораздо больше (около единицы), и поэтому вы можете невооруженным глазом видеть явления, которые науке удалось открыть только с помощью весьма чувствительных и изощренных методов наблюдения.

Тут профессор умолк и ненадолго задумался.

— Не хочу ничего критиковать, — продолжал он, — но мне очень хотелось бы знать, откуда у владельца бильярдной эти шары. Строго говоря, они вообще не могут существовать, поскольку для всех тел в мире квантовая постоянная имеет одно и то же значение.

— Может быть, их импортировали из какого-нибудь другого мира, — высказал предположение мистер Томпкинс, но профессор не удовлетворился такой гипотезой и не избавился от охвативших его подозрений.

— Вы заметили, что шары «расплываются», — начал он. — Это означает, что их положение на бильярдном столе не вполне определено. Вы не можете точно

указать, где именно находится шар. В лучшем случае вы можете утверждать лишь, что шар находится «в основном здесь» и «частично где-то там».

— Все это в высшей степени необычно, — пробормотал мистер Томпкинс.

— Наоборот, — возразил профессор, — это абсолютно обычно в том смысле, что всегда происходит с любым материальным телом. Лишь из-за чрезвычайно малого значения квантовой постоянной и неточности обычных методов наблюдения люди не замечают этой неопределенности и делают ошибочный вывод о том, что положение и скорость тела всегда представляют собой вполне определенные величины. В действительности же и положение, и скорость всегда в какой-то степени неопределенны, и чем точнее известна одна из величин, тем более размазана другая. Квантовая постоянная как раз и управляет соотношением между этими двумя неопределенностями. Вот взгляните, я накладываю определенные ограничения на положение этого бильярдного шара, заключая его внутрь деревянного треугольника.

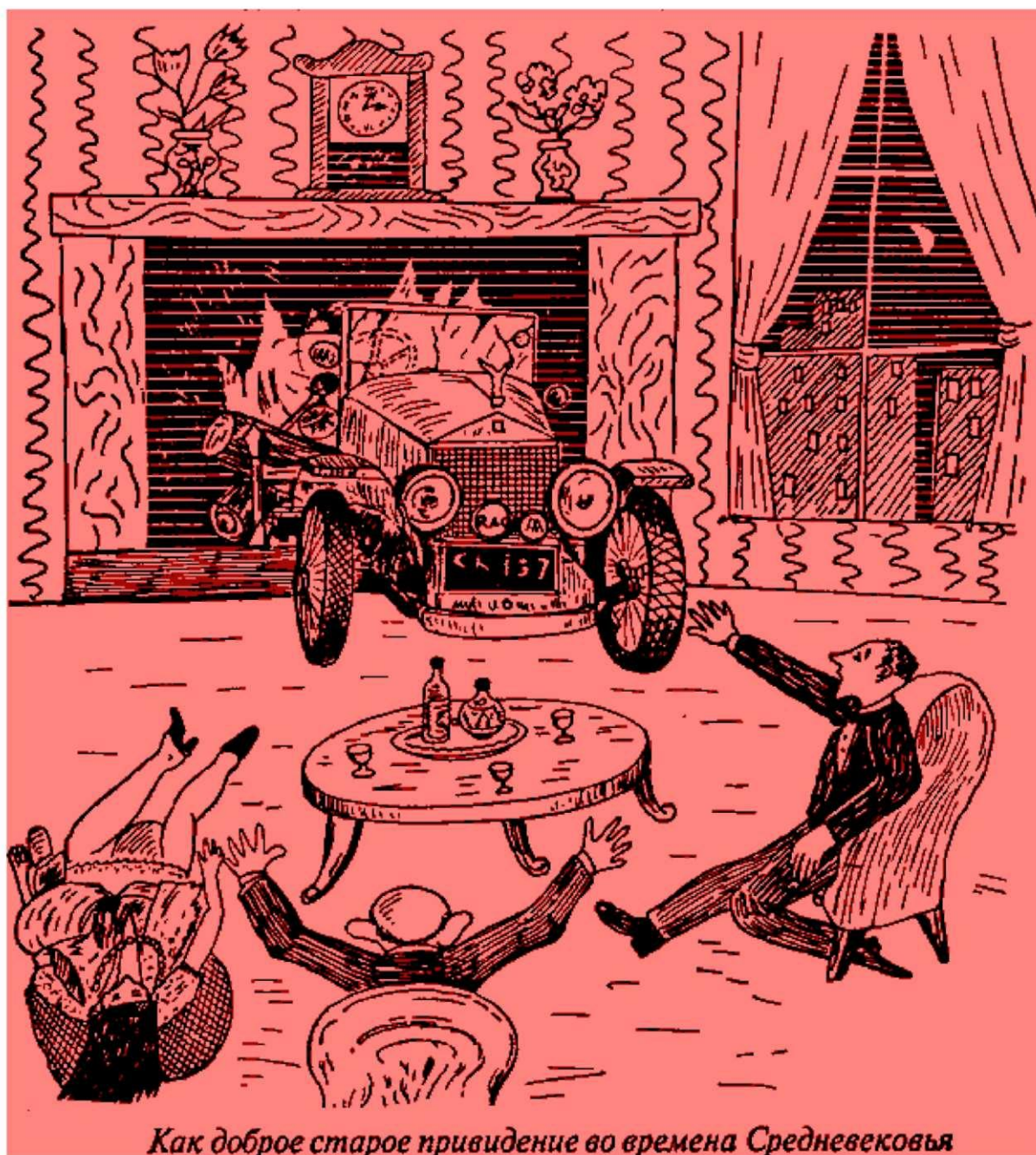
Как только шар оказался за деревянным заборчиком, вся внутренность треугольника наполнилась блеском слоновой кости.

— Видите! — обрадовался профессор. — Я ограничил положение шара размерами пространства, заключенного внутри треугольника, т. е. какими-то несколькими дюймами. И в результате — значительная неопределенность в скорости, шар так бежит внутри периметра треугольника!

— А разве вы не могли бы остановить шар? — удивленно спросил мистер Томпкинс.

— Ни в коем случае! Это физически невозможно, — последовал ответ. — Любое тело, помещенное в замкнутое пространство, обладает некоторым движением. Мы, физики, называем такое движение нулевым. Таково, например, движение электронов в любом атоме.

Пока мистер Томпкинс наблюдал за бильярдным шаром, мечущимся в треугольной загородке, как тигр в клетке, произошло нечто весьма необычное: шар «просочился» сквозь стенку деревянного треугольника и в следующий момент покатился в дальний угол бильярдного стола. Самое странное было в том, что шар не перепрыгнул сквозь деревянную стенку, а прошел сквозь нее, не поднимаясь над уровнем бильярдного стола.



Как доброе старое привидение во времена Средневековья

— Вот вам ваше «нулевое движение», — с упреком сказал мистер Томпкинс.

— Не успели оглянуться, а шар «сбежал». Это как, по правилам?

— Разумеется, в полном соответствии с правилами, — согласился профессор. — В действительности вы видите перед собой одно из наиболее интересных следствий квантовой теории. Если энергии достаточно для того, чтобы тело могло пройти сквозь стенку, то удержать его за стенкой невозможно: рано или поздно объект «просочится» сквозь стенку и будет таков.

— В таком случае я ни за что на свете не пойду в зоопарк, — решил про себя мистер Томпкинс, и его живое воображение тотчас же нарисовало ужасающую картину львов и тигров, «просачивающихся» сквозь стенки своих клеток. Затем

мысли мистера Томпкинса приняли несколько иное направление: ему привиделся автомобиль, «просочившийся» из гаража сквозь стены, как доброе старое привидение во времена Средневековья.

— А сколько мне понадобится ждать, — поинтересовался мистер Томпкинс у профессора, — пока автомашина, сделанная не из того, из чего делают автомашины здесь, а из обычной стали, «просочится» сквозь стену гаража, построенного, скажем, из кирпичей? Хотел бы я своими глазами увидеть такое «просачивание»!

Наскоро произведя в уме необходимые вычисления, профессор привел ответ:

— Ждать вам придется каких-нибудь **1 000 000 000...000 000 лет.**

Даже привыкший к внушительным числам в банковских счетах мистер Томпкинс потерял счет нулям в числе, приведенном профессором. Впрочем, он несколько успокоился: число было достаточно длинным для того, чтобы можно было не беспокоиться о том, как бы автомашина не сбежала, «просочившись» сквозь стенку в гараже.

— Предположим, что все, о чем вы мне рассказали, не вызывает у меня ни малейших сомнений. Однако мне все же остается непонятно, как можно было бы наблюдать такие вещи (разумеется, я не говорю об этих бильярдных шарах).

— Разумное выражение, — заметил профессор. — Конечно, я не утверждаю, будто квантовые явления можно было бы наблюдать на таких больших телах, с какими вам обычно приходится иметь дело. Действие квантовых законов становится гораздо более заметным применительно к очень малым массам — таким, как атомы или электроны. Для таких частиц квантовые эффекты настолько сильны, что обычная механика становится совершенно неприменимой. Столкновение двух атомов выглядит точно так же, как столкновение двух бильярдных шаров, которое вы здесь наблюдали, а движение электронов в атоме очень напоминает «нулевое движение» бильярдного шара, который я поместил внутрь деревянного треугольника.

— А часто ли атомы выбегают из своего гаража? — спросил мистер Томпкинс.

— О да, весьма часто. Вам, конечно, приходилось слышать о радиоактивных веществах, атомы которых претерпевают спонтанный распад, испуская при этом очень быстрые частицы. Такой атом или, точнее, его центральная часть, называемая атомным ядром, очень напоминает гараж, в котором стоят автомашины, т. е. другие частицы. И частицы убегают из ядра, просачиваясь через стенки, — порой внутри ядра они не остаются ни секунды! В атомных ядрах квантовые явления — дело совершенно обычное!

Мистер Томпкинс порядком устал от столь длинной беседы и рассеянно оглянулся по сторонам. Его внимание привлекли большие дедовские часы,

стоявшие в углу комнаты. Их длинный старомодный маятник совершал медленные колебания то в одну, то в другую сторону.

— Я вижу, вы заинтересовались часами, — сказал профессор. — Перед вами не совсем обычный механизм, хотя ныне он несколько устарел. Эти часы могут служить прекрасной иллюстрацией того, как люди сначала мыслили себе квантовые явления. Маятник часов устроен так, что амплитуда его колебаний может возрасти только конечными шагами. Теперь все часовщики предпочитают пользоваться патентованными расплывающимися маятниками.

— О, как бы я хотел разобраться в столь сложных вопросах! — воскликнул мистер Томпкинс.

— Нет ничего проще, — отвечал профессор. — Я зашел в паб по пути на свою лекцию о квантовой теории, потому что увидел в окно вас. А теперь мне пора отправляться дальше, чтобы не опоздать на лекцию. Не хотите ли пойти со мной?

— С превеликим удовольствием! — согласился мистер Томпкинс.

Большая аудитория как обычно была до отказа заполнена студентами, и мистер Томпкинс считал, что ему очень повезло, когда он кое-как примостился на ступенях прохода.

— Леди и джентльмены, — начал профессор. — В двух моих предыдущих лекциях я попытался показать вам, каким образом открытие существования верхнего предела всех физических скоростей и анализ понятия прямой привел нас к полному пересмотру классических представлений о пространстве и времени.

Однако критический анализ основ физики не остановился на этой стадии и привел к еще более поразительным открытиям и выводам. Я имею в виду раздел физики, получивший название квантовой теории. Этот раздел занимается изучением не столько самих пространства и времени, сколько взаимодействия и движения материальных объектов в пространстве и времени. В классической физике всегда считалось самоочевидным, что взаимодействие между любыми двумя материальными телами может быть сделано настолько малым, насколько это требуется по условиям эксперимента, и даже, если это необходимо, практически сведено к нулю. Например, если при исследовании тепла, выделяющегося в некоторых процессах, возникает опасение, что вводимый термометр может забрать на себя некоторое количество теплоты и тем самым внести возмущение в нормальное течение процесса, то экспериментатор пребывает в уверенности, что, используя термометр меньших размеров или миниатюрную термопару, он всегда сможет понизить вносимое возмущение до уровня, который укладывается в пределы допустимой точности измерений.

Убеждение в том, что любой физический процесс может быть в принципе наблюдаем с любой требуемой точностью без каких-либо возмущений, вносимых наблюдением, было весьма сильным, и никому даже в голову не приходило сформулировать столь очевидное допущение в явном виде. Все проблемы,

связанные с вносимыми при наблюдении возмущениями, считались чисто техническими трудностями. Однако новые экспериментальные факты, накопленные с начала XX столетия, постоянно вынуждали физиков приходить к выводу, что в действительности все обстоит гораздо сложнее и *в природе существует определенный нижний предел взаимодействия*, который никогда не может быть превзойден. Этот естественный предел точности пренебрежимо мал для всевозможных процессов, с которыми мы сталкиваемся в повседневной жизни, но становится существенным при рассмотрении взаимодействий, происходящих в таких микроскопически-механических системах, как атомы и молекулы.

В 1900 г. немецкий физик **Макс Планк**, занимаясь теоретическими исследованиями условий равновесия между излучением и веществом, пришел к удивительному выводу: *такое равновесие невозможно*, если взаимодействие между излучением и веществом происходит не непрерывно, как всегда предполагалось, а в виде последовательности отдельных «соударений». При каждом таком элементарном акте взаимодействия от вещества излучению и от излучения веществу передается определенное количество — «порция» — энергии. Для достижения требуемого равновесия и согласия с экспериментальными фактами Планку понадобилось ввести простое математическое соотношение — предположить, что между количеством энергии, передаваемом при каждом элементарном акте взаимодействия, и частотой (величиной, обратной периоду) процесса, приводящего к передаче энергии, существует прямая пропорциональность.

Иначе говоря, если коэффициент пропорциональности обозначить через **h**, то, согласно принятой Планком гипотезе, минимальная порция, или квант, передаваемой энергии определяется выражением

$$E = h\nu, (1)$$

где ν — частота. Постоянная **h** имеет числовое значение $6,547 \times 10^{27}$ эрг.с и обычно называется **постоянной Планка**, или **квантовой постоянной**. Малое числовое значение постоянной Планка объясняет, почему квантовые явления обычно не наблюдаются в повседневной жизни.

Дальнейшее развитие идей Планка связано с именем **Эйнштейна**, который через несколько лет пришел к выводу, что *излучение не только испускается определенными дискретными порциями*, но и всегда существует в виде таких дискретных «порций энергии», которую Эйнштейн назвал квантами света.

Поскольку кванты света движутся, они помимо энергии $h\nu$ должны обладать и определенным механическим импульсом, который, согласно релятивистской

механике, должен быть равен их энергии, деленной на скорость света **С**. Вспоминая, что частота света связана с его длиной волны лямбда соотношением

v = c/(лямбда), механический импульс кванта света можно записать в виде

$$p = \frac{h\nu}{c} = \frac{h}{\lambda}. \quad (2)$$

Поскольку механическое действие, производимое соударением движущегося объекта, определяется его импульсом, мы заключаем, что действие квантов света возрастает при убывании длины волны.

Одно из лучших экспериментальных подтверждений правильности представления о квантах света, а также о приписываемых им энергии и импульсе было получено в работе американского физика **Артура Комптона**. Исследуя столкновение квантов света и электронов, Комптон показал, что электроны, приведенные в движение под действием луча света, ведут себя точно так же, как если бы столкнулись с частицей, обладающей энергией и импульсом, задаваемыми формулами (1) и (2). Как показали эксперименты Комптона, сами кванты претерпевают после столкновения с электронами некоторые изменения (изменяется их частота) в полном согласии с предсказанием теории.

В настоящее время мы вправе утверждать, что в части, касающейся взаимодействия с веществом, квантовые свойства излучения надлежит считать твердо установленным экспериментальным фактом.

Дальнейшее развитие квантовых идей связано с именем знаменитого датского физика **Нильса Бора**, который в **1913** г. впервые высказал идею о том, что *внутреннее движение любой механической системы может обладать только дискретным набором допустимых значений энергии и движение может изменять свое состояние только конечными шагами*, причем при каждом из таких переходов излучается лишь определенное количество энергии. Математические правила, определяющие возможные состояния механических систем, более сложные, чем в случае излучения, и мы не будем приводить их здесь. Упомянем лишь о том, что, как и в случае квантов света, импульс определяется длиной волны света, поэтому в механической системе импульс любой движущейся частицы связан с геометрическими размерами той области пространства, в которой она заключена, и составляет величину порядка

$$P_{\text{частицы}} \approx \frac{h}{l}, \quad (3)$$

где l — линейные размеры области, в которой происходит движение. Из-за чрезвычайно малого значения квантовой постоянной квантовые явления становятся существенными только для движений, происходящих в очень малых областях пространства, например внутри атомов и молекул, и играют важную роль в наших знаниях о внутреннем строении вещества.

Одно из наиболее прямых доказательств существования последовательности дискретных состояний этих крохотных механических систем было получено в экспериментах **Джеймса Франка и Густава Герца**. Бомбардируя атомы электронами различной энергии, эти физики заметили, что определенные изменения в состоянии атома происходят, только когда энергия налетающих электронов достигала определенных дискретных значений. Если энергия электронов была ниже определенного предела, то соударения вообще никак не сказывались на состоянии атома, так как энергия, переносимая каждым электроном, была недостаточна для того, чтобы поднять атом с первого квантового состояния во второе.

Резюмируя, можно сказать, что к концу описанной мной первой, предварительной стадии развития квантовой теории была достигнута не модификация фундаментальных понятий и принципов классической физики, а более или менее искусственное ограничение весьма загадочными квантовыми условиями, выбирающими из непрерывного множества классически возможных движений дискретное подмножество «разрешенных», или «допустимых», движений. Однако если мы глубже вникнем в связь между законами классической механики и квантовыми условиями, налагаемыми нашим обобщенным опытом, то обнаружим, что теория, получаемая при объединении классической механики с квантовыми условиями, страдает логической непоследовательностью и что эмпирические квантовые ограничения делают бессмысленными те фундаментальные понятия, на которых основана классическая механика. Действительно, основное представление классической механики относительно движения заключается в том, что любая движущаяся частица занимает в любой данный момент времени определенное положение в пространстве и обладает определенной скоростью, характеризующей временные изменения в положении частицы на траектории.

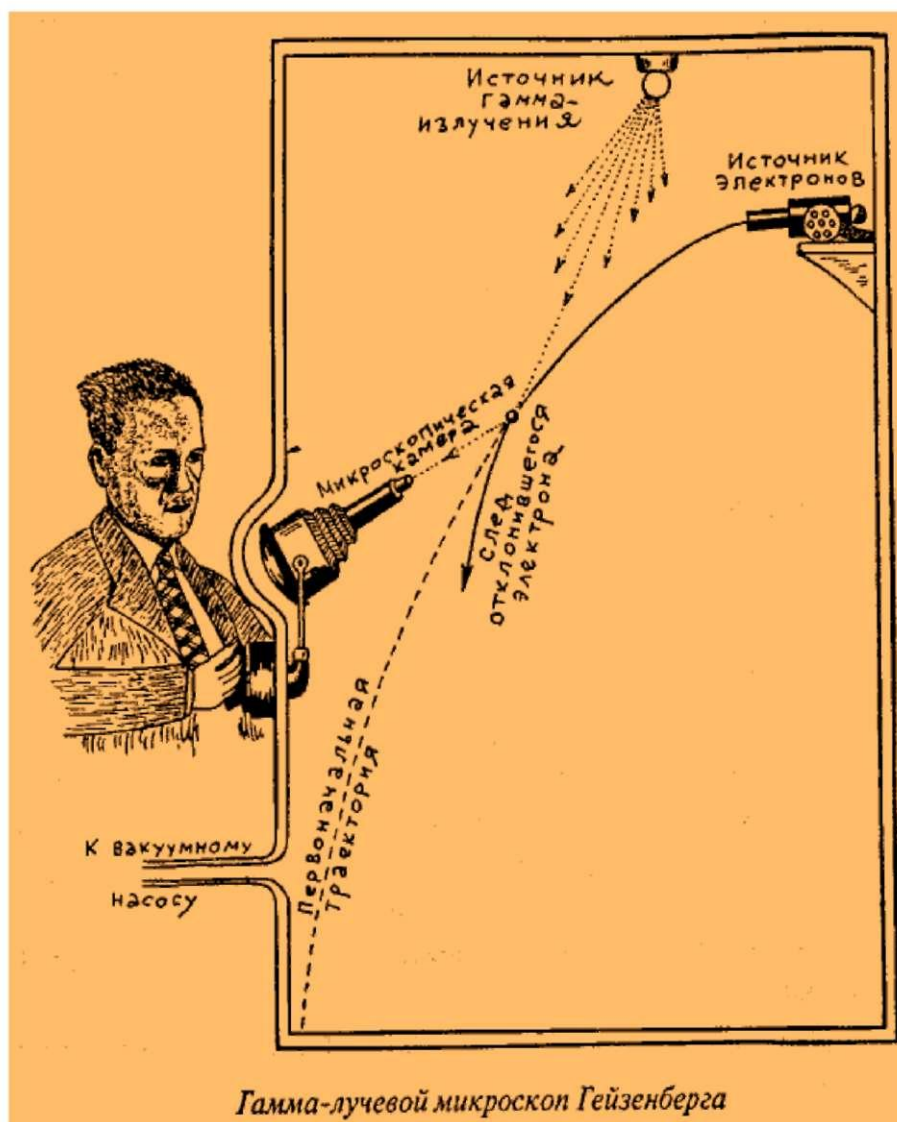
Такие фундаментальные понятия, как положение, скорость и траектория, на которые опирается все величественное здание классической механики, построены (как и все другие наши понятия) на наблюдении явлений в окружающем мире и, подобно классическим понятиям пространства и времени, должны быть существенно модифицированы, когда наш опыт вторгается в новые, не исследованные ранее, области.

Если я спрошу кого-нибудь, почему он (или она) верит, что любая движущаяся частица занимает в любой данный момент определенное положение, описывает во время движения определенную линию, то в ответ мой собеседник скорее всего скажет: «Потому, что я вижу все это именно так, когда наблюдаю за движением».

Проанализируем такой метод образования классического понятия траектории и попытаемся выяснить, действительно ли он приводит к определенному результату. Для этого представим себе мысленно физика, оснащенного всевозможной чувствительнейшей аппаратурой и пытающегося проследить движение маленького материального тела, брошенного со стены лаборатории. Наш физик решает производить наблюдения, глядя, как движется тело, и использует для этого небольшой, но очень точный теодолит. Разумеется, чтобы увидеть движущееся тело, физику необходимо освещать его. Зная, что свет оказывает давление на освещаемое тело и поэтому возмущает движение тела, физик решает освещать тело короткими вспышками только в те моменты, когда он производит наблюдения. В первом эксперименте физик намеревается наблюдать только десять положений тела на траектории и выбирает источник, дающий вспышки света, настолько слабый, что интегральный эффект светового давления в течение десяти последовательных сеансов наблюдения лежит в пределах требуемой точности эксперимента. Таким образом, освещая падающее тело десятью вспышками, наш физик получает в пределах требуемой точности

десять точек на траектории.

Затем он хочет повторить эксперимент и получить сто точек. Физик знает, что сто последовательных вспышек слишком сильно возмутят движение и, готовясь ко второй серии наблюдений, выбирает фонарь, дающий в десять раз менее интенсивное освещение. Для третьей серии наблюдений, готовясь получить тысячу точек на траектории, физик выбирает фонарь, дающий в сто раз менее



интенсивное освещение, чем источник света, который был использован в первой серии наблюдений.

Продолжая в том же духе и постоянно уменьшая интенсивность освещения, даваемого источником, физик может получить на траектории столько точек, сколько сочтет нужным, не увеличивая экспериментальную ошибку выше установленного с самого начала предела. Описанная мной сильно идеализированная, но принципиально вполне осуществимая процедура представляет собой строго логический способ, позволяющий построить движение по траектории, «глядя на движущееся тело», и, как вы видите, в рамках классической физики такое построение вполне возможно.

Попытаемся теперь выяснить, что произойдет, если мы введем квантовые ограничения и учтем, что действие любого излучения может передаваться только в форме квантов света. Мы видели, что наблюдатель постоянно уменьшал количество света, падающего на движущееся тело, и теперь нам следует ожидать, что, дойдя до одного кванта, наш физик не сможет продолжать в том же духе и дальше. От движущегося тела будет отражаться либо весь квант света целиком, либо ничего, и в последнем случае наблюдение становится невозможным. Мы знаем, что в результате столкновения с квантом света длина волны света уменьшается и наш наблюдатель, также зная об этом, заведомо попытается использовать для своих наблюдений свет со все увеличивающейся длиной волны, чтобы компенсировать число наблюдений. Но тут его подстерегает другая трудность.

Хорошо известно, что при использовании света определенной длины волны невозможно различить детали, размеры которых меньше длины волны: нельзя нарисовать персидскую миниатюру малярной кистью! Но используя все более длинные волны, наш физик испортит оценку положения каждой точки и вскоре достигнет той стадии, когда каждая оценка будет содержать погрешность, или неопределенность, величина которой сравнима с размерами всей его лаборатории и превышает их. Тем самым наш наблюдатель будет вынужден в конце концов пойти на компромисс между большим числом наблюдаемых точек и неопределенностью в оценке положения каждой точки и не сможет получить точную траекторию — в виде линии в математическом смысле в отличие от своих классических коллег. В лучшем случае квантовый наблюдатель получит весьма широкую размазанную полосу, и если он попытается построить понятие траектории, опираясь на свой опыт, то оно будет сильно отличаться от классического понятия траектории.



Колокольчики на пружинках

Предложенный выше метод построения траектории был оптическим, а теперь мы можем испробовать другую возможность и воспользоваться механическим методом. Для этого наш экспериментатор может построить какой-нибудь миниатюрный механический прибор, например, колокольчики на пружинах, который будет регистрировать прохождение материальных тел, если тело проходит достаточно близко. Большое число таких «колокольчиков» он развешивает в той области пространства, где ожидается прохождение движущегося тела, и «звон колокольчиков» будет указывать траекторию, описываемую телом. В классической физике «колокольчики» можно сделать сколь угодно малыми и чувствительными. В предельном случае бесконечно большого числа бесконечно маленьких колокольчиков понятие траектории и в этом случае может быть построено с любой требуемой точностью. Однако, как и в предыдущем случае, квантовые ограничения на механические системы портят все дело. Если «колокольчики» слишком малы, то величина импульса, которую

они смогут забрать у движущегося тела, согласно формуле (3), будет слишком большой и движение окажется сильно возмущенным даже после того, как тело заденет один-единственный колокольчик. Если же колокольчики велики, то неопределенность в положении каждого будет очень большой. В этом случае построенная в результате наблюдения окончательная траектория, как и в предыдущем случае, окажется широкой полосой!

Боюсь, что все эти рассуждения об экспериментаторе, желающем наблюдать траекторию, покажутся вам слишком специальными и вы будете склонны думать, что если используемые средства не позволяют нашему наблюдателю оценить траекторию, то желаемый результат удастся получить с помощью какого-нибудь другого более сложного устройства. Однако я должен вам напомнить, что мы рассматривали не конкретный эксперимент, выполненный в какой-то физической лаборатории, а некую идеализацию самого главного вопроса физического измерения. Поскольку любое существующее в нашем мире действие можно отнести либо к числу действий поля излучения, либо к чисто механическим, любая сколь угодно сложная схема измерения непременно сводится к элементам, описываемых теми двумя методами, о которых я уже упоминал раньше — оптическом и механическом, и в конечном итоге приводит к тому же результату. А поскольку идеальный «измерительный прибор» может вместить весь физический мир, мы в конце концов приходим к выводу, что в мире, где действуют квантовые законы, нет ни точного положения, ни траектории, имеющей строго определенную форму линии.

Но вернемся теперь снова к нашему экспериментатору и попытаемся облечь в математическую форму ограничения, вытекающие из квантовых условий. Мы уже видели, что в обоих методах — оптическом и механическом — всегда существует конфликт между оценкой положения и возмущением скорости движущегося объекта. В оптическом методе столкновение с квантом света (в силу закона сохранения импульса, действующего в классической механике) порождает неопределенность в импульсе частицы, сравнимую с импульсом самого кванта света. Таким образом, используя формулу (2), запишем для неопределенности импульса частицы

$$\Delta p_{\text{частицы}} \approx \frac{h}{\lambda}. \quad (4)$$

Памятуя о том, что неопределенность положения частицы определяется длиной волны ($\Delta q = \lambda$), получаем

$$\Delta p_{\text{частицы}} \times \Delta q_{\text{частицы}} \approx h. \quad (5)$$

В механическом методе импульс становится неопределенным на величину, передаваемую «колокольчиком». Используя нашу формулу (3) и помня о том, что в этом случае неопределенность положения определяется размерами колокольчика ($\Delta q = l$), мы приходим к той же окончательной формуле, что и в предыдущем случае. Соотношение (5), впервые выведенное немецким физиком **Вернером Гейзенбергом**, описывает фундаментальную неопределенность, следующую из квантовой теории: *чем точнее определено положение, тем неопределеннее скорость, и наоборот.*

Так как импульс есть произведение массы движущейся частицы и ее скорости, мы можем записать, что

$$\Delta v_{\text{частицы}} \times \Delta q_{\text{частицы}} \approx \frac{h}{m_{\text{частицы}}} \quad (6)$$

Для тел, с которыми нам обычно приходится иметь дело, неопределенность (6) до смешного мала. Так, в случае легкой пылинки с массой **0,0000001 г** и положение, и скорость могут быть измерены с точностью **0,00000001 %!** Однако в случае электрона (с массой **10^{-27} г**) произведение $\Delta u * \Delta q$ достигает величины порядка **100**. Внутри атома скорость электрона необходимо определять по крайней мере в пределах **$\pm 10^8$ см/с**, в противном случае электрон окажется вне атома. Это дает для положения электрона неопределенность **10^8 см**, т. е. неопределенность, совпадающую с полными размерами атома. Таким образом, «орбита» электрона в атоме расплывается до такой степени, что «толщина» траектории становится равной ее «радиусу» — *электрон оказывается одновременно всюду вокруг ядра.*

На протяжении последних двадцати минут я пытался нарисовать вам картину разрушительных последствий нашей критики классических представлений о движении. Изящные и четко определенные классические понятия оказываются вдребезги разбитыми и уступают место тому, что я назвал бы бесформенной размазней. Естественно, вы можете спросить меня, как физики собираются описывать какие-нибудь явления, если квантовый мир буквально захлестывает волны океана неопределенности. Ответ состоит в том, что до сих пор нам удалось лишь разрушить классические понятия, но мы еще не пришли к точной формулировке новых понятий.

Займемся этим теперь. Ясно, что мы не можем, вообще говоря, определить положение материальной частицы с помощью материальной точки, а траекторию ее движения — с помощью математической линии, поскольку в квантовом мире все объекты расплываются. Нам необходимо обратиться к другим методам описания, дающим, так сказать, «плотность размазни» в различных точках пространства. Математически это означает, что мы используем непрерывные функции (такие как, например, в гидромеханике), а физически требует, чтобы при описании квантового мира мы употребляли такие обороты речи, как «этот объект в основном находится здесь, частично там и даже вон там» или «эта монета на

75% находится в моем кармане и на 25% — в вашем». Я понимаю, что такие утверждения кажутся вам дикими, но в нашей повседневной жизни из-за малости квантовой постоянной в них нет надобности. Но если вы вознамеритесь изучать атомную физику, то я настоятельно рекомендую вам предварительно привыкнуть к такого рода выражениям.

Считаю своим долгом предостеречь вас от ошибочного представления о том, будто функция, описывающая «плотность пребывания» объекта в различных точках пространства, обладает физической реальностью в нашем обычном трехмерном пространстве. Действительно, если мы описываем поведение, например, двух частиц, то нам необходимо ответить на вопрос, находится ли одна частица в одном месте и, одновременно, вторая частица в другом месте. Для этого нам необходима функция шести переменных (координат двух частиц), которую невозможно «локализовать» в трехмерном пространстве. Для описания более сложных систем нам понадобились бы функции еще большего числа переменных. В этом смысле «квантово-механическая функция» аналогична «потенциальной функции», или «потенциалу», системы частиц в классической механике или «энтропии» системы в статистической механике: она только описывает движение и позволяет нам предсказывать результат любого конкретного движения при данных условиях. Физическая реальность остается за частицами, движение которых мы описываем.

Функция, которая описывает, какая «доля» частицы или системы частиц присутствует в различных местах пространства, требует специального математического обозначения. Следуя Эрвину Шредингеру, который первым написал уравнение, определяющее поведение такой функции, ее стали обозначать

$$\psi \bar{\psi}$$

Я не стану сейчас вдаваться в детали математического вывода фундаментального **уравнения Шредингера**. Хочу лишь обратить ваше внимание на требования, которые привели к его выводу. Самое важное из этих требований весьма необычно: *уравнение должно быть записано в таком виде*, чтобы функция, описывающая движение материальных частиц, обладала всеми свойствами волны. На необходимость наделить движение материальных частиц волновыми свойствами впервые указал **французский физик Луи де Бройль** на основе своих теоретических исследований строения атома. В последующие годы волновые свойства движения материальных частиц были надежно подтверждены многочисленными экспериментами, продемонстрировавшими такие явления, как **дифракция** пучка электронов при прохождении через малое отверстие и **интерференционные явления**, происходящие даже с такими сравнительно большими и сложными частицами, как молекулы.

Экспериментально установленные волновые свойства материальных частиц были совершенно непонятны с точки зрения классических представлений о движении, и де Бройль был вынужден принять весьма необычную (чтобы не сказать неестественную) точку зрения: по де Бройлю, все частицы «сопровождаются» определенными волнами, которые, так сказать, «направляют» их движения.

Но как только мы отказываемся от классических понятий и переходим к описанию движения с помощью непрерывных функций, требование о волновом характере становится гораздо более понятным. Оно просто утверждает, что распространение нашей

$$\psi \bar{\psi}$$

—функции аналогично (например) нераспространению тепла сквозь стенку, нагреваемую с одной стороны, а распространению сквозь ту же самую стенку механической деформации (звука). Математически это означает, что мы ищем уравнение определенного (а не ограниченного) вида. Это фундаментальное условие вместе с дополнительным требованием, чтобы наши уравнения, если их применять к частицам большой массы, переходили в уравнения классической механики, поскольку квантовые эффекты для таких частиц становятся пренебрежимо слабыми, практически сводят проблему вывода уравнения к чисто математическому упражнению.

Если вас интересует, как выглядит окончательный ответ — фундаментальное уравнение Шредингера, то я могу выписать его. Вот оно:

$$\nabla^2 \psi + \frac{4\pi m i}{h} \dot{\psi} - \frac{8\pi^2 m}{h} U \psi = 0. \quad (7)$$

Здесь U означает потенциал сил, действующих на нашу частицу (с массой m), и порождает определенное решение задачи о движении частицы при любом заданном распределении силы. **«Волновое уравнение Шредингера»** (так принято называть выведенное Шредингером фундаментальное уравнение) позволило физикам в последующие сорок лет его существования построить наиболее полную и логически непротиворечивую картину явлений, происходящих в мире атомов.

Некоторые из вас, должно быть, удивляются, почему я до сих пор ни разу не употребил слово «матрица», которое часто приходится слышать в связи с квантовой теорией. Должен признаться, что лично я питаю сильную неприязнь к матрицам и предпочитаю обходиться без них. Но чтобы не оставлять вас в

абсолютном неведении относительно этого математического аппарата квантовой теории, я скажу о матрицах несколько слов. Как вы уже знаете, движение частицы или сложной механической системы всегда можно описать с помощью некоторых непрерывных волновых функций. Эти функции часто бывают очень сложными и представимы в виде набора из некоторого числа более простых колебаний (так называемых «собственных функций») подобно тому, как сложный звук можно составить из некоторого числа простых гармонических тонов. Сложное движение можно описывать, задавая амплитуды его различных компонент. Поскольку число компонент (обертонов) бесконечно, мы выписываем бесконечную таблицу амплитуд вида

$$\begin{array}{cccc}
 q_{11} & q_{12} & q_{13} & \dots \\
 q_{21} & q_{22} & q_{23} & \dots \\
 q_{31} & q_{32} & q_{33} & \dots \\
 \dots & \dots & \dots & \dots
 \end{array} \quad (8)$$

Над такими таблицами можно производить математические операции по сравнительно простым правилам. Каждая такая таблица и называется «матрицей», и некоторые физики вместо того, чтобы иметь дело непосредственно с волновыми функциями, предпочитают оперировать с матрицами. Такая «матричная механика», как ее иногда называют, представляет собой не более чем математическую модификацию обычной «волновой механики». В наших лекциях, посвященных главным образом принципиальным вопросам, было бы излишне входить в эти проблемы более подробно.

Очень жаль, что недостаток времени не позволяет мне рассказать вам о дальнейшем прогрессе квантовой теории в связи с теорией относительности. Эта глава в развитии квантовой теории, связанная главным образом с работами британского физика **Поля Адриена Мориса Дирака**, приводит ко многим интереснейшим проблемам и стала основой некоторых чрезвычайно важных экспериментальных открытий. Возможно, когда-нибудь в другой раз я еще вернусь к этим проблемам, а пока я должен остановиться. Надеюсь, что прочитанная мной серия лекций позволила вам составить более ясное представление о современной концепции физического мира и пробудила в вас интерес к дальнейшим научным занятиям.

Глава 2

Квантовые джунгли

На следующее утро мистер Томпкинс еще нежился в постели, как вдруг почувствовал, что в комнате есть еще кто-то. Оглядевшись вокруг, он обнаружил своего старого друга профессора. Тот сидел в кресле, уткнувшись в расстеленную на коленях карту и внимательно изучал ее.

— Так вы со мной? — спросил профессор, поднимая голову.

— А куда это вы собрались? — поинтересовался мистер Томпкинс, размышляя над тем, каким образом профессор оказался у него в комнате.

— Разумеется, для того чтобы полюбоваться на слонов и других обитателей джунглей. Владелец бильярдной, где мы с вами недавно побывали, сообщил мне по секрету, откуда он берет слоновую кость для своих бильярдных шаров. Видите район, который я обвел на карте красным карандашом? Имеются основания полагать, что внутри него все подчинено квантовым законам с очень большой квантовой постоянной. Местные жители считают, что в тех краях поселились дьяволы, и я боюсь, что нам будет очень трудно найти себе проводника. Но если вы хотите отправиться со мной в путь, вам надо поторапливаться. Судно отходит через час, а нам еще нужно по дороге в порт заехать за сэром Ричардом.

— А кто это сэр Ричард? — спросил мистер Томпкинс.

— Как, вы никогда не слыхали о нем? — профессор был явно изумлен. — Сэр Ричард известный охотник на тигров. Он решил отправиться вместе с нами, когда я обещал ему интересную охоту.

На причал участники экспедиции прибыли как раз вовремя для того, чтобы наблюдать за погрузкой на борт судна груза из нескольких длинных ящиков с ружьями сэра Ричарда и специальными пулями, изготовленными из свинца, который профессор получил от управляющего свинцовыми рудниками, расположенными неподалеку от квантовых джунглей. Мистер Томпкинс еще раскладывал вещи в каюте, когда мерная вибрация корпуса судна возвестила ему, что пароход отошел от причала. В морском путешествии всегда есть нечто неотразимо привлекательное, и мистер Томпкинс не заметил, как их судно пришвартовалось в очаровательном восточном городе — ближайшем к таинственным квантовым джунглям населенном пункте.

— Для путешествия по суше нам нужно приобрести слона, — объявил профессор. — Не думаю, что кто-нибудь из местных жителей рискнет отправиться с нами, поэтому управлять слоном придется нам самим. Полагаю, что вы, мистер Томпкинс, прекрасно справитесь с этой задачей. Я буду слишком поглощен научными наблюдениями, а сэр Ричард должен будет управляться со всем охотничьим снаряжением.

На душе у мистера Томпкинса было очень беспокойно, когда придя на слоновый рынок, расположенный на окраине города, он увидел огромных животных, одним из которых ему предстояло управлять. Сэр Ричард, великолепно разбирающийся в слонах, выбрал красивого крупного слона и спросил у владельца, сколько тот хочет за животное.

— Храп ханвек о хобот хам. Хагори хо, о Хохохохи, — ответил туземец, обнажив в улыбке ослепительно белые зубы.

— Он просит за него уйму денег, — перевел сэр Ричард, — но говорит, что его слон из квантовых джунглей и поэтому стоит дороже. Так как, купим этого слона?

— Непременно, — сказал профессор. — На пароходе мне довелось слышать, что слоны иногда заходят из квантовых территорий и туземцы их ловят. Такие слоны гораздо лучше своих сородичей из других областей, и сейчас нам просто повезло, что мы можем купить животное, которое чувствует себя в квантовых джунглях, как дома.

Мистер Томпкинс осмотрел слона со всех сторон. Что и говорить, это было очень красивое, огромное животное, однако, мистер Томпкинс не заметил в повадках слона каких-либо отличий по сравнению с теми слонами, которых ему доводилось видеть в зоопарке.

— Вы говорите, что это квантовый слон, а для меня он вполне обычный слон и ведет себя не так занятно, как бильярдные шары, сделанные из бивней некоторых из его сородичей. Например, почему он не расплывается по всем направлениям? — обратился мистер Томпкинс к профессору.

— Вы медленно схватываете суть дела, — заметил профессор. — Слон не расплывается из-за своей очень большой массы. Некоторое время назад я уже объяснял вам, что неопределенность в положении и скорости зависит от массы. Чем больше масса, тем меньше неопределенность. Именно поэтому квантовые законы не наблюдаются в обычном мире даже для таких легких тел, как пылинки, но становятся вполне заметными для электронов, которые в миллиарды миллиардов раз легче пылинок. Но в квантовых джунглях квантовая постоянная гораздо больше, но все же недостаточно велика, чтобы породить поразительные эффекты в поведении столь тяжелого животного, как слон. Неопределенность в положении квантового слона можно заметить, только если пристально взглянуть в его очертания. Возможно, вы заметили, что поверхность слоновой кожи не вполне определена и кажется несколько неотчетливо видимой. Со временем эта неопределенность увеличивается очень медленно. Мне кажется, что именно с этим обстоятельством связана местная легенда, будто у старых слонов из квантовых джунглей длинная шерсть. Я полагаю, что на не столь крупных животных, обитающих в квантовых джунглях, замечательные квантовые эффекты будут более заметными.

— Хорошо, что в эту экспедицию мы отправляемся не верхом на лошадях, — подумал мистер Томпкинс. — Ведь если бы мы вздумали отправиться в квантовые джунгли на лошадях, я никогда не мог бы сказать с уверенностью, где моя лошадь — у меня под седлом или в следующей долине.

После того, как профессор и сэр Ричард со своими ружьями взгромоздились в корзину, укрепленную на спине слона, а мистер Томпкинс в новой для себя должности погонщика занял свое место на шее слона, крепко сжимая в руке некое подобие багра — стрекало, которым *настоящие* погонщики управляют своим подопечным; экспедиция тронулась в путь к таинственным джунглям.

От жителей города наши путешественники узнали, что добраться до джунглей можно примерно за час, и мистер Томпкинс, изо всех сил пытаясь сохранить равновесие между ушами слона, вознамерился с пользой использовать время, чтобы порасспросить у профессора о квантовых явлениях.

— Скажите, пожалуйста, — начал мистер Томпкинс, повернувшись к профессору, — *почему* тела с малой массой ведут себя столь необычно и как можно истолковать с точки зрения обычного здравого смысла ту квантовую постоянную, о которой вы все время говорите?

— О, — воскликнул профессор, — понять это не так уж трудно. Необычное поведение всех объектов в квантовом мире объясняется просто тем, что вы на них смотрите.

— Они настолько стыдливы? — улыбнулся мистер Томпкинс.

— «Стыдливы» — не то слово, — сурово ответил профессор. — Суть дела в том, что всякий раз, производя любое наблюдение, вы непременно возмущаете движение наблюдаемого объекта. Раз вы узнаете что-то о движении какого-то тела, то это означает, что движущееся тело произвело какое-то действие на ваши органы чувств или на прибор, который вы использовали при наблюдении. В силу равенства действия и противодействия мы приходим к заключению, что ваш измерительный прибор также воздействовал на тело и, так сказать, «испортил» его движение, введя неопределенность в положение и скорость тела.

— Если бы я тронул бильярдный шар пальцем, то, конечно, внес бы возмущение в его движение, — недоуменно произнес мистер Томпкинс. — Но я только посмотрел на него. Неужели этого достаточно, чтобы возмутить движение бильярдного шара?

— Разумеется, вполне достаточно! Вы же не можете видеть бильярдный шар в кромешной тьме. А если вы вынесете шар на свет, то лучи света, отражающиеся от шара и делающие его видимым, воздействуют на него (мы говорим о таком воздействии как о «давлении света») и «портят» движение шара.

— А что если я воспользуюсь очень тонкими и очень чувствительными приборами? Разве не смогу я сделать воздействие моих приборов на движущееся тело пренебрежимо малым?

— Именно так мы считали, когда у нас была только классическая физика, до открытия *кванта действия*. Но в начале XX столетия стало ясно, что действие на любой объект не может быть низведено до уровня ниже определенного предела, называемого квантовой постоянной и обозначаемого символом h . В обычном мире квант действия очень мал; в обычных единицах он выражается числом с двадцатью семью нулями после десятичной запятой. Квант действия становится существенным только для таких легких частиц, как электроны: из-за их очень малой массы на движении таких частиц заметно сказываются и очень слабые воздействия. В квантовых джунглях, к которым мы сейчас приближаемся, квант действия очень велик. Это грубый мир, в котором деликатные действия невозможны. Если кто-нибудь в таком мире попытается погладить котенка, то тот либо вообще не ощутит никакой ласки, либо его шея будет сломана при первом же прикосновении.

— Все это хорошо, — задумчиво проговорил мистер Томпкинс, — но ведут ли тела себя прилично, т.е. так, как обычно принято думать, когда на них никто не смотрит?

— Когда на тела никто не смотрит, — ответил профессор, — никто не может сказать, как они себя ведут. Ваш вопрос не имеет физического смысла.

— Должен признаться, — заметил мистер Томпкинс, — что все это изрядно смахивает на философию, а не на физику.

— Можете называть это философией, — профессор был явно задет, — но, в действительности, речь идет о фундаментальном принципе современной физики — *никогда не говорить о том, чего не знаешь*. Вся современная физическая теория основана на этом принципе, между тем, как философы обычно упускают его из виду. Например, знаменитый **немецкий философ Кант** провел немало времени, размышляя о свойствах тел, не таких, какими они «видятся нам», а таких, какие они есть «в себе». Для современного физика имеют смысл только так называемые «наблюдаемые» (т. е. принципиально наблюдаемые свойства), и вся современная физика основана на отношениях между наблюдаемыми свойствами. То, что невозможно наблюдать, хорошо только для праздных размышлений: вы можете придумывать что угодно, и плоды ваших размышлений нельзя ни проверить (т. е. убедиться в их существовании), ни воспользоваться ими. Должен сказать, что...



*Огромная стая несколько размазанных тигров
напала на слона*

В этот момент ужасный рев потряс воздух. Слон остановился как вкопанный так внезапно, что мистер Томпкинс чуть не свалился. Огромная стая несколько размазанных тигров напала на слона, выпрыгнув из засады со всех сторон. Сэр Ричард схватил свое ружье и, прицелившись ближайшему тигру между глаз, спустил курок. В следующий момент мистер Томпкинс отчетливо услышал, как сэр Ричард пробурчал себе под нос некое крепкое выражение, принятое среди охотников. Еще бы! Выстрел был метким, но пуля прошла сквозь голову

тигра, не причинив тому ни малейшего вреда!

— Стреляй еще! — закричал профессор. — Не цельтесь! Постарайтесь создать вокруг себя как можно большую плотность огня! На нас напал только один тигр, но он распределен вокруг нашего слона, и наш единственный шанс на спасение состоит в том, чтобы поднять гамильтониан.

Профессор схватил другое ружье, и грохот выстрелов смешался с ревом квантового тигра. Мистеру Томпкинсу показалось, что прошла целая вечность прежде, чем весь этот ужасный шум затих. Одна из пуль «попала в цель», и к величайшему удивлению мистера Томпкинса тигр, внезапно превратившийся в одного-единственного титра, был с силой отброшен назад, и его мертвое тело, описав дугу в воздухе, приземлилось где-то за маячившей в отдалении пальмовой рощей.

— А кто этот Гамильтониан? — спросил мистер Томпкинс, когда все немного успокоилось. — Знаменитый охотник, которого вы хотели поднять из могилы, чтобы он спас нас?

— О, прошу великодушно простить меня! — сказал профессор. — В пылу битвы я перешел на научную терминологию, которую вы не понимаете! Гамильтонианом принято называть математическое выражение, описывающее квантовое взаимодействие между двумя телами. Оно получило свое название в честь ирландского математика Гамильтона, который первым начал использовать эту математическую форму. Я хотел сказать, что, выпуская как можно больше пуль, мы можем увеличить вероятность взаимодействия между пулей и телом тигра. В квантовом мире вы не можете точно прицелиться и быть уверены, что попадете в цель. Из-за расплывания пули и цели всегда существует лишь отличная от нуля вероятность попадания в цель, но эта вероятность никогда не равна единице. В нашем случае мы выпустили по крайней мере тридцать пуль, прежде чем действительно попали в тигра, и тогда действие пули оказалось столь сильным, что тигра отбросило далеко назад. То же самое, только в меньших масштабах, происходит и в нашем привычном мире. Как я уже упоминал, в обычном мире, чтобы заметить нечто подобное, необходимо исследовать поведение таких малых частиц, как электроны. Возможно, вам приходилось слышать о том, что каждый атом состоит из сравнительно тяжелого ядра и нескольких электронов, обращающихся вокруг него. Сначала принято было думать, что движение электронов вокруг ядра совершенно аналогично движению планет вокруг Солнца, но более глубокий анализ показал, что обычные понятия, относящиеся к движению, слишком грубы для такой миниатюрной системы, как атом. Действия, играющие важную роль внутри атома, по порядку величины сравнимы с элементарным квантом действия, и поэтому вся картина в целом сильно расплывается. Движение электрона вокруг атомного ядра во многих отношениях аналогично движению нашего квантового тигра, который в одиночку окружил нашего слона со всех сторон.

— А не стрелял ли кто-нибудь в электрон так, как мы стреляли в тигра? — спросил мистер Томпкинс.

— Стреляли и не раз! Ядро само испускает иногда кванты света высокой энергии, или, что то же, элементарные порции действия света. В электрон можно выстрелить и снаружи атома, освещая атом пучком света. При этом все произойдет так же, как с тигром: многие кванты света пройдут через то место, где находится электрон, не оказав на того ни малейшего действия, пока, наконец, один из квантов света не столкнется с электроном и не выбьет его из атома. На квантовую систему нельзя воздействовать чуть-чуть; она либо вообще не испытывает никакого воздействия, либо претерпевает в результате воздействия сильные изменения.

— Как тот несчастный котенок, которого нельзя приласкать в квантовом мире, не рискуя нанести ему смертельное увечье, — заключил мистер Томпкинс.

— Взгляните вон туда! Газели! Множество газелей! — воскликнул сэр Ричард, поднимая свое ружье. И, действительно, огромное стадо газелей показалось из бамбуковой рощи.

— Дрессированные газели, — подумал мистер Томпкинс. — Бегут строем, как солдаты на параде. Хотел бы я знать, уж не квантовый ли это эффект?



Группа газелей быстро приближалась к слону, на котором восседали наши путешественники, и сэр Ричард изготовился было стрелять, как вдруг профессор остановил его.

— Не тратьте понапрасну ваши охотничьи припасы, — сказал профессор. — Очень мало шансов попасть в животное, когда оно движется в дифракционной картине.

— Почему вы говорите не о животных, а об одном животном, удивленно спросил сэр Ричард. — Здесь по крайней мере несколько дюжин газелей!

— Вы глубоко заблуждаетесь, — возразил профессор. — Здесь перед нами только одна маленькая газель, которая, испугавшись чего-то, мчится сквозь бамбуковую рощу. Дело в том, что «расплывание» всех тел обладает одним свойством, аналогичным свойству обычного света: проходя через правильную систему отверстий («решетку»), например между стволами бамбука в роще, оно порождает явление дифракции, о котором вам, вероятно, приходилось слышать в школе. Поэтому мы говорим о волновом характере материи.

Но ни сэр Ричард, ни мистер Томпкинс не могли вспомнить, что же, собственно говоря, означает загадочное слово «дифракция» и разговор оборвался.

Углубившись в дебри квантовых джунглей, наши путешественники повстречали множество других интереснейших явлений, например, познакомились с квантовыми москитами. Определить местонахождение этих насекомых в пространстве было почти невозможно из-за их малой массы. Очень забавны были квантовые обезьяны.

Но вот впереди показалось что-то напоминающее туземное селение.

— Я не знал, что в этих местах живут люди, — заметил профессор. — Судя по шуму, у них какое-то празднество. Вы только прислушайтесь к неумолкаемому звону колокольчиков.

Различить отдельные фигуры туземцев, исполнявших вокруг большого костра какой-то дикий танец, было очень трудно. Из толпы, куда ни глянь, всюду поднимались темно-коричневые руки с колокольчиками всех размеров. Когда путешественники приблизились, все, включая хижины и окружающие селение большие деревья, начало расплываться. Звон колокольчиков стал невыносимым для мистера Томпкинса. Он протянул руку, схватил что-то и отбросил в сторону. Будильник разбил стакан с водой, стоявший на ночном столике, и поток холодной воды привел мистера Томпкинса в чувство. Он вскочил и принялся быстро одеваться. Через полчаса ему нужно было быть в банке.

Глава 3

Демон Максвелла

Участвуя на протяжении многих месяцев в невероятных приключениях, в ходе которых профессор не упускал удобного случая посвятить мистера Томпкинса в тайны физики, мистер Томпкинс все более проникался очарованием мисс Мод.

Наконец, настал день, когда мистер Томпкинс, заикаясь и краснея от смущения, робко предложил мисс Мод руку и сердце. Предложение было с радостью принято, и вскоре мистер Томпкинс и мисс Мод стали мужем и женой. В новой для себя роли тестя профессор считал своей неременной обязанностью всячески способствовать расширению познаний своего зятя в физике и знакомить его с новейшими достижениями этой увлекательной науки.

Однажды мистер и миссис Томпкинс, с удобством устроившись в креслах, предавались воскресному отдыху в своей уютной квартирке. Миссис Томпкинс с головой погрузилась в изучение журнала мод «Vogue», а ее супруг с увлечением читал статью в журнале «Esquire» ¹.

— Подумать только! — внезапно воскликнул мистер Томпкинс. — Оказывается, в азартных играх существуют беспроеигрышные стратегии!

— Сирил, неужели ты всерьез думаешь, что такое возможно? — спросила миссис Томпкинс, задумчиво поднимая глаза от приковавших ее внимание страниц модного журнала. — Помнится, папа не раз говорил нам о том, что в азартных играх беспроеигрышных стратегий нет и быть и не может.

— Взгляни сама, Мод, — предложил мистер Томпкинс, показывая своей супруге статью, которую он изучал с таким интересом в течение последнего получаса. — Я ничего не знаю о других выигрышных стратегиях, но та, о которой говорится в этой статье, основана на очень простых математических расчетах без всяких обманов и подвохов, и я просто не знаю, где здесь в рассуждения может вкрасться какая-нибудь ошибка. Чтобы выиграть, нужно лишь выписать на листке бумаги числа

1, 2, 3

и неукоснительно придерживаться простых правил, приводимых в той же статье.

— Попробовать, конечно, можно, — согласилась Мод, начиная проявлять признаки интереса. — А что это за правила?

— Для большей наглядности я буду следовать примеру, приводимому в статье, ведь, как ты знаешь, учиться лучше всего на примерах. В качестве иллюстрации беспроеигрышной стратегии автор статьи выбрал игру в рулетку. Как тебе, должно быть, известно, игроки в рулетку делают ставку на красное или на черное, т. е., по существу, как бы заключают между собой пари относительно исхода бросания монеты — выпадет ли монета вверх орлом или решкой. Я начинаю с того, что выписываю на листке бумаги числа

¹ Если быть точным, то следует сказать, что внимание мистера Томпкинса привлекла статья в январском номере этого журнала за 1940 г.

1, 2, 3.

Первое правило состоит в том, что, делая ставку, я должен выложить на стол число фишек, равное сумме первого и последнего и выписанных чисел (а в том случае, если на листке бумаги останется одно-единственное число, ставка должна быть равна одному числу). Следуя этому правилу, я должен выложить на стол четыре (одну плюс три) фишки. Предположим, что я ставлю на красное. По правилам игры, в случае выигрыша мне нужно зачеркнуть первое и последнее из выписанных чисел. В нашем примере это числа 1 и 3, поэтому, делая следующую ставку, я должен выложить на стол две фишки (поскольку после вычеркивания чисел 1 и 3 на листке бумаги останется одно-единственное число 2). В случае проигрыша число фишек в предыдущей (проигранной) ставке необходимо приписать справа к уже выписанным числам, а при определении величины следующей ставки придерживаться прежнего правила, т. е. выставить число фишек, равное сумме первого и последнего из выписанных чисел (либо, если на листке бумаги останется только одно число, то этому числу).

Предположим, что рулетка остановится на черном и крупье специальной лопаткой подвинет к себе выставленные мной четыре фишки. Поскольку я проиграл, новый ряд чисел, выписанных на листке бумаги, выглядит теперь так:

1, 2, 3, 4

(число выложенных на стол фишек, равное 4, приписано справа). Делая следующую ставку, я должен выложить на стол пять (одну плюс четыре) фишек. В статье говорится, что и во второй раз я снова проигрываю и что, несмотря на повторный проигрыш, мне надлежит придерживаться прежней стратегии, т. е. приписать к уже выписанным числам справа число 5 и выложить на стол шесть (одну плюс пять) фишек.

— На этот раз ты непременно должен выиграть, — воскликнула Мод, все более входя в азарт. — Не можешь же ты все время проигрывать!

— Еще как могу! — заверил супругу мистер Томпкинс. — В детстве я частенько играл с другими мальчишками в орлянку — заключал пари относительно того, какой стороной вверх выпадет брошенная монета и, хочешь верь, хочешь не верь, однажды стал свидетелем того, как монета десять раз подряд выпала вверх орлом. Но предположим, как это делается в статье, что на этот раз я для разнообразия выиграл. В этом случае по правилам игры я должен получить свою удвоенную ставку — двенадцать фишек — и по сравнению со своим первоначальным капиталом стану на три фишки богаче. Следуя рекомендуемой

стратегии, я должен вычеркнуть числа 1 и 5, после чего запись на листке бумаги примет следующий вид:

1 (зачеркнуто), 2, 3, 4, 5 (зачеркнуто)

Делая следующую ставку, я должен выложить на стол шесть (две плюс четыре) фишек.

— Здесь в статье написано, что ты снова проиграл, — вздохнула Мод, заглядывая в журнал через плечо мужа. — Значит, теперь ты должен приписать к числам справа шестерку и, делая следующую ставку, выложить на стол восемь фишек. Правильно?

— Ты абсолютно права, но и на этот раз меня подстерегает проигрыш, и запись на листке бумаги выглядит теперь так:

1 (зачеркнуто), 2, 3, 4, 5 (зачеркнуто), 6, 8

Делая очередную ставку, я должен теперь выложить на стол десять (две плюс восемь) фишек. В статье говорится, что на этот раз я выиграл. Значит, я должен зачеркнуть числа 2 и 8 и, делая следующую ставку, выложить на стол девять (три плюс шесть) фишек. Но тут меня (так говорится в статье) снова подстерегает проигрыш.

— Какой все-таки неудачный пример! — посетовала, надув губки, Мод. — Ты успел проиграть три раза, а выиграл всего лишь один раз!

— Неважно, — успокоил ее мистер Томпкинс со снисходительной уверенностью фокусника. — Все равно в самом конце цикла выигрыш останется за нами. Последний запуск рулетки принес мне (по утверждению автора статьи) проигрыш в девять фишек. Поэтому теперь я должен приписать к уже выписанным числам справа девятку, после чего запись на моем листке будет выглядеть так: 1 (зачеркнуто), 2 (зачеркнуто), 3, 4, 5 (зачеркнуто), 6, 8 (зачеркнуто), 9

На стол мне нужно выложить двенадцать (три плюс девять) фишек. На этот раз выигрыш остается за мной, поэтому я вычеркиваю числа 3 и 9 и, делая новую ставку, выкладываю на стол десять (четыре плюс шесть) фишек. Последующий выигрыш завершает цикл, так как все числа, выписанные на листке бумаги, оказываются зачеркнутыми. Я стал богаче на шесть фишек, хотя выиграл в рулетку только четыре раза, а проиграл пять раз!

— А ты действительно стал на шесть фишек богаче? — недоверчиво спросила Мод.

— В этом не может быть никаких сомнений. Стратегия построена так, что всякий раз по завершении цикла ты, хочешь, не хочешь, непременно выигрываешь шесть фишек. В этом нетрудно убедиться с помощью несложных вычислений, поэтому я называю эту стратегию математической. Как видишь, она беспроигрышна. Если угодно, можешь взять листок бумаги и проверить все выкладки сама.

— Верю тебе на слово, что стратегия действительно беспроигрышна, — задумчиво сказала Мод, — но ведь шесть фишек — не такой уж большой выигрыш.

— Как сказать, — возразил мистер Томпкинс, — ведь выигрыш шести фишек в конце каждого цикла *гарантирован*. Повторяя процедуру снова и снова (начиная каждый раз с выписывания чисел 1, 2, 3), ты можешь выиграть сколько твоей душе угодно денег, а это совсем неплохо.

— Это просто великолепно! — согласилась Мод. — Теперь ты сможешь оставить службу в банке, мы сможем переехать в более просторную квартиру, а не далее, как вчера, я видела в витрине одного мехового магазина чудесное манто. И стоит оно каких-нибудь...

— Разумеется, мы купим тебе это манто, дорогая, — поспешил заверить жену мистер Томпкинс. — Но сначала нам нужно как можно скорее отправиться в Монте-Карло. Ведь статью, опубликованную в журнале «Esquire», прочтает множество людей, и было бы очень досадно прибыть в Монте-Карло лишь для того, чтобы застать там счастливого, который опередил нас и довел казино до полного разорения.

— Я сейчас позвоню в аэропорт, — предложила Мод, — и узнаю, когда отправляется ближайший рейс в Монте-Карло.

— Что за спешка? — раздался в прихожей знакомый голос, и в комнату вошел старый профессор. Остановившись в дверях, он с удивлением смотрел на супружескую чету Томпкинсов, несколько разгоряченных внезапно открывшимися перед ними перспективами финансового благополучия.

— Мы намереваемся отправиться ближайшим же рейсом в Монте-Карло и надеемся вернуться основательно разбогатевшими, — пояснил мистер Томпкинс, поднимаясь из кресла навстречу тестю.

— Ах, вот в чем дело! Тогда все понятно, — улыбнулся профессор, с комфортом устраиваясь в старомодном кресле у камина. — У вас есть новая беспроигрышная стратегия?

— Но, папа, эта стратегия действительно беспроигрышная, — с упреком сказала Мод, все еще держа руку на телефонной трубке.

— Мод совершенно права, — подтвердил мистер Томпкинс, протягивая профессору журнал. — Предлагаемая стратегия просто не может не выиграть!

— Так-таки и не может? — иронически переспросил профессор с улыбкой. — Сейчас увидим!

Бегло ознакомившись со статьей, профессор продолжал:

— Отличительная особенность предлагаемой стратегии состоит в том, что правило, регулирующее величину ставок, заставляет вас увеличивать ставку после каждого проигрыша и снижать ставку после каждого выигрыша. Следовательно, если вы будете попеременно выигрывать и проигрывать, причем выигрыши и проигрыши будут чередоваться с абсолютной регулярностью, то ваш капитал будет колебаться, причем каждое увеличение капитала будет чуть больше его уменьшения. В этом случае вы, несомненно, достаточно скоро станете миллионером. Но, как вы понимаете, абсолютная регулярность встречается нечасто. В действительности вероятность появления правильно чередующейся последовательности выигрышей и проигрышей столь же мала, как и вероятность появления одинаковой по длине серии одних только выигрышей. Таким образом, необходимо выяснить, что произойдет, если несколько выигрышей (или несколько проигрышей) следуют подряд друг за другом. Если вам, как говорят игроки, улыбнулась фортуна, то правила беспроигрышной стратегии вынуждают вас либо понижать, либо по крайней мере не повышать ставку после каждого выигрыша, поэтому общий выигрыш окажется не слишком большим. С другой стороны, те же правила заставляют вас после каждого проигрыша повышать ставку, поэтому полоса неудач может иметь для вас катастрофические последствия и даже побудить вас выйти из игры. Кривая колебаний вашего капитала на этот раз состоит из нескольких медленно возрастающих участков, сменяющихся резкими спадами. В начале игры вы с большей вероятностью попадаете на длинную медленно возрастающую часть кривой и в течение какого-то времени наслаждаетесь приятным ощущением того, что ваш капитал медленно, но неуклонно увеличивается. Но если вы продолжаете игру достаточно долго в надежде на получение все большей и большей прибыли, то совершенно неожиданно для вас внезапно наступает резкий спад, который может оказаться достаточно глубоким для того, чтобы вы, сделав очередную ставку, потеряли последний пенни. Можно показать, причем в совершенно общем виде, что в предлагаемой автором статьи стратегии, равно как и в любой другой выигрышной стратегии, вероятность того, что кривая достигнет двойной отметки, равна вероятности достигнуть нулевого значения. Иначе говоря, вы имеете точно такой же шанс на окончательный выигрыш, как если бы поставили все свои деньги на красное или черное и удвоили свой капитал или спустили все, что имели, за один-единственный запуск рулетки. Все «беспроигрышные» стратегии способны лишь продлить игру и тем самым дать вам возможность получить за свои деньги больше удовольствия. Но даже если вы не требуете от игры ничего большего, то и тогда игру не следует так усложнять. Как вы знаете, на ободе колеса рулетки нанесены тридцать шесть чисел. Ничто не мешает поставить по фишке на каждое из чисел, кроме какого-нибудь одного. В этом случае вы имеете тридцать пять шансов из тридцати шести на выигрыш и на то,

что банк выплатит вам за одну фишку больше, чем те тридцать пять фишек, которые вы, делая ставку, выложили на стол. Однако в одном из тридцати шести запусков рулеточного колеса шарик остановится на том числе, на которое вы решили не ставить свою фишку, и вы потеряете все свои тридцать пять фишек. Если вы будете придерживаться такой стратегии в достаточно продолжительной игре, то кривая вашего флуктуирующего капитала будет выглядеть точно так же, как кривая, которую вы получили, следуя стратегии, предложенной журналом.

Разумеется, в своих рассуждениях я исходил из предположения о том, что банк не предпринимает никаких мер, чтобы искусственно понизить шансы игрока на выигрыш. В действительности же на каждом рулеточном колесе, которое мне приходилось видеть, был нуль — «зеро», а иногда даже два нуля, что понижает шансы игрока на выигрыш. Таким образом, независимо от выбранной игроком стратегии его денежки мало-помалу перекачываются из его кармана в карман владельца казино.

— Вы хотите сказать, — удрученно проговорил мистер Томпкинс, — что надежной беспроигрышной стратегии не существует и что выиграть деньги без риска проиграть с вероятностью чуть больше, чем вероятность выигрыша, просто невозможно?

— Именно это я хотел сказать! — подтвердил догадку мистера Томпкинса профессор. — Более того, высказанные мной соображения относятся не только к таким в сущности пустяковым проблемам, как азартные игры, но и ко многим различным физическим явлениям, которые, на первый взгляд, не имеют никакого отношения к вероятностным законам. Поэтому если бы вам удалось изобрести надежную выигрышную стратегию для преодоления законов случая, то для нее нашлось бы немало гораздо более увлекательных применений, чем игра на деньги в казино. Например, такая стратегия позволила бы создавать автомашины, способные совершать пробеги любой протяженности без капли бензина, строить фабрики, работающие без угля, и осуществлять множество других не менее фантастических проектов.

— Я где-то читал о таких фантастических машинах. Кажется, они называются вечными двигателями? — заметил мистер Томпкинс. — Если я правильно помню, вечные двигатели по замыслу их создателей должны были бы работать без топлива. Принято считать, что они невозможны потому, что энергию невозможно производить из ничего. Но как бы то ни было, вечные двигатели не имеют никакого отношения к азартным играм.

— Вы совершенно правы, молодой человек, — согласился профессор, несказанно довольный тем, что его зять начинает понемногу разбираться в физике. — Такие вечные двигатели (их принято называть вечными двигателями первого рода) не могут существовать потому, что их существование противоречило бы закону сохранения энергии. Однако машины, работающие без топлива, которые я имею в виду, совершенно другого типа и их принято называть вечными двигателями второго рода. Их проектируют не для того, чтобы получать энергию из ничего, а

для того, чтобы извлекать ее из тепловых резервуаров, скрытых вокруг нас в недрах земли, в море и в воздухе. Вообразите себе пароход, на котором пар в котлах получается не при сжигании угля, а при извлечении тепла из окружающей судно воды. В самом деле, если бы тепло можно было заставить течь от более холодного тела к более тепловому, а не в обратном направлении, как обычно, то можно было бы построить систему, которая закачивала бы забортную морскую воду, извлекала бы из нее тепло и сталкивала за борт получающиеся из воды глыбы льда. При превращении в лед одного галлона воды, выделяется столько тепла, что его достаточно для того, чтобы довести до кипения другой галлон холодной воды. Пропуская с помощью насосов несколько галлонов морской воды в минуту, можно легко получить количество теплоты, достаточное для работы двигателя приличных размеров. Для всех практических целей вечные двигатели второго рода ничем не уступали бы вечным двигателям первого рода, предназначенным для получения энергии из ничего. Если бы вечные двигатели второго рода действовали, то все в мире могли бы существовать столь же беззаботно, как человек, обладающий беспроегрышной стратегией для игры в рулетку. К сожалению, ни вечные двигатели второго рода, ни беспроегрышные стратегии существовать не могут, ибо и те, и другие одинаково нарушают законы вероятности.

— Я могу допустить, что пытаться извлекать тепло из морской воды для подогрева судовых котлов — сумасшедшая идея, — сказал мистер Томпкинс. — Однако я не усматриваю никакой связи между этой проблемой и законами случая. Разумеется, если вы не станете предлагать использовать игральные кости или колесо рулетки в качестве движущихся частей машин, работающих без топлива. Но вы же ничего такого, надеюсь, и не предлагаете?

— Разумеется, не предлагаю! — рассмеялся профессор. — Не думаю также, чтобы самые сумасшедшие изобретатели вечных двигателей предлагали нечто подобное. Дело совсем в ином: тепловые процессы сами очень похожи по своей природе на игру в кости, и надеяться на то, что тепло потечет от более холодного тела к более горячему, все равно, что надеяться на то, что монеты из банка казино потекут к вам в карман.

— Вы хотите этим сказать, что банк холодный, а мой карман горячий? — спросил мистер Томпкинс, полностью запутавшийся в объяснениях.

— В каком-то смысле да, — согласился профессор. — Если бы вы не пропустили мою лекцию на прошлой неделе, то знали бы, что тепло представляет собой не что иное, как быстрое беспорядочное движение бесчисленных частиц, известных под названием атомов и молекул, из которых состоят все материальные тела. Чем сильнее это молекулярное движение, тем теплее тело. Поскольку это молекулярное движение совершенно беспорядочно, оно подчиняется законам случая. Нетрудно показать, что наиболее вероятное состояние системы, состоящей из большого числа частиц, соответствует более или менее равномерному распределению всей имеющейся энергии по частицам. Если

какая-то часть материального тела нагрета, т. е. если частицы в этой части тела движутся быстрее, то, принимая во внимание огромное число случайных столкновений, можно ожидать, что избыток энергии вскоре равномерно распределится между всеми остальными частицами. Но поскольку столкновения между частицами чисто случайные, существует также вероятность того, что совершенно случайно значительная часть энергии окажется сосредоточенной в какой-то группе частиц в ущерб всем остальным частицам. Такая спонтанная концентрация тепловой энергии в какой-то одной части тела соответствовала бы потоку тепла, направленному против перепада, или градиента, температуры, и в принципе отнюдь не исключается. Но если мы попытаемся вычислить относительную вероятность такой спонтанной концентрации тепла, то получим столь малое числовое значение, что подобное явление с полным основанием можно назвать практически невозможным.

— Теперь мне понятно, — обрадовался мистер Томпкинс. — Вы хотите сказать, что хотя вечные двигатели второго рода могут изредка работать, вероятность такого события столь же мала, как вероятность выпадения семи очков сто раз подряд при игре в кости.

— В действительности шансы встретить действующий вечный двигатель второго рода еще меньше, — сказал профессор. — Вероятности выигрыша в азартной игре против природы столь малы, что трудно найти подходящие слова для их описания. Например, я могу подсчитать вероятность того, что воздух в этой комнате самопроизвольно соберется под столом, оставив повсюду абсолютный вакуум. Число игральных костей, которые вы должны были бы бросать одновременно, эквивалентно числу молекул воздуха в комнате, которое мне было бы необходимо знать. Насколько я помню, один кубический сантиметр воздуха при атмосферном давлении содержит двадцатизначное число молекул, поэтому во всей комнате наберется двадцатисемизначное число молекул воздуха. Пространство под столом составляет примерно около одного процента объема комнаты, и шансы любой данной молекулы оказаться именно под столом, а не где-нибудь еще, составляют поэтому один к ста. Следовательно, вычисляя вероятность того, что все молекулы окажутся под столом, я должен умножить одну сотую на одну сотую, на одну сотую и т. д. столько раз, сколько молекул в комнате. В результате я получу десятичную дробь с пятидесятью четырьмя нулями после запятой.

— Уф! — вздохнул мистер Томпкинс. — Не хотел бы я делать ставку со столь малыми шансами на выигрыш! А не означает ли это, что отклонения от равномерного распределения молекул по пространству попросту невозможны?

— Вы совершенно правы, — согласился профессор. — Можно считать твердо установленным фактом, что смерть от удушья из-за того, что весь воздух соберется под столом, нам не угрожает и жидкость в бокале не закипит вдруг сама собой. Но если мы сосредоточим внимание на гораздо меньших областях, содержащих существенно меньшее число наших игральных костей — молекул, то

отклонения от статистического распределения станут значительно более вероятными. Например, в этой же самой комнате молекулы воздуха то и дело группируются несколько более плотно в одних точках пространства, чем в других, образуя слабые неоднородности, которые получили название статистических флуктуаций плотности. Когда солнечный свет проходит через земную атмосферу, такие неоднородности приводят к рассеянию голубых лучей спектра и придают небу знакомый всем голубой цвет. Если бы не было этих флуктуаций плотности, то небо всегда было бы совершенно черным и звезды были бы отчетливо видны даже при полном дневном свете. При нагревании жидкости до точки кипения они слегка мутнеют, что также объясняется теми же самыми флуктуациями плотности, возникающими из-за хаотичности движения молекул. Но в больших масштабах флуктуации настолько маловероятны, что мы могли бы напрасно прождать их миллиарды лет и так и не увидеть ни одной флуктуации.

— Тем не менее у нас есть шанс стать свидетелями какого-нибудь необычного события прямо сейчас в этой самой комнате, — настаивал мистер Томпкинс. — Ведь так?

— Разумеется, такой шанс всегда есть, и было бы неразумно утверждать, будто половина содержимого супницы не может выплеснуться на скатерть потому, что половина всех молекул внезапно приобрела тепловые скорости в одном и том же направлении.

— Именно такое событие произошло лишь вчера, — вмешалась в разговор Мод, закончившая просматривать свой журнал и с интересом слушавшая беседу профессора и мистера Томпкинса. — Суп пролился прямо на скатерть, хотя горничная утверждала, что не притрагивалась к столу.

Профессор тихо рассмеялся.

— В этом конкретном случае, — заметил он, — я склонен винить в случившемся все же горничную, а не демона Максвелла.

— Демона Максвелла? — повторил мистер Томпкинс в величайшем изумлении.

— А я-то думал, что ученые менее всего помышляют о всяких там демонах и прочей чертовщине.

— По правде говоря, мы воспринимаем его не слишком серьезно, — пояснил профессор. — Знаменитый физик Джеймс Клерк Максвелл ввел представление о таком статистическом демоне для большей наглядности. Демон понадобился Максвеллу при рассмотрении некоторых явлений, связанных с теплотой. Демон Максвелла — существо весьма проворное и успевает изменять направление движения каждой молекулы в отдельности любым образом, каким вы только пожелаете. Если бы такой демон существовал в действительности, то тепло можно было бы заставить течь против градиента температуры и за фундаментальный закон термодинамики, известный под названием *принципа возрастания энтропии*, никто бы не дал и ломаного гроша.

— Энтропии? — переспросил мистер Томпкинс. — Мне приходилось слышать это слово и прежде. Один из моих коллег однажды пригласил гостей, и после нескольких тостов присутствовавшие среди приглашенных студенты-химики спели на мотив «Ах, мой милый Августин» куплеты, которые начинались так:

«Возрастает, убывает,

Убывает, возрастает —

Химики того не знают.

Энтропия возрастает?»

Кстати, а что такое энтропия?

— Понять это совсем нетрудно. Энтропия — это просто термин, используемый для описания степени беспорядочности движения молекул в любом физическом теле или в системе тел. Многочисленные случайные столкновения между молекулами всегда способствуют увеличению энтропии, так как полный хаос является наиболее вероятным состоянием любого статистического ансамбля. Но если бы за работу принялся демон Максвелла, то он довольно скоро смог бы навести кое-какой порядок в движении молекул так же, как хорошая сторожевая собака не дает разбежаться и пасет стадо овец, и тогда энтропия системы пошла бы на убыль. Должен сказать вам также, что согласно так называемой Н-теореме, которой мы обязаны Людвигу Больцману...

Явно забыв о том, что он разговаривает с человеком, который практически ничего не понимает в физике, а не читает лекцию студентам-старшекурсникам, профессор с увлечением продолжал свой монолог и без малейших колебаний прибегал даже к таким маловразумительным для непосвященных терминам, как «обобщенные параметры» и «квазиэргодические системы». Ему казалось, что в таком изложении фундаментальные законы термодинамики и их связь со статистической механикой Гиббса становятся кристально ясными. Мистер Томпкинс уже успел привыкнуть к тому, что его тесть изъясняется на несколько недоступном для него уровне, и поэтому с философским спокойствием потягивал виски с содовой, пытаясь придать лицу умное выражение. Но весь блеск и красота статистической физики явно ускользали от Мод, уютно свернувшейся калачиком в своем кресле и с героическими усилиями борющаяся с дремотой. Дабы окончательно развеять сонливость, она решила встать и пойти посмотреть, как идут приготовления к обеду.

— Мадам что-нибудь желает? — с поклоном спросил ее высокий тщательно одетый дворецкий, едва Мод появилась на пороге столовой.

— Благодарю вас, ничего. Просто решила посмотреть, как идут приготовления к обеду, — ответила она, лихорадочно пытаясь понять, откуда он взялся. Появление метрдотеля было очень странным, поскольку прислуги Томпкинсы не держали, дворецкого у них никогда не было, они и подумать не могли о такой роскоши.

Дворецкий был худощав, строен, со смуглой оливковой кожей, длинным крючковатым носом и зеленоватыми глазами, в которых тлел странный огонек. Мурашки пробежали у Мод по спине, когда на лбу у дворецкого она заметила два симметричных выступа, тщательно прикрытых черными, как смоль, волосами.

— Либо я сплю, либо предо мной Мефистофель собственной персоной прямо с оперных подмостков, — подумала она.

— Вас нанял мой муж? — спросила Мод лишь для того, чтобы что-нибудь сказать.

— Не совсем, — ответил необычный дворецкий, завершая великолепную сервировку стола. — Если быть точным, я явился сюда по собственному желанию, дабы показать вашему батюшке, известному своими познаниями, что я не миф, как он думает. Позвольте представиться: я демон Максвелла.

— О! — вымолвила Мод с облегчением. — Тогда вы, должно быть, не злокозненны, как другие демоны, и не имеете намерений причинять вред кому-нибудь.

— Разумеется, — успокоил ее с широкой улыбкой демон, — но я люблю разыгрывать с людьми шутки и хочу подшутить над вашим ученым батюшкой.

— А что вы намереваетесь сделать? — с тревогой спросила Мод, которая никак не могла отделаться от мучивших ее подозрений.

— Просто продемонстрировать ему, что если я захочу, то могу нарушить принцип возрастания энтропии. А чтобы и вы могли убедиться в этом, я был бы очень признателен вам, если бы вы составили мне компанию. Смее уверить вас, что вам не угрожает никакая опасность.

При этих словах Мод почувствовала, как демон крепко взял ее под руку и все предметы вокруг словно сошли с ума. Стол, стулья и вся прочая обстановка столовой вдруг начали с чудовищной скоростью увеличиваться, и на ее глазах спинка кресла, выросшая до гигантских размеров, закрыла горизонт. Когда все вокруг постепенно успокоилось, Мод обнаружила, что плавает в воздухе, поддерживаемая своим необычным спутником. Какие-то туманные шары размером с теннисный мяч со свистом проносились мимо по всем направлениям. Демон Максвелла предусмотрительно предотвращал их от столкновения со всеми мало-мальски опасными предметами. Взглянув вниз, Мод увидела нечто вроде рыбацкой лодки, до самых уключин груженной трепыхающейся, блещущей серебром рыбой. Присмотревшись повнимательнее, Мод увидела, что это были не рыбы, а множество туманных шаров, вроде тех, что то и дело пролетали мимо, со свистом рассекая воздух. Демон, по-прежнему крепко держа ее под руку, влек ее за собой до тех пор, пока они не очутились в море какой-то зернистой жидкости, бесформенной и в то же время подвижной. Шары прямо-таки кипели у самой поверхности моря, а некоторых жидкость засасывала, и они скрывались в пучине. Время от времени некоторые шары всплывали к самой поверхности с такой скоростью, что отрывались от поверхности моря и взмывали в пространство.

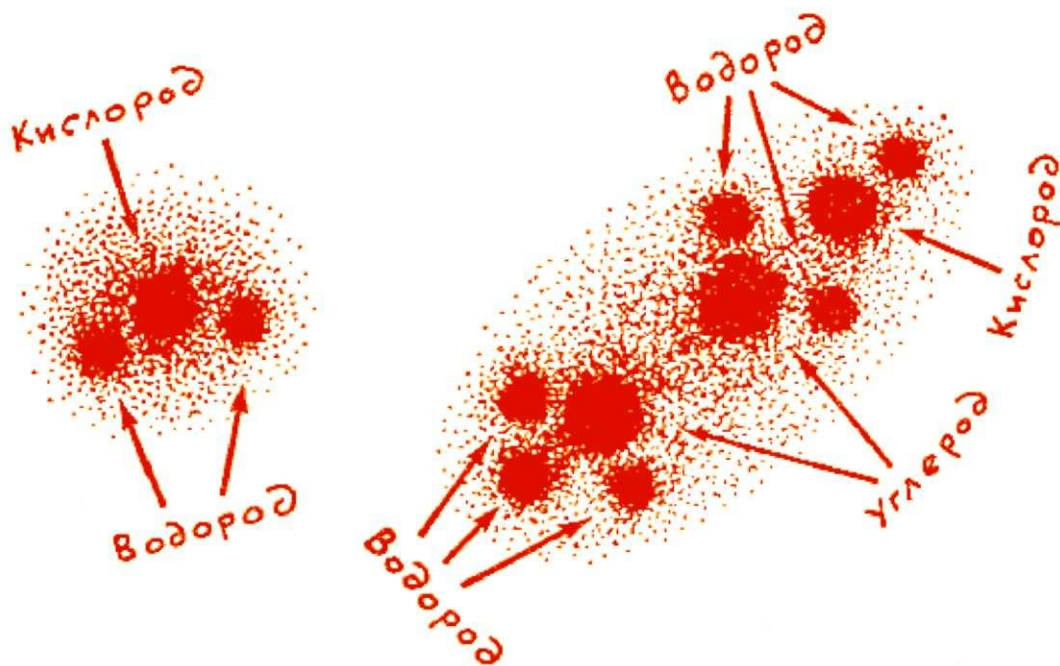
Другие шары прилетали откуда-то из пространства, врезались в жидкость и исчезали под тысячами других шаров. Вглядевшись в простиравшееся вокруг море, Мод увидела, что туманные шары в действительности были двух различных сортов. Большинство шаров напоминало по внешнему виду теннисные мячи, однако встречались и шары покрупнее. Они были более продолговатыми и по форме напоминали мячи для американского футбола. Все шары были полупрозрачными и имели сложную внутреннюю, структуру, которую Мод никак не удавалось разглядеть.

— Где мы? — произнесла Мод, задыхаясь. — Неужели так выглядит ад?

— Нет, — улыбнулся в ответ демон. — Все гораздо более прозаично. Просто мы с вами видим под очень большим увеличением крохотный участок поверхности жидкости в бокале, с помощью которого ваш муж довольно успешно пытается не уснуть, пока ваш батюшка разглагольствует о квазиэргодических системах. Все эти шары — молекулы. Те, что поменьше, — молекулы воды, те, что побольше, — молекулы спирта. Подсчитав, если угодно, пропорцию между теми и другими, вы сможете определить крепость напитка, который смешал себе ваш муж.

— *Очень* интересно! — заметила Мод как можно более строгим голосом. — А что это за штуковины плавают там вдали? Они напоминают пару резвящихся китов. Может быть, это какие-нибудь атомные киты?

Демон взглянул в том направлении, куда указывала Мод.



— Нет, это не киты, — заметил он. — Это крохотные кусочки подгоревшего ячменя — того самого ингредиента, который придает виски особый вкус и цвет.

Каждый такой кусочек состоит из миллионов и миллионов сложных органических молекул, имеет сравнительно большие размеры и довольно тяжел. То, что они прыгают на поверхности жидкости, объясняется действием тех ударов, которые они получают от молекул воды и спирта, совершающих тепловое движение. Именно изучение таких частиц средних размеров, достаточно малых для того, чтобы ощущать движение молекул, и вместе с тем достаточно больших для того, чтобы их можно было наблюдать в сильный микроскоп, дало ученым первое прямое доказательство правильности основных положений кинетической теории газов. Измеряя интенсивность тарантеллы, исполняемой крохотными частицами, взвешенными в жидкости, — их броуновского движения, как обычно принято называть беспорядочное движение таких частиц, физики научились извлекать непосредственную информацию об энергии движения молекул.

Демон снова повлек за собой Мод. Они неслись по воздуху до тех пор, пока перед ними не возникла гигантская стена, сложенная из бесчисленных молекул воды. Молекулы были подогнаны друг к другу точно и плотно, как кирпичи.

— Какое поразительное зрелище! — вскричала Мод. — Какой прекрасный фон для портрета, который я сейчас рисую! Кстати, а что это за здание?

— Перед вами фрагмент кристалла льда, один из многих кристалликов, образующих кубик льда в стакане вашего мужа, — сказал демон. — А теперь, прошу прощения, самое время начать придуманный мной розыгрыш и подшутить над старым самоуверенным профессором.

С этими словами демон оставил Мод на ребре кристалла льда, наподобие альпиниста, взгромоздившегося на горный хребет, и приступил к работе. Вооружившись инструментом наподобие теннисной ракетки, демон принялся отбивать пролетающие мимо молекулы. Быстро перемещаясь с места на место, он поспевал вовремя, чтобы отбить упрямую молекулу, упорно продолжавшую двигаться в неправильном направлении. Несмотря на опасность своего положения Мод не могла не восхищаться проворством и ловкостью демона и даже подбадривала его возгласами, когда ему удавалось отбить особенно быструю и трудную молекулу. По сравнению с тем, что вытворял демон, самые знаменитые чемпионы по теннису выглядели жалкими, безнадежно неуклюжими увальнями. Не прошло и нескольких минут, как результаты работы Демона стали заметны. Теперь, хотя часть поверхности жидкости была покрыта очень медленно движущимися спокойными молекулами, другая часть поверхности, расположенная прямо у Мод под ногами, кишела молекулами, яростно сновавшими по всем направлениям. Число молекул, покидавших поверхность в процессе испарения, быстро нарастало. Молекулы покидали жидкость большими группами по тысяче молекул и более, прорываясь сквозь поверхность жидкости в виде больших пузырей. Вскоре облако пара скрыло от Мод все и лишь время от времени она могла различить разящие взмахи ракетки и фалды фрака, в который был облачен демон, среди беснующихся молекул. Наконец, молекулы на том

фрагменте льда, на котором она восседала, поддались, и Мод стала падать сквозь тяжелые облака пара, расстилавшиеся под ней...



Когда облака рассеялись, Мод обнаружила, что сидит в том самом кресле, в котором сидела перед тем, как выйти в столовую.

— Святая энтропия! — воскликнул вдруг отец Мод, глядя на высокий бокал, стоявший перед мистером Томпкинсом. — Да

ведь жидкость кипит!

Действительно, жидкость в бокале покрылась лопающимися пузырями, и к потолку над бокалом медленно поднималась тонкое облачко пара. Было странно, однако, что напиток в стакане кипел лишь на сравнительно малом участке вокруг кубика льда. Весь остальной напиток был совершенно холодным.

— Нет, вы только подумайте! — продолжал профессор севшим от волнения дрожащим голосом. — Я рассказываю вам о статистических флуктуациях в возрастании энтропии, и, пожалуйста, такая флуктуация перед нами! В результате невероятного стечения обстоятельств впервые с сотворения Земли более быстрые молекулы случайно собрались на одном участке поверхности жидкости, и жидкость сама собой закипела! В ближайшие миллиарды лет мы с вами останемся единственными людьми, которым посчастливилось видеть это необычайное явление.

Профессор не отрывал глаз от напитка, который теперь медленно остывал.

— Какая удача! — вздохнул он с счастливой улыбкой. — Какое необыкновенное везение!

Мод улыбнулась, но ничего не сказала. Зачем ей было спорить с отцом, если на этот раз она точно знала, что истинная причина явления была известна ей лучше, чем ему.

Глава 4

Веселое племя электронов

Через несколько дней, заканчивая обед, мистер Томпкинс вспомнил, что вечером должна состояться лекция профессора о строении атома, которую он обещал посетить. Но маловразумительными объяснениями своего тестя мистер Томпкинс был сыт по горло, и поэтому решил пропустить лекцию и скоротать вечерок дома. Но когда он устраивался поудобнее в своем кресле, мечтая почитать интересную книгу, Мод отрезала этот путь к отступлению: взглянув на часы, она заявила мягко, но тоном, не допускающим возражений, что мистеру Томпкинсу пора отправляться на лекцию. И через каких-нибудь полчаса мистер Томпкинс сидел на жесткой деревянной скамье вместе с толпой гораздо более молодых студентов.

— Леди и джентльмены, — начал профессор, строго глядя на слушателей поверх очков, — на прошлой лекции я обещал вам подробнее рассказать о внутреннем строении атома и объяснить, каким образом те или иные конкретные особенности его строения обуславливают различные физические и химические свойства атома. Вы, конечно, знаете, что атомы не рассматриваются более как элементарные неделимые составные части материи и что эта роль ныне перешла к гораздо меньшим частицам — электронам, протонам и т. д.

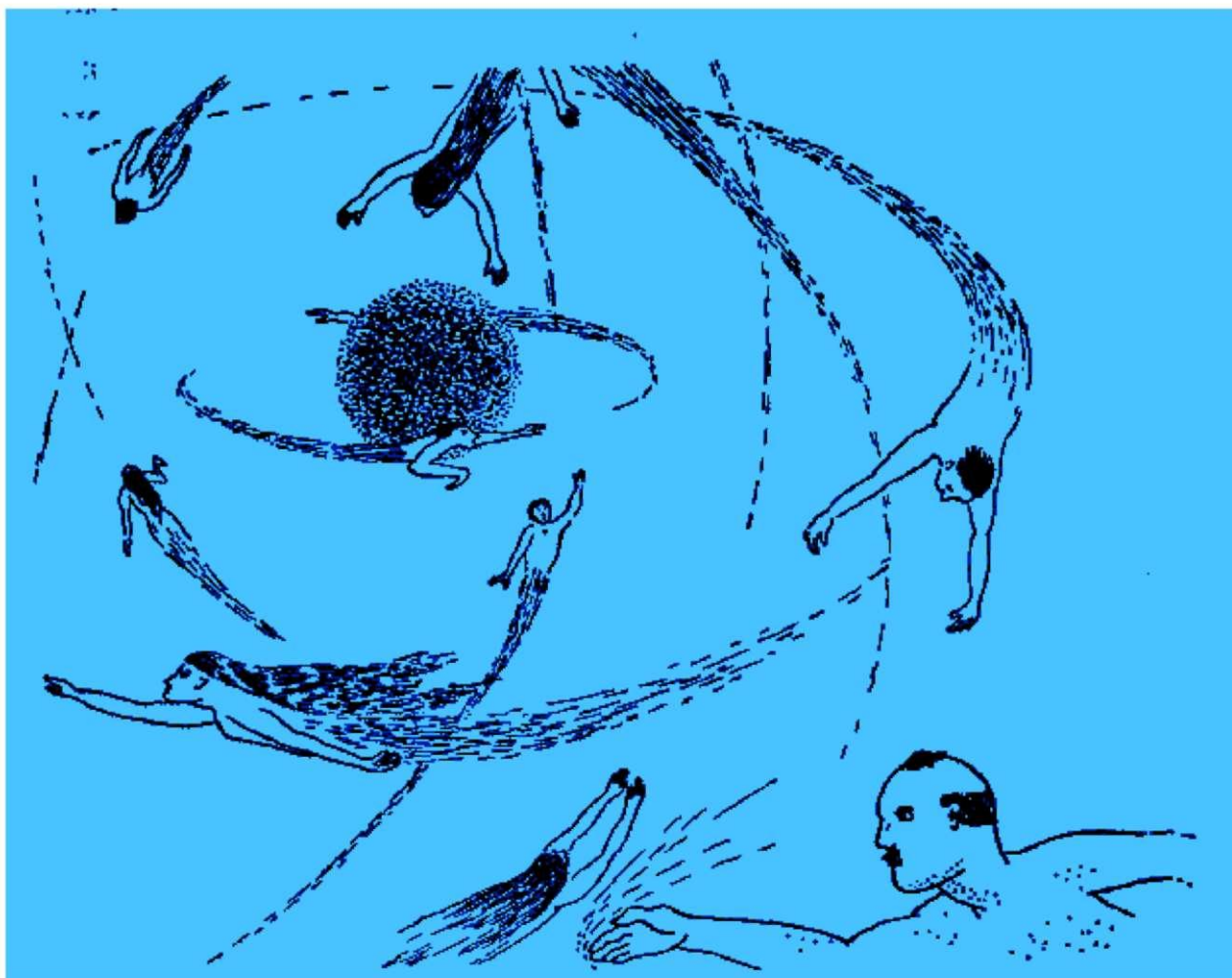
Представление об элементарных составляющих материи как о последней ступени в делимости материальных тел восходит к древнегреческому философу Демокриту, жившему в IV веке до н. э. Размышляя о скрытой природе вещей, Демокрит пришел к проблеме строения материи и столкнулся с вопросом о том, может или не может существовать бесконечно малая порция материи. Поскольку в ту далекую эпоху любую проблему имели обыкновение решать лишь одним-единственным способом — с помощью чистого мышления и к тому же вопрос в то время находился далеко за рамками возможностей решения его экспериментальными методами, Демокрит в поисках правильного ответа опустил в глубины собственного разума. Исходя из некоторых довольно смутных философских соображений, он в конце концов пришел к выводу о том, что «немыслимо», чтобы материя безгранично делилась на все более и более мелкие порции, и что поэтому необходимо принять предположение о существовании «наименьших частиц, которые не допускают дальнейшего деления». Такие частицы Демокрит назвал атомами, что, как вы, возможно, знаете, означает по-гречески «неделимые».

Я отнюдь не хочу приуменьшать величие вклада Демокрита в развитие естественных наук, однако справедливости ради хотел бы обратить ваше внимание на то, что наряду с Демокритом и его последователями в древнегреческой философии существовала и другая школа, приверженцы которой считали, что процесс деления *неограниченно продолжаем*. Поэтому независимо от того, какой ответ на этот вопрос даст в будущем точное

естествознание, древнегреческой философии обеспечено почетное место в истории физики. Во времена Демокрита и даже много столетий спустя существование таких неделимых порций материи рассматривалось как чисто философская гипотеза, и только в XIX веке ученые решили, что им, наконец, удалось обнаружить те неделимые кирпичики материи, существование которых было предсказано древнегреческими философами за две тысячи лет до разыгравшихся событий.

В 1808 г. английский химик Джон Дальтон установил так называемый закон кратных отношений. Он показал, что...

Почти с самого начала лекции мистера Томпкинса неудержимо клонило в сон. Ему очень хотелось сомкнуть глаза и, пребывая в приятной дремоте, досидеть до конца лекции, но мешала лишь суровая жесткость университетской скамьи. Но открытый Дальтоном закон кратных отношений оказался последней соломинкой, переломившей спину верблюду, и в притихшей аудитории вскоре можно было отчетливо различить тонкое посвистывание, доносившееся из угла, где сидел мистер Томпкинс.



Когда мистер Томпкинс очнулся от сна, неудобство сидения на жесткой скамье сменилось приятным ощущением парения в воздухе. Открыв глаза, мистер Томпкинс с удивлением обнаружил, что мчится в пространстве с легкомысленно, как ему показалось, большой скоростью. Оглянувшись по сторонам, мистер Томпкинс увидел, что он не одинок в своем фантастическом путешествии. Неподалеку от него несколько расплывчатых смутных существ обращались вокруг большого тяжелого на вид объекта в центре хоровода. Это странные призрачные существа мчались парами, весело гоняясь друг за другом по круговым и эллиптическим траекториям. Внезапно мистер Томпкинс почувствовал себя очень одиноким, осознав, что лишь у него одного нет партнера.

— Почему я не взял с собой Мод? — тоскливо подумал мистер Томпкинс. — Мы бы чудесно провели время в этом хороводе.

Траектория, по которой двигался мистер Томпкинс, пролегла в стороне от траекторий остальных существ, охватывая их снаружи, и хотя мистеру Томпкинсу очень хотелось присоединиться к остальной компании, неприятное чувство постороннего удерживало и мешало ему сделать шаг навстречу веселым путешественникам. Однако когда одному из электронов (к тому времени мистер Томпкинс окончательно понял, что непостижимым и чудесным образом присоединился к сообществу электронов, населявших какой-то атом) случилось пролететь неподалеку от него по сильно вытянутой орбите, мистер Томпкинс решил пожаловаться на свои неудачи.

— Почему у меня нет партнера для игр и забав? — прокричал он вслед электрону.

— Потому, что это нечетный атом, а вы валентный электро-о-н, — донеслось в ответ. С этими словами электрон повернул и устремился в толпу пляшущих электронов.

— Валентные электроны живут в одиночку или находят себе компаньонов в других атомах, — пропищал высоким фальцетом другой электрон, проносясь мимо мистера Томпкинса.

«Если нужен компаньон,
Знайте: в хлоре ждет вас он», —

насмешливо пропел третий.

— Вижу, вы здесь новичок, сын мой, и очень одиноки, — раздался над мистером Томпкинсом дружеский голос, и, возведя глаза горе, наш герой увидел плотную фигуру монаха в коричневой сутане.

— Я отец Паулини, — продолжал монах, двигаясь по траектории вместе с мистером Томпкинсом, — и моя миссия в этой жизни состоит в том, чтобы наблюдать за моралью и социальным поведением электронов в атомах и повсюду.

Мой долг — следить за тем, чтобы все эти беззаботные и игривые электроны были надлежащим образом распределены по различным квантовым кельям этого прекрасного атомного строения, воздвигнутого нашим великим архитектором Нильсом Бором. Дабы поддерживать порядок и сохранять свойства, я никогда не разрешаю находиться на одной и той же траектории более чем двум электронам. Стоит им собраться втроем, как хлопот не оберешься. Поэтому электроны всегда сгруппированы в пары с противоположным «спином», и если такая пара поселяется в келье, то третьему электрону не разрешается нарушать их покой. Это хорошее правило, и я могу добавить, что до сих пор ни один электрон не нарушил введенного мной распорядка.



— Может быть, это *очень* хорошее правило, — возразил мистер Томпкинс,

— но в данный момент я терплю из-за него большие неудобства.

— Вижу, сын мой, — улыбнулся монах, — но вам просто не повезло. Угораздило же вас стать валентным электроном в атоме с нечетным атомным номером. Атом натрия, которому вы принадлежите, обязан иметь из-за электрического заряда своего ядра (той большой темной массы, которую вы видите в центре) одиннадцать электронов. К величайшему сожалению для вас, одиннадцать — число нечетное, что само по себе не такая уж редкость, если принять во внимание, что ровно половина всех целых чисел нечетна и только другая половина четна. Так что вам придется как появившемуся последним по крайней мере какое-то время побыть одному.

— Вы хотите сказать, что позднее у меня, возможно, появится шанс обзавестись партнером? — с надеждой спросил мистер Томпкинс. — Например, выбить с орбиты кого-нибудь из электронов-первопоселенцев?

— Это делается не так, — возразил монах, грозя мистеру Томгасинсу коротким толстым пальцем, — но всегда есть шанс, что какой-нибудь из электронов, обращающихся по внутренним орбитам, будет выброшен внешним возмущением и оставит после себя не занятое место, или вакансию. Но на вашем месте я не стал бы на это особенно рассчитывать.

— Электроны сказали мне, что было бы лучше, если бы я проник в атом хлора, — сказал мистер Томпкинс, несколько обескураженный словами отца Паулини. — Можете ли вы посоветовать мне, как это лучше сделать?

— Молодой человек, молодой человек! — с сожалением покачал головой монах. — Ну что вам так не терпится найти компаньона? Почему вы не можете по достоинству оценить прелесть одиночества и насладиться этой ниспосланной небом возможностью созерцать с миром собственную душу? Почему четные электроны так сильно льнут к мирской жизни? Но если вы настаиваете на приобретении компаньона, я помогу вам осуществить ваше желание. Взглянув в том направлении, куда я указываю, вы увидите приближающийся к нам атом хлора, и даже со столь большого расстояния вы можете легко различить свободное место, где вас, несомненно, ожидает самый теплый прием. Это свободное место находится во внешней группе электронов, так называемой М-оболочке, которая состоит из восьми электронов, разбитых на четыре пары. Но, как вы видите, четыре электрона вращаются вокруг своих осей в одном направлении и только три — в другом, поэтому одно место остается вакантным. Внутренние оболочки, называемые К— и Z-оболочками, полностью заполнены, и атом будет рад заполучить вас и заполнить свою внешнюю оболочку. Как только два атома сблизятся, вы должны просто перепрыгнуть с одного атома на другой, как это обычно делают валентные электроны. Да будет мир с вами, сын мой!

С этими словами внушительная фигура электронного пастыря внезапно растворилась в разреженном воздухе.

Ободренный мистер Томпкинс собрался с силами и совершил головокружительный прыжок на орбиту пролетавшего мимо атома хлора. К своему удивлению, он приземлился на атоме хлора не без изящества и сразу же оказался в дружеском окружении электронов М-оболочки атома хлора.

— Добро пожаловать! Рады, что вы присоединились к нам! — обратился к нему новый партнер с противоположным спином, изящно скользя вдоль орбиты. — Теперь никто не может сказать, что наше сообщество неполно. Теперь мы можем великолепно повеселиться все вместе!

Мистер Томпкинс не мог не согласиться, что было действительно весело (веселье било через край!), но тут ему в голову закралась одна беспокойная мысль. — А как я объясню все это Мод, когда снова увижу ее?

Впрочем, чувство вины у мистера Томпкинса вскоре рассеялось.

— Мод вряд ли стала бы возражать, — решил он, — ведь в конце концов это лишь электроны.

— Почему покинутый вами атом не улетает прочь? — спросил у мистера Томпкинса с недовольной гримасой его компаньон. — Он все еще надеется на ваше возвращение?

Действительно, потеряв свой валентный электрон, атом натрия *накрепко* прилепился к атому хлора, как бы в надежде, что мистер Томпкинс передумает и снова вернется на свою орбиту, по которой он мчался в полном одиночестве.

— Нет, как вам это нравится! — сердито пробормотал мистер Томпкинс, хмуро глядя на атом, который поначалу принял его так холодно. — Не атом, а какая-то собака на сене!

— О, они всегда ведут себя так, эти атомы с нечетными номерами, — заметил более опытный член М-оболочки. — Насколько я понимаю, вашего возвращения жаждет не столько сообщество электронов атома натрия, сколько само ядро этого атома. Между центральным ядром и его электронным эскортом всегда существуют некоторые разногласия. Ядро хочет иметь вокруг себя столько электронов, сколько оно может удержать своим электрическим зарядом, в то время как сами электроны предпочитают быть в таком количестве, которое позволяет им до конца заполнять оболочки. Существует лишь несколько видов атомов, так называемые *редкие газы*, или, как называют их немецкие физики, *благородные газы*, в которых жажда власти со стороны атомного ядра и стремления подданных-электронов находятся в полной гармонии. Например, такие атомы, как гелий, неон и аргон очень довольны царящим в них согласием между ядром и электронами и никогда не изгоняют своих электронов и не приглашают новых. Они химически инертны и держатся в стороне от всех остальных атомов. Но во всех остальных атомах электронные сообщества всегда готовы обменяться своими членами. В атоме натрия, вашем прежнем обиталище, свита ядра насчитывает на один электрон больше, чем необходимо для гармонии

в оболочках. С другой стороны, в нашем атоме нормальная численность электронного населения недостаточна для полной гармонии, поэтому мы очень рады вашему прибытию, несмотря на то, что ваше присутствие перегружает наше ядро. Но куда вы остаетесь с нами, наш атом перестает быть нейтральным и получает дополнительный электрический заряд. Поэтому атом натрия, который вы покинули, прилип к нашему атому, удерживаемый силой электрического притяжения. Однажды мне довелось слышать нашего первосвященника отца Паулини, и он сказал, что атомные сообщества с лишними или недостающими электронами называются соответственно отрицательными и положительными *ионами*. Отец Паулини использовал также термин молекула для обозначения групп из двух или более атомов, удерживаемых вместе электрической силой. В частности, комбинацию из одного атома натрия и одного атома хлора отец Паулини назвал молекулой *поваренной соли*, хотя я решительно не понимаю, что бы это могло означать.

— Вы хотите сказать, будто не знаете, что такое поваренная соль? — удивленно спросил мистер Томпкинс, забыв о том, с кем он разговаривает. — Это тот самый белый порошок, которым вы за завтраком посыпаете яйцо всмятку.

— А что такое яйцо всмятку и что такое завтрак? — с интересом спросил электрон.

Мистер Томпкинс пробормотал что-то невнятное и тут только со всей ясностью понял всю тщетность любых попыток объяснить своим компаньонам даже самые незамысловатые детали повседневной жизни людей.

— Почему-то мне не удается почерпнуть для себя ничего нового из всех этих разговоров о валентности и заполненных оболочках, — сказал себе мистер Томпкинс, решив наслаждаться своим визитом в фантастический мир атома и не забивать себе голову непонятными вопросами. Но отделаться от разговорчивого электрона было не так-то легко. Собеседник мистера Томпкинса явно горел желанием передать своему партнеру все познания, накопленные за долгую электронную жизнь.

— Не следует думать, — продолжал электрон, — что связывание атомов в молекулы всегда осуществляется только одним валентным электроном. Существуют атомы, например, атомы кислорода, которым для достраивания их оболочек необходимо два электрона, а другим атомам для заполнения оболочек недостает три и даже более электронов. С другой стороны, в некоторых атомах ядро удерживает два или более лишних, или валентных, электронов. При столкновении таких атомов, многие электроны перепрыгивают с одного атома на другой, и в результате образуются весьма сложные молекулы, состоящие из тысяч атомов. Существуют также так называемые гомополярные молекулы, т. е. молекулы, состоящие из двух одинаковых атомов, но это очень неприятная ситуация.

— Неприятная, но почему? — спросил мистер Томпкинс, у которого вновь пробудился интерес к теме беседы.

— Слишком трудно удерживать их вместе, — пояснил электрон. — Как-то раз мне пришлось заниматься этим неблагоприятным делом, и пока я находился в гомополярной молекуле, у меня не было ни секунды покоя. Совсем другое дело в таком атоме, как наш, когда валентный электрон перепрыгнул себе и прочно привязал покинутый им атом к другому атому, испытывавшему электрический голод. Чтобы удерживать вместе два одинаковых атома, несчастному электрону приходится прыгать туда и обратно, с одного атома на другой и назад, снова на первый атом. Честное слово! Чувствуешь себя, как пинг-понговый шарик.

Мистер Томпкинс немало удивился, услышав от электрона, не знавшего, что такое яйцо всмятку, столь непринужденное упоминание о пинг-понговом шарике, но не стал задавать вопросов.

— Ни за что на свете я не согласился бы на такую работу опять! — проворчал ленивый электрон, подавляя в себе волну неприятных воспоминаний. — Здесь же мне вполне удобно и покойно.

— Минутку! — воскликнул он внезапно. — Кажется, я вижу местечко поудобнее. По-ка-а!

И гигантским прыжком электрон отправился куда-то в глубь атома.

Бросив взгляд в том направлении, в котором исчез его собеседник, мистер Томпкинс понял, что произошло. Один из находившихся на внутренней оболочке электронов был вырван из атома каким-то чужим электроном, неожиданно проникшим извне в оболочку с высокой скоростью, и в К-оболочке образовалось уютное свободное местечко. Ругая себя за упущенную возможность присоединиться к электронам внутренней оболочки, мистер Томпкинс с огромным интересом наблюдал за полетом электрона, с которым только что беседовал. Счастливый электрон все глубже и глубже внедрялся внутрь атома, и яркие лучи света сопровождали его триумфальный полет. Лишь когда электрон достиг внутренней оболочки, это почти нестерпимое сияние прекратилось.

— Что это было? — спросил мистер Томпкинс, ослепленный неожиданно открывшимся ему зрелищем нового, неизвестного ранее явления. — Откуда весь этот блеск?

— О, это всего лишь испускание гамма-излучения, связанное с переходом с одной орбиты на другую, — пояснил партнер по орбите, улыбаясь при виде растерянности мистера Томпкинса. — Всякий раз, когда один из нас проникает глубже внутрь атома, лишняя энергия непременно испускается в виде излучения. Этот счастливец совершил гигантский прыжок и испустил при этом огромную энергию. Гораздо чаще нам приходится довольствоваться меньшими прыжками на окраине атома, и испускаемое нами излучение называется «видимым светом». По крайней мере так называет его отец Паулини.

— Но гамма-излучение, или как там вы его называете, также видимо, — возразил мистер Томпкинс. — Мне кажется, что ваша терминология способна лишь вводить в заблуждение.

— Видите ли, мы электроны и чувствительны ко всякого рода излучению. Но отец Паулини рассказывал нам о том, что существуют гигантские существа, или как он их называл, люди, которые могут видеть излучение только в узком интервале энергий, или как любит говорить отец Паулини, интервале длин волн. В одной из своих проповедей отец Паулини упомянул о том, что великий человек по имени, кажется, Рентген открыл гамма-излучение, или рентгеновское излучение, и теперь оно широко используется в чем-то, что люди называют медициной.

— Я довольно хорошо осведомлен об этом, — заметил мистер Томпкинс, ощущая гордость при мысли, что и ему есть что поведать другому. — Хотите, я расскажу вам немало интересного об этой самой медицине?

— Нет, благодарю вас, — ответил электрон, широко зевая. — Мне как-то все равно. Разве вы не можете быть счастливы, если не будете говорить о медицине? Догоняйте меня!

Довольно долго мистер Томпкинс наслаждался приятным ощущением свободы, совершая вместе с другими электронами удивительнейшие перелеты в пространстве, словно искусный акробат, перелетающий с трапеции на трапецию. Внезапно он ощутил, что его волосы поднялись дыбом. Подобное ощущение ему приходилось испытывать и раньше во время грозы в горах. Мистеру Томпкинсу стало ясно, что к их атому приближается какое-то сильное электрическое возмущение, нарушающее гармонию движения электронов и заставляющее электроны существенно отклоняться от их обычных орбит. С точки зрения физика-человека возмущение представляло собой волну ультрафиолетового света, проходившую через то место, где находился атом, но с точки зрения крохотных электронов это была сильнейшая электрическая гроза.

— Держитесь крепче, — прокричал мистеру Томпкинсу один из его компаньонов, — иначе вас оторвут силы фотоэффекта!

Но было слишком поздно. Мистера Томпкинса оторвало от партнера и, закрутив, с чудовищной скоростью бросило в пространство. Ощущение было такое, словно его схватили чьи-то сильные пальцы. Бездыханный, он уносился все дальше и дальше в пространство, пролетая сквозь всякого рода различные атомы так быстро, что едва успевал разглядеть отдельные электроны. Внезапно прямо перед ним показался большой атом, и мистер Томпкинс понял, что столкновение неизбежно.

— Прошу извинить, но меня зафотоэффектило и я не могу... — вежливо начал мистер Томпкинс, но остаток фразы потонул в оглушительном треске, с которым мистер Томпкинс врезался в один из внешних электронов. Оба участника столкновения кувырком полетели в разные стороны. Однако мистер Томпкинс

потерял при столкновении значительную часть своей скорости и теперь мог более детально обследовать свое новое окружение. Громоздившиеся вокруг атомы были гораздо больше тех, которые ему приходилось видеть прежде, и в каждом из атомов мистер Томпкинс насчитал по двадцать девять электронов. Если бы Томпкинс лучше разбирался в физике, то он распознал бы в них атомы меди, но со столь близкого расстояния атомы совсем не походили на медь. Они были расположены вплотную друг к другу и образовывали правильный узор, простиравшийся до самого горизонта. Но более всего мистера Томпкинса удивило то, что эти атомы, по-видимому, не особенно стремились удерживать при себе свою долю электронов, в особенности внешних электронов. Внешние орбиты почти всех атомов были пусты, а толпы кочующих электронов лениво бродили по всему пространству, время от времени останавливаясь, но нигде не задерживаясь подолгу, на окраине то одного, то другого атома. Утомленный головокружительным полетом через пространство мистер Томпкинс попытался сначала немного отдохнуть на стационарной, т. е. не подверженной каким-либо временным изменениям, орбите одного из атомов меди, но вскоре поддался бродяжническим настроениям толпы и присоединился к остальным электронам в их бесцельных блужданиях.

— Порядок здесь оставляет желать лучшего, — прокомментировал про себя мистер Томпкинс. — Слишком много электронов шатаются без дела. Я считаю, что отцу Паулини следовало бы навести порядок.

— Почему вы думаете, что я должен вмешаться? — раздался знакомый голос монаха, который внезапно материализовался из ничего. — Все эти электроны отнюдь не нарушают моих предписаний и к тому же делают очень полезное дело. Может быть, вам будет небезынтересно узнать, что если бы все атомы стремились удержать при себе свои электроны, как это делают некоторые из них, то не было бы такого явления, как проводимость. У вас в доме не было бы электрического дверного звонка, не говоря уже об электрическом освещении и телефоне.

— Вы хотите сказать, что бродячие электроны переносят электричество? — спросил мистер Томпкинс, цепляясь за надежду, что разговор пойдет о более или менее знакомом предмете. — Но что-то я не вижу, чтобы они двигались в каком-то определенном направлении.

— Прежде всего, друг мой, — сурово промолвил монах, — не говорите «они», «мы» звучит гораздо лучше. Должно быть, вы забыли, что вы сами также принадлежите к племени электронов и что стоит кому-нибудь нажать кнопку звонка, с которым соединена эта медная проволока, как электрическое напряжение заставит вас вместе с другими электронами проводимости опрометью броситься, чтобы вызвать горничную или выполнить какую-нибудь другую службу.

— Но я не хочу делать этого! — твердо заявил мистер Томпкинс не без раздражения в голосе. — И вообще я устал быть электроном и не вижу в этом более ничего привлекательного. Что за жизнь вечно выполнять все эти электронные обязанности!

— Не обязательно вечно, — возразил отец Паулини, которому явно не понравилось непослушание со стороны простых электронов. — У вас всегда есть шанс быть уничтоженным и прекратить существование.

— Б-б-быть уничтоженным? — повторил мистер Томпкинс, чувствуя, как по спине у него ползут мурашки. — Но я всегда думал, что электроны вечны!

— Физики тоже так думали вплоть до недавнего времени, — согласился отец Паулини, явно забавляясь эффектом, произведенным его словами, — но подобная точка зрения оказалась не вполне верной. Электроны могут рождаться и умирать, как люди. Разумеется, электрон не может умереть от старости, она наступает при столкновениях.

— Но я пережил столкновение лишь недавно, и, должен вам сказать, претяжелое это было столкновение, — сказал мистер Томпкинс, вновь обретая некоторую уверенность. — Если и такое столкновение не вывело меня из строя, то каким же оно должно быть, чтобы уничтожить меня?

— Вопрос не в том, как сильно вы сталкиваетесь, — поправил мистера Томпкинса отец Паулини, — а в том, с кем вы сталкиваетесь. В своем недавнем столкновении вы, вероятно, наскочили на другой отрицательно заряженный электрон, очень похожий на вас. Такие столкновения не таят в себе никакой опасности. Вы, электроны, можете сталкиваться друг с другом сколько угодно, как два барана, это не причинит никому из вас ни малейшего вреда. Но существует другая разновидность электронов — положительные электроны, лишь сравнительно недавно открытые физиками. Эти положительно заряженные электроны, или позитроны, выглядят в точности так же, как вы, с тем лишь отличием, что их электрический заряд положителен, тогда как ваш отрицателен. При виде приближающегося к вам позитрона вы полагаете, что перед вами один из невинных ваших соплеменников и устремляетесь навстречу, чтобы приветствовать его. Но тут вы внезапно ощущаете, что встречный электрон не отталкивает вас слегка, чтобы избежать столкновения, как это сделал бы любой нормальный электрон, а притягивает вас к себе и тогда сделать что-нибудь поздно.

— Ужасно! — воскликнул мистер Томпкинс. — И сколько несчастных обычных электронов может поглотить один позитрон?

— К счастью, только одного, поскольку уничтожая отрицательно заряженный электрон, позитрон гибнет и сам. Позитроны можно описать как членов клуба самоубийц, ищущих партнеров по взаимоуничтожению. Они не причиняют вреда друг другу, но стоит лишь какому-нибудь отрицательно заряженному электрону встретиться им на пути, как шансов уцелеть у него очень мало.

— К счастью, до сих пор мне не попадались эти чудовища, — произнес мистер Томпкинс, на которого слова отца Паулини произвели сильное впечатление. — Надеюсь, они не слишком многочисленны?

— Не слишком. По той простой причине, что всегда ищут себе неприятностей и погибают вскоре после рождения. Впрочем, подождите минуточку, я, кажется, смогу показать вам один позитрон, — продолжал отец Паулини после короткой паузы. — Если вы внимательно взглянете вон в то ядро, то увидите, как рождается один из позитронов.

Атом, на который указывал отец Паулини, претерпевал сильное электромагнитное возмущение из-за упавшего на него извне сильного излучения. Возмущение было гораздо более сильным, чем то, которое выбило мистера Томпкинса из атома хлора, и семейство атомных электронов, окружавших ядро, было рассеяно и унесено прочь, как сухие листья ураганом.

— Взгляните внимательно в ядро, — сказал отец Паулини, и, сосредоточив все свое внимание, мистер Томпкинс увидел необычное явление, происходившее в глубинах разрушенного атома. Вблизи ядра, в глубине внутренней электронной оболочки, две смутные тени постепенно обретали все более отчетливые очертания, и секундой позже мистер Томпкинс увидел два блестящих, новеньких с иголки электрона, с огромной скоростью разлетающихся от места своего рождения.

— Но я вижу две частицы, а не одну, — сказал мистер Томпкинс, захваченный открывшимся ему зрелищем.



— Совершенно верно, — согласился отец Паулини. — Электроны всегда рождаются парами, иначе рождение электронов противоречило бы закону сохранения электрического заряда. Одна из этих двух частиц, родившихся под действием

сильного гамма-излучения на ядро, — обычный электрон с отрицательным зарядом, другая частица — электрон с положительным зарядом, или позитрон-убийца. Теперь он рыщет по пространству в поисках жертвы.

— Ну что ж, — задумчиво произнес мистер Томпкинс, — если рождение каждого позитрона, которому на роду написано стать убийцей электрона, сопровождается рождением одного обычного электрона, то дела обстоят не так уж плохо. По крайней мере не приходится опасаться за исчезновение электронного племени, и я...

— Осторожно! — прервал мистера Томпкинса отец Паулины, отталкивая своего собеседника в сторону, в то время как новорожденный позитрон со свистом пронесся в каком-нибудь дюйме от них. — Нужно все время быть начеку, когда эти убийственные частицы находятся где-то поблизости. Но, простите, я слишком задержался, беседуя с вами, и меня ждут другие дела. Мне необходимо навестить милых моему сердцу *нейтрино* ...

И отец Паулины исчез, оставив мистера Томпкинса в неведении относительно того, что такое нейтрино и следует ли их опасаться. Лишившись духовного отца, мистер Томпкинс почувствовал себя еще более одиноким, чем прежде, и всякий раз, когда на его долгом пути через пространство; к нему приближался тот или иной соплеменник-электрон, в сердце мистера Томпкинса начинала теплиться надежда на то, что под невинной внешностью может скрываться сердце убийцы. Время тянулось нестерпимо медленно (мистеру Томпкинсу казалось, что прошло несколько столетий), а его надеждам и чаяниям все никак не суждено было сбыться, и мистеру Томпкинсу не оставалось ничего другого, как исполнять скучные обязанности электрона проводимости.

Все произошло совершенно неожиданно, когда мистер Томпкинс менее всего рассчитывал встретить позитрон. Ощущая острую потребность побеседовать с кем-нибудь, даже с каким-нибудь глупым электроном проводимости, он приблизился к частице, медленно пролетавшей мимо и явно бывшей новичком в данной части медной проволоки. Но даже на расстоянии мистер Томпкинс понял, что ошибся в выборе собеседника и что неодолимая сила притяжения увлекает его, не давая отступить ни на шаг. Какой-то миг он пытался бороться и вырваться, но расстояние между ним и другой частицей все сокращалось, и мистеру Томпкинсу показалось, что он уже видит торжествующую улыбку на лице своего противника.

— Пустите меня! Пустите меня немедленно! — закричал мистер Томпкинс во весь голос, изо всех сил отбиваясь руками и ногами. — Я не хочу аннигилировать! Я хочу вечно проводить электрический ток!

Но все было тщетно, и окружающее пространство внезапно озарилось ослепительной вспышкой сильнеешего излучения.

— Итак, меня больше нет, — подумал мистер Томпкинс, — но как же в таком случае я могу мыслить? Может быть аннигилировало только мое тело, а душа моя улетела на квантовые небеса?

Тут он ощутил новую силу, на этот раз действовавшую мягче, которая твердо и решительно трясла его. Открыв глаза, мистер Томпкинс увидел перед собой университетского служителя.

— Простите, сэра, — сказал тот, — но лекция уже давно закончилась и нам нужно закрыть аудиторию.

Мистер Томпкинс с трудом подавлял зевоту и чувствовал себя весьма неловко.

— Спокойной ночи, сэра, — пожелал ему служитель с сочувственной улыбкой.

Глава 4. 1/2

Часть предыдущей лекции, которую проспал мистер Томпкинс

В 1908 г. английский физик Джон Дальтон открыл закон кратных отношений. Он показал, что относительные пропорции различных химических элементов, необходимых для образования более сложных химических веществ, всегда могут быть выражены как отношения целых чисел и объяснил свой закон тем, что все сложные химические вещества состоят из различного числа частиц, соответствующих простым химическим элементам. Безуспешные попытки средневековой алхимии превратить один химический элемент в другой служат еще одним доказательством кажущейся неделимости мельчайших частиц вещества, которые без особых колебаний были названы своим древнегреческим именем — атомы. Данное единожды, это название закрепилось, и хотя теперь твердо установлено, что атомы Дальтона отнюдь не неделимы и в действительности состоят из большого числа более мелких, субатомных частиц, обычно мы предпочитаем закрывать глаза на филологическую непоследовательность этого названия.

Итак, то, что в современной физике принято называть атомами, отнюдь не является элементарными и неделимыми составными частями материи, о которых говорил в своих умоглядных построениях Демокрит, и термин «атом» был бы более обоснован применительно к более мелким субатомным частицам, таким как электроны и протоны, из которых состоят атомы Дальтона. Но такое изменение терминологии породило бы слишком большую путаницу, и ни один физик не заботится особенно о филологической непоследовательности существующей ныне терминологии. Поэтому мы употребляем старое название «атомы» в том же смысле, в каком его употреблял **Дальтон**, а электроны, протоны и другие субатомные единицы материи называем *элементарными частицами*.

Это название свидетельствует о том, что в настоящее время мы считаем эти субатомные частицы действительно элементарными и неделимыми в смысле Демокрита, и вы, естественно, можете спросить у меня, не повторится ли история

и не выяснится ли в ходе дальнейшего развития современной физики, что так называемые элементарные частицы в действительности обладают весьма сложной внутренней структурой. Мой ответ состоит в том, что хотя нет абсолютной гарантии, что ничего такого не произойдет, имеются достаточно веские основания полагать, что на этот раз мы не ошиблись. Действительно, существуют девяносто две разновидности атомов (соответствующие девяносто двум различным химическим элементам), и каждый такой атом обладает весьма сложными характерными свойствами. В подобной ситуации само собой напрашивается упрощение — стремление свести сложную картину к более простой. С другой стороны, в современной физике известны лишь несколько различных типов элементарных частиц: *электроны* (отрицательно и положительно заряженные легкие частицы),

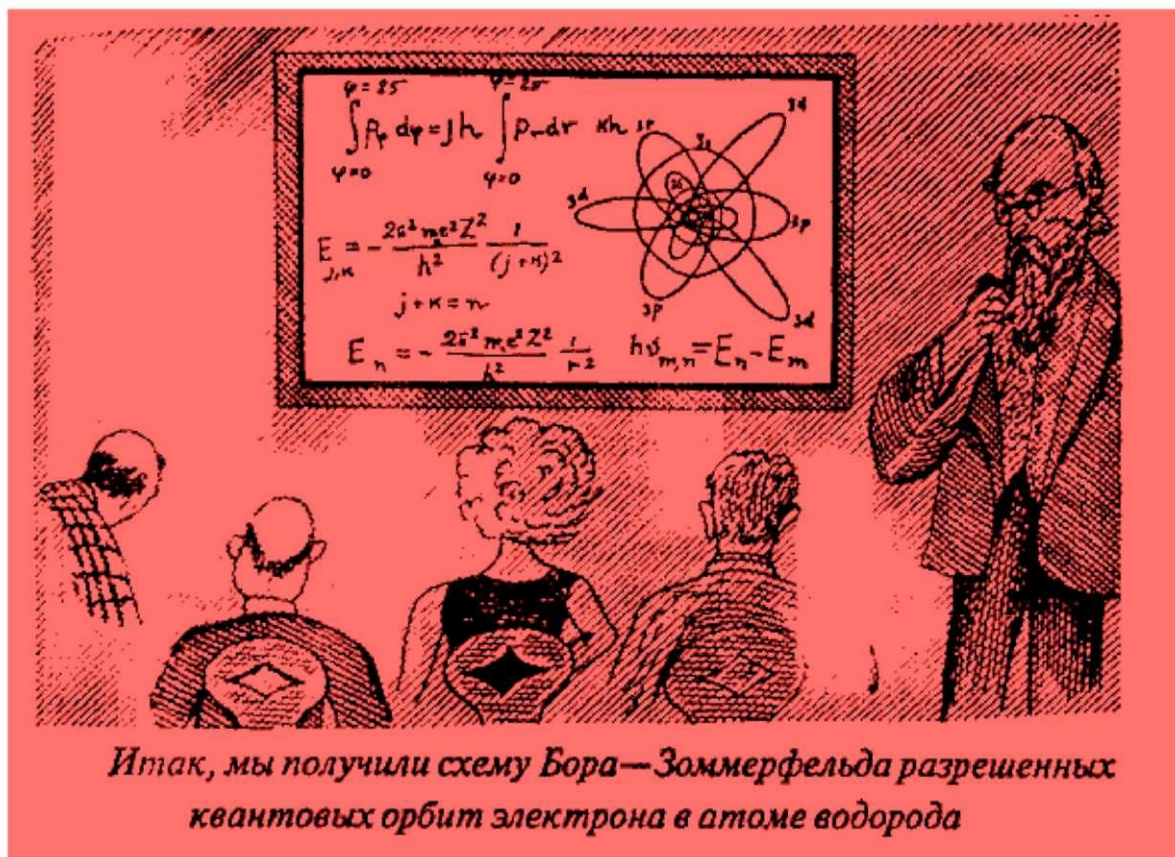
нуклоны (заряженные или нейтральные тяжелые частицы, известные под названием *протонов* и *нейтронов*) и, возможно, так называемые *нейтрино*, природа которых полностью не выяснена.

Свойства этих элементарных частиц чрезвычайно просты, и дальнейшее деление материи не приведет к сколько-нибудь существенному упрощению. Кроме того, как вы понимаете, всегда необходимо иметь несколько элементарных понятий, с которыми можно было бы играть, если вы хотите построить нечто более сложное. Два или три таких элементарных понятия — отнюдь не много. Я считаю, что вы можете спокойно поставить последний доллар, держа пари, что элементарные частицы современной физики останутся достойными своего названия.

Но вернемся к вопросу о том, каким образом атомы Дальтона построены из элементарных частиц. Первый правильный ответ на этот вопрос был дан в 1911 г. знаменитым британским физиком Эрнестом Резерфордом (впоследствии Резерфорд лорд Нельсон). Резерфорд исследовал строение атома, бомбардируя различные атомы быстро движущимися крохотными снарядами, известными под названием *альфа-частицы*, испускаемыми при распаде радиоактивных элементов. Наблюдая за отклонениями (рассеянием) снарядов после прохождения кусочка материи (листочка фольги), Резерфорд пришел к выводу, что все атомы должны обладать очень плотной положительно заряженной сердцевиной (атомным ядром), окруженной гораздо более разреженным отрицательно заряженным облаком (атомной атмосферой). Ныне мы знаем, что атомное ядро состоит из определенного числа протонов и нейтронов, известных под собирательным названием нуклонов. Нуклоны тесно связаны между собой сильными силами сцепления. Атомная атмосфера состоит из различного числа отрицательно заряженных электронов, которые роем окружают атомное ядро под действием электростатического притяжения его положительного заряда. Число электронов, образующих атомную атмосферу, определяет все физические и химические свойства атома и изменяется вдоль естественной последовательности химических элементов от одного электрона (для водорода) до девяносто двух электронов (для самого тяжелого из известных элементов урана).

Несмотря на кажущуюся простоту атомной модели Резерфорда, ее детальный анализ оказался далеко не простым. Действительно, согласно одному из наиболее глубоко укоренившихся представлений классической физики, отрицательно заряженные электроны, обращаясь вокруг атомного ядра, должны терять свою энергию в виде испускаемого ими излучения (света). Как показывают вычисления, из-за постоянных потерь энергии все электроны, образующие атомную атмосферу, должны были бы за ничтожно малую долю секунды упасть на ядро. Это, казалось бы, вполне здравое рассуждение классической теории находится в резком противоречии с тем эмпирическим фактом, что атомные атмосферы очень стабильны и атомные электроны не падают на ядро, а бесконечно долго кружатся роем вокруг центрального тела. Таким образом, между основными представлениями классической механики и эмпирическими данными относительно механического поведения крохотных составных частей мира атомов возникает глубокое противоречие. Размышления над этим противоречием привели известного датского физика Нильса Бора к заключению, что классическая механика, на протяжении столетий претендовавшая на особое незыблемое положение в системе естественных наук, должна отныне рассматриваться как ограниченная теория, применимая к макроскопическому миру повседневного опыта, но утрачивающая силу при попытке применить ее к гораздо более тонким типам движения происходящего внутри различных атомов. В качестве пробного фундамента новой обобщенной механики, применимой и к движению крохотных подвижных частей атомного механизма, Бор предложил гипотезу о том, что *из всего бесконечного разнообразия типов движения*, рассматриваемых в классической механике, в природе реализуется только несколько специально выбранных типов. Эти разрешенные типы движения (называемые также разрешенными траекториями, или орбитами) отбираются в соответствии с определенными математическими условиями, известными под названием *условий квантования* в теории Бора. Я не стану входить здесь в подробное обсуждение этих условий квантования, но хочу лишь упомянуть об одном обстоятельстве: все эти условия выбраны таким образом, что налагаемые ими ограничения не имеют практического значения в тех случаях, когда масса движущейся частицы во много раз больше масс, с которыми мы встречаемся в структуре атома. Следовательно, применительно к макроскопическим телам новая *микромеханика* приводит к тем же результатам, что и старая классическая теория (*принцип соответствия*) и только при переходе к микроскопическим атомным механизмам разногласия между старой и новой теориями становятся существенными. Не вдаваясь в детали, я хочу удовлетворить ваше любопытство и продемонстрировать строение атома с точки зрения теории Бора, а именно схему расположения квантовых орбит в атоме по Бору (первый слайд, пожалуйста!). Вы видите (см. рис. на с. 163), разумеется, в сильно увеличенном масштабе, систему круговых и эллиптических орбит. Они представляют единственно «разрешенные» условиями квантования Бора типы движений для электронов, образующих атомную атмосферу. В то время как классическая механика разрешает электрону двигаться *на любом* расстоянии от ядра и не накладывает ограничений на эксцентриситет (т. е. на удлинение, или вытянутость) орбиты, разрешенные

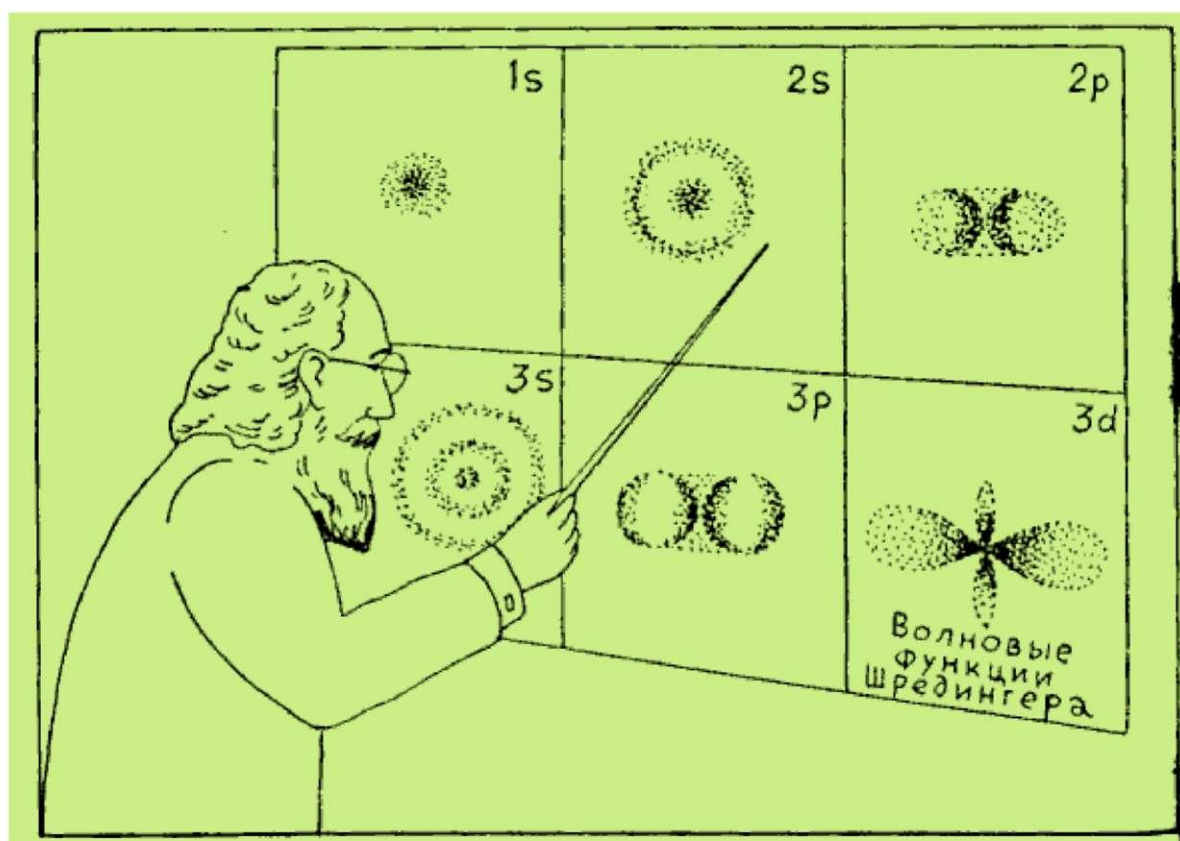
орбиты в теории Бора образуют дискретное множество с вполне определенными характерными размерами. Числа и латинские буквы, стоящие у каждой орбиты, указывают название соответствующей орбиты в общей классификации. Вы можете, например, заметить, что большие числа соответствуют орбитам с большими диаметрами.



Хотя предложенная Бором теория строения атома оказалась необычайно плодотворной для объяснения различных свойств атомов и молекул, основное понятие — дискретная квантовая орбита — оставалось весьма неясным, и чем глубже физики пытались вникнуть в анализ столь необычного ограничения классической теории, тем более неясной становилась общая картина.

Наконец, физики осознали, в чем именно заключается слабая сторона теории Бора: вместо основательной *перестройки* классической механики теория Бора просто наложила *ограничения* на ее результаты, введя дополнительные условия, в принципе чуждые всей структуре классической теории. Правильное решение всей проблемы было получено лишь тринадцать лет спустя в виде так называемой *волновой механики*, изменившей самые основы классической механики в соответствии с новым квантовым принципом. Несмотря на то, что на первый взгляд система волновой механики может показаться еще более «сумасшедшей», чем теория Бора, эта новая микромеханика представляет собой одну из наиболее последовательных и признанных частей современной

теоретической физики. Поскольку фундаментальный принцип новой механики и, в частности, понятия «неопределенность» и «расплывание траекторий» были рассмотрены мной в одной из предыдущих лекций, я обращаюсь теперь к вашей памяти или к вашим конспектам и хотел бы вернуться к проблеме строения атома. На схеме, которую вы сейчас увидите (следующий слайд, пожалуйста!) (см. рис. внизу), изображено движение атомных электронов, рассматриваемое с позиций волновой механики, или с точки зрения «расплывания орбит». Вы видите здесь те же самые типы движения, которые в рамках классической теории были представлены на предыдущем слайде (единственное различие состоит лишь в том, что по чисто техническим причинам каждый тип движения теперь изображен отдельно), но вместо четких линий, изображающих траектории в теории Бора, теперь перед нами расплывчатые пятна в полном согласии с фундаментальным *принципом неопределенности*. Различные состояния движения имеют такие же обозначения, как на предыдущем слайде, и сравнивая оба слайда, вы заметите, если слегка напряжете воображение, что расплывчатые облака на втором слайде очень точно передают общие характерные особенности старых орбит Бора.



Оба слайда отчетливо показывают, что происходит с добрыми старомодными траекториями классической механики, когда в игру вступает квант, и хотя человеку непосвященному все это может показаться фантастическим сном,

ученые, работающие в микрокосмосе атомов, не испытывают особых трудностей в восприятии такой картины.

Завершив на этом краткий обзор возможных состояний движения в электронной атмосфере атома, мы обращаемся теперь к важной проблеме, касающейся распределения различных атомных электронов по различным допустимым состояниям движения. Здесь мы сталкиваемся с новым принципом, совершенно неизвестным в макроскопическом мире. Этот принцип впервые был сформулирован моим молодым другом Вольфгангом Паули. Он утверждает, что *в сообществе электронов данного атома никакие два электрона не обладают движением одного и того же типа*. Это ограничение не имело бы особого значения, если бы число возможных движений было бесконечно велико, как в классической механике. Но поскольку правила квантования существенно уменьшают число «разрешенных» состояний движения, принцип Паули играет очень важную роль в атомном мире: он обеспечивает более или менее равномерное распределение электронов вокруг атомного ядра и мешает электронам скапливаться в каком-то одном месте.

Но из приведенной выше формулировки нового принципа не следует делать вывода о том, что расплывчатые квантовые состояния движения, изображенные на втором слайде, могут быть «заняты» только одним электроном. Действительно, помимо движения по орбите каждый электрон обладает *спином*, т.е. вращается вокруг собственной оси, и доктора Паули отнюдь не разочарует, если два электрона окажутся на одной орбите, если их спины будут направлены в противоположные стороны. Исследование спина электронов показывает, что скорость вращения электронов вокруг собственной оси всегда одна и та же и что направление спина всегда должно быть перпендикулярно плоскости орбит. Это означает, что возможны только два различных направления спина, которые соответственно можно считать происходящими «по часовой стрелке» и «против часовой стрелки».

Таким образом, применительно к квантовым состояниям принцип Паули может быть сформулирован следующим образом: *в каждом квантовом состоянии движения могут находиться не более двух электронов*, спины которых должны быть направлены в противоположные стороны. Проходя всю естественную последовательность элементов к атомам со все большим и большим числом электронов, мы обнаружим, что различные квантовые состояния движения постепенно заполняются электронами и диаметр атома монотонно возрастает. В этой связи нельзя не упомянуть о том, что с точки зрения силы связи различные квантовые состояния атомных электронов могут быть объединены в отдельные группы (или оболочки) с приблизительно равной силой связи. По мере продвижения вдоль естественной последовательности элементов, мы видим, что одна группа заполняется за другой и в результате последовательного заполнения электронных оболочек свойства атомов периодически изменяются. Это объясняет хорошо известную периодичность свойств элементов, открытую

эмпирически знаменитым русским химиком Дмитрием Ивановичем Менделеевым.

Глава 5

Внутри ядра

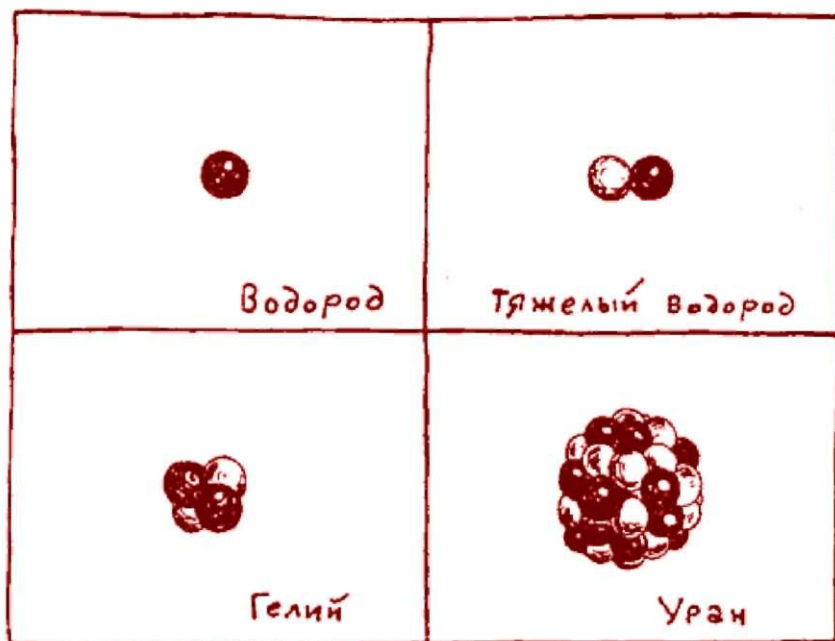
Следующая лекция, которую посетил мистер Томпкинс, была посвящена внутреннему строению ядра как центра, вокруг которого вращаются атомные электроны.

— Леди и джентльмены, — начал профессор. — Все более углубляясь в строение материи, мы попытаемся теперь проникнуть нашим мысленным взором внутрь ядра, в загадочную область, занимающую лишь одну тысячную от миллиардной доли общего объема атома. И все же, несмотря на столь невероятно малые размеры новой области наших исследований, мы обнаружили в ней самую оживленную деятельность. Ведь атомное ядро — сердце атома, и именно в нем, несмотря на сравнительно малые размеры, сосредоточено 99,97% всей массы атома.

Вступая в область атомного ядра после сравнительно бедно населенной электронной атмосферы атома, мы сразу же будем поражены ее необычной перенаселенностью. Если электроны атомной атмосферы движутся в среднем на расстояниях, превышающих их собственный диаметр примерно в несколько тысяч раз, то частицы, живущие внутри ядра, буквально теснились бы плечом к плечу, будь у них плечи. В этом смысле картина, которая открывается нам внутри ядра, очень напоминает картину обыкновенной жидкости с тем лишь различием, что внутри ядра мы вместо молекул встречаем гораздо более мелкие и гораздо более элементарные частицы, известные под названием *протоны* и *нейтроны*. Уместно заметить, что, несмотря на различные имена, протоны и нейтроны можно рассматривать просто как два различных зарядовых состояния одной и той же тяжелой элементарной частицы, известной под названием нуклон. Протон представляет собой положительно заряженный нуклон, нейтрон — электрически нейтральный нуклон. Не исключена возможность, что существуют также отрицательно заряженные нуклоны, хотя их пока никто не наблюдал. Что касается их геометрических размеров, нуклоны не слишком отличаются от электронов: диаметр нуклона составляет около 0,000 000 000 0001 см. Однако нуклоны гораздо тяжелее: на чашках весов протон или нейтрон можно уравновесить 1840 электронами. Как я уже говорил, частицы, образующие атомное ядро, упакованы очень плотно и это объясняется действием особых *ядерных сил сцепления*, аналогичных силам, действующим между молекулами в жидкости. Так же как в жидкости силы ядерного сцепления не дают нуклонам полностью отделиться друг от друга, но не мешают относительным перемещениям нуклонов. Таким образом, ядерная материя в какой-то степени

обладает текучестью и, не будучи возмущаема внешними силами, принимает форму сферической капли, как обычная капля жидкости. На схеме, которую я вам сейчас покажу, условно изображены различные типы атомных ядер, образованных из протонов и нейтронов. Простейшее ядро водорода состоит всего лишь из одного протона, в то время как самое сложное ядро урана состоит из 92 протонов и 142 нейтронов. Разумеется, разглядывая эти картинки, не следует упускать из виду, что перед вами лишь весьма условные изображения реальных ядер, поскольку в силу фундаментального принципа неопределенности квантовой теории положение каждого нуклона в действительности «размазано» по всему объему ядра.

Как я уже упоминал, частицы, образующие атомное ядро, удерживаются вместе мощными силами



сцепления, но помимо этих сил притяжения существуют также силы другого рода, действующие в противоположном направлении.

Действительно, протоны, на долю которых приходится примерно половина нуклонного населения, несут положительный заряд.

Следовательно, между ними действуют силы отталкивания — так называемые кулоновские силы. Для легких ядер, электрический заряд которых сравнительно мал, это кулоновское отталкивание не имеет особого значения, но в более тяжелых ядрах с бо льшим электрическим зарядом кулоновские силы начинают составлять серьезную конкуренцию силам ядерного сцепления. Как только это произойдет, ядро утрачивает стабильность и может испустить какие-нибудь из составляющих его частиц. Именно так ведут себя некоторые элементы, расположенные в самом конце Периодической системы и известные под названием *радиоактивные элементы*.

Из приведенных выше общих соображений вы можете заключить, что такие тяжелые нестабильные ядра должны испускать протоны, так как нейтроны не несут никакого электрического заряда, и поэтому на них не действуют силы

кулоновского отталкивания. Однако, как показывают эксперименты, некоторые радиоактивные ядра испускают так называемые *альфа-частицы* (ядра гелия), т. е. сложные образования, каждое из которых состоит из двух протонов и двух нейтронов. Объясняется это особой группировкой частиц, образующих атомное ядро. Дело в том, что комбинация двух протонов и двух нейтронов, образующая альфу-частицу, отличается повышенной стабильностью, и поэтому легче оторвать такую группу целиком, чем разделить ее на отдельные протоны и нейтроны.

Как вы, вероятно, знаете, явление радиоактивного распада было впервые открыто французским физиком Анри Беккерелем, а знаменитый британский физик лорд Резерфорд, чье имя я уже упоминал в другой связи, которому наука столь многим обязана за его важные открытия в физике атомного ядра, предложил объяснение радиоактивного распада как спонтанного, т. е. самопроизвольного, распада атомного ядра на части.

Одна из наиболее замечательных особенностей альфа-распада состоит в иногда необычайно долгих периодах времени, необходимых альфа-частицам, чтобы «выбраться» из атомного ядра на свободу. Для *урана* и *тория* этот период составляет, по оценкам, миллиарды лет, для радия — около шестнадцати столетий, и хотя существуют элементы, для которых альфа-распад происходит в доли секунды, продолжительность их жизни можно также считать очень долгой по сравнению с быстротой их внутриядерного движения.

Что же заставляет альфа-частицу оставаться внутри ядра на протяжении иногда многих миллиардов лет? И если альфа-частица так долго находится внутри ядра, то что заставляет ее все же покинуть его?

Для ответа на эти вопросы нам необходимо предварительно узнать немного больше о сравнительной интенсивности сил внутриядерного сцепления и электростатических сил отталкивания, действующих на частицу, которая покидает атомное ядро. Тщательное экспериментальное изучение этих сил было проведено Резерфордом, который воспользовался методом так называемой *атомной бомбардировки*. В своих знаменитых экспериментах, выполненных в Кавендишской лаборатории, Резерфорд направлял пучок быстро движущихся альфа-частиц, испускаемых каким-нибудь радиоактивным веществом, на мишень и наблюдал отклонения (рассеяние) этих атомных снарядов при столкновении их с ядрами бомбардируемого вещества. Эксперименты Резерфорда убедительно показали, что на больших расстояниях от атомного ядра альфа-частицы испытывали сильное отталкивание электрическими силами заряда ядра, но отталкивание сменялось сильным притяжением в тех случаях, когда альфа-частицы пролетали вплотную от внешних границ ядерной области. Вы можете сказать, что атомное ядро в какой-то мере аналогично крепости, окруженной со всех сторон высокими крутыми стенами, не позволяющими частицам ни попасть внутрь, ни бежать наружу. Но самый поразительный результат экспериментов Резерфорда состоял в установлении следующего факта:

альфа-частицы , вылетающие из ядра при радиоактивном распаде или проникающие внутрь ядра при бомбардировке извне, обладают меньшей энергией, чем требовалось бы для преодоления высоты стен крепости, или потенциального барьера , как мы обычно говорим. Это открытие Резерфорда полностью противоречило всем фундаментальным представлениям классической механики. В самом деле, как можно ожидать, что мяч перекаатится через вершину холма, если вы бросили его с энергией, недостаточной для подъема на вершину холма? Классическая физика могла лишь широко раскрыть глаза от удивления и высказать предположение о том, что в эксперименты Резерфорда где-то вкралась какая-то ошибка.

Но в действительности никакой ошибки не было, и если кто-нибудь и ошибался, то не лорд Резерфорд, а... классическая механика! Ситуацию прояснили одновременно мой добрый друг доктор Гамов и доктора Рональд Герней и Э. У. Лондон. Они обратили внимание на то, что никаких трудностей не возникает, если подойти к проблеме с точки зрения современной квантовой теории. Действительно, как мы знаем, современная квантовая физика отвергает четко определенные траектории-линии классической теории и заменяет их расплывчатыми призрачными следами. Подобно тому, как доброе старомодное привидение могло без труда проходить сквозь толстые каменные стены старинного замка, так призрачные траектории могут проникать сквозь потенциальные барьеры, которые с классической точки зрения казались совершенно непроницаемыми.

Не думайте, пожалуйста, будто я шучу: проницаемость потенциальных барьеров для частиц с недостаточной энергией является прямым математическим следствием из фундаментальных уравнений новой квантовой механики и служит весьма убедительной иллюстрацией одного из наиболее существенных различий между старыми и новыми представлениями о движении. Но хотя новая механика допускает столь необычные эффекты, она делает это только при весьма сильных ограничениях: в большинстве случаев вероятность пересечения барьера чрезвычайно мала, и попавшей в темницу ядра частице придется невероятно большое число раз бросаться на стены, прежде чем ее попытки выбраться на свободу увенчаются успехом. Квантовая теория дает нам точные правила для вычисления вероятности такого побега. Было показано, что наблюдаемые периоды альфа-распада находятся в полном соответствии с предсказаниями теории. В случае альфа-частиц, бомбардирующих атомное ядро извне, результаты квантово-механических расчетов находятся в великолепном соответствии с экспериментом.

Прежде чем я продолжу свою лекцию, мне хотелось бы показать вам некоторые фотографии процессов распада различных ядер, бомбардируемых атомными снарядами высокой энергии (первый слайд, пожалуйста!).

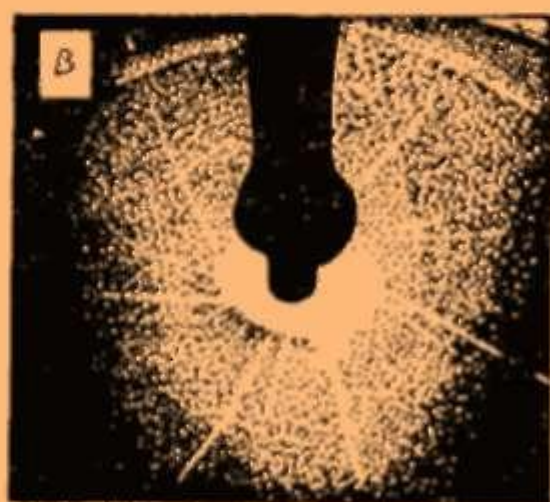
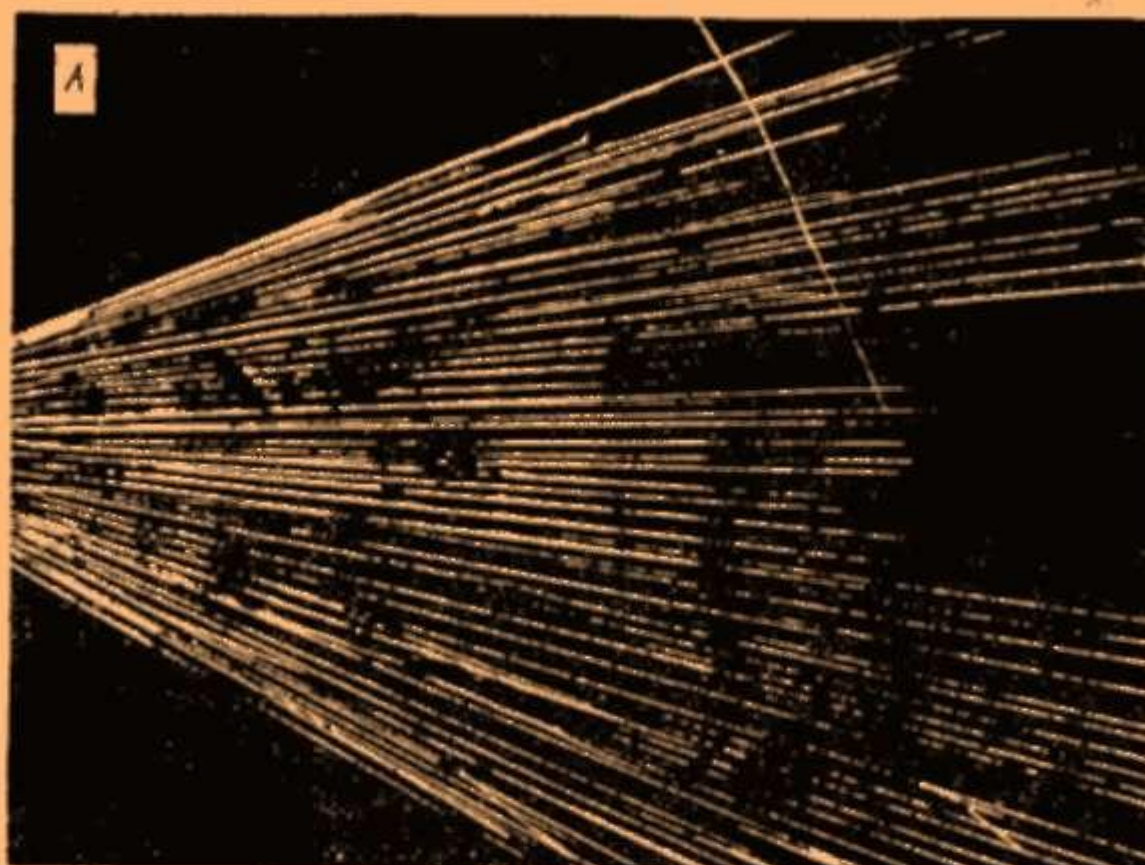
На этом слайде (см. рис. на с. 174) вы видите два различных распада, сфотографированных в пузырьковой камере, о которой я говорил в своей

предыдущей лекции. На снимке (А) вы видите столкновение ядра азота с быстрой альфа-частицей. Это первый из когда-либо сделанных снимков искусственной трансмутации (превращения) элементов. Этим снимком мы обязаны ученику лорда Резерфорда Патрику Блэккету. Отчетливо видно большое число треков альфа-частиц, испускаемых мощным источником альфа-частиц. Большинство альфа-частиц пролетают все поле зрения, не претерпевая ни одного серьезного столкновения. Трек альфа-частиц останавливается вот здесь, и вы видите, как из точки столкновения выходят два других трека. Длинный тонкий трек принадлежит протону, выбитому из ядра азота, в то время как короткий толстый трек соответствует отдаче самого ядра. Но это более уже не ядро азота, поскольку, потеряв протон и поглотив налетевшую альфа-частицу, ядро азота превратилось в ядро кислорода. Таким образом, мы становимся свидетелями алхимического превращения азота в кислород с водородом в качестве побочного продукта.

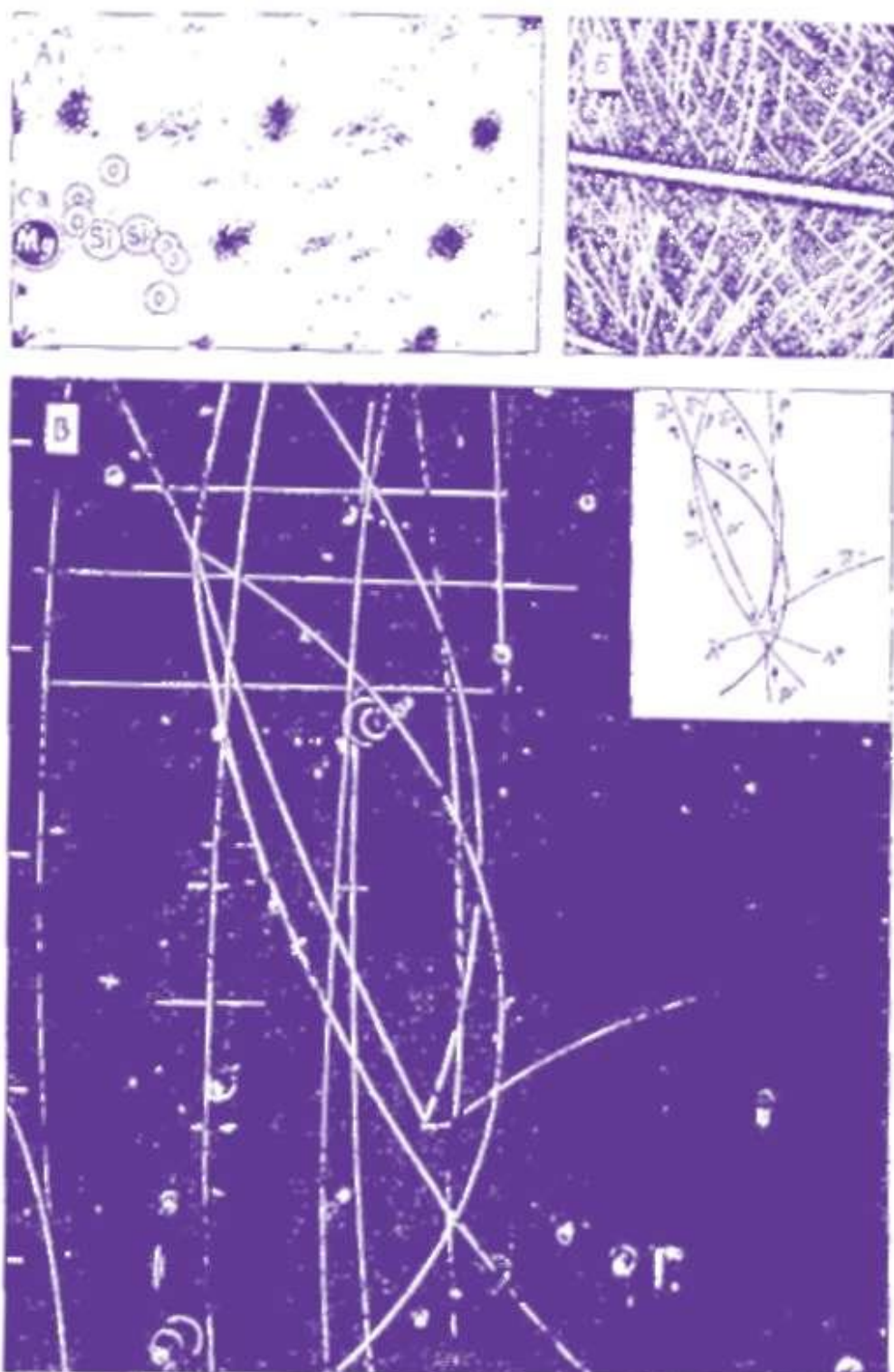
На снимках (Б), (В) вы видите распад ядра при столкновении с искусственно ускоренным протоном. Пучок быстрых протонов создается специальной машиной, работающей под высоким напряжением и известной публике под названием «атомная дробилка», и поступает в камеру через длинную трубку, конец которой виден на снимках. Мишень, в данном случае тонкий слой бора, помещается у открытого конца трубки с таким расчетом, чтобы осколки ядра, возникшие при столкновении, должны были пролетать сквозь воздух в камере, образуя туманные треки. Как вы видите на снимке (В), ядро бора при столкновении с протоном, распадается на три части, и, с учетом сохранения электрического заряда, мы приходим к заключению, что каждый из осколков деления представляет собой альфа-частицу, т. е. ядро гелия. Эти два ядерных превращения представляют весьма типичные примеры нескольких сотен других ядерных превращений, исследованных современной экспериментальной физикой. Во всех превращениях такого рода, известных под названием *ядерные реакции замещения*, налетающая частица (протон, нейтрон или альфа-частица) проникает в ядро, выбивает какую-то другую частицу и остается на ее месте. Существует замещение протона альфа-частицей, альфа-частицы протоном, протона нейтроном и т.д. Во всех таких превращениях новый элемент, образовавшийся в результате реакции, является близким соседом бомбардируемого элемента в Периодической системе.

Но лишь сравнительно недавно, перед второй мировой войной, два немецких химика О. Ган и Ф. Штрассман открыли совершенно новый тип ядерного превращения, в котором *тяжелое ядро распадается на две равные половины с высвобождением огромного количества энергии*. На следующем слайде (следующий слайд, пожалуйста!) вы видите (см. с. 175) на снимке (Б) два осколка ядра урана, разлетающихся в разные стороны от тонкой урановой проволоочки. Это явление, получившее название *расщепление ядра*, впервые наблюдалось при бомбардировке урана пучком нейтронов, но вскоре физики обнаружили, что и другие элементы, расположенные в конце Периодической системы, обладают аналогичными свойствами. Эти тяжелые ядра уже находятся у порога своей

стабильности и малейшее возмущение, вызываемое столкновением с нейтроном, достаточно, чтобы они распались на два осколка, как распадается на части чрезмерно крупная капля ртути. Нестабильность тяжелых ядер проливает свет на вопрос о том, почему в природе существует только 92 элемента. Любое ядро тяжелее урана не может существовать сколько-нибудь продолжительное время и немедленно распадается на более мелкие осколки. Явление расщепления ядра представляет немалый интерес и с практической точки зрения, так как открывает определенные возможности для использования ядерной энергии. Дело в том, что при распаде ядра на две половинки из ядра вылетает несколько нейтронов, которые могут вызвать расщепление соседних ядер. Дальнейшее распространение такого процесса может привести к взрывной реакции, при которой вся энергия, запасенная в ядрах, высвобождается за малую долю секунды. Если вспомнить, что ядерная энергия, хранящаяся в одном фунте урана, эквивалентна энергетическому содержанию десяти тонн угля, то станет ясно, что возможность высвобождения ядерной энергии могла бы вызвать глубокие перемены в нашей экономике.



(А) При столкновении с ядром гелия ядро азота превращается в ядро тяжелого кислорода и ядро водорода: ${}^{14}_7\text{N} + {}^4_2\text{He} \rightarrow {}^{17}_8\text{O} + {}^1_1\text{H}$.
 (Б) При столкновении с ядром водорода ядро лития превращается в два ядра гелия: ${}^7_3\text{Li} + {}^1_1\text{H} \rightarrow 2{}^4_2\text{He}$. (B) При столкновении с ядром водорода ядро бора превращается в три ядра гелия: ${}^{10}_5\text{B} + {}^1_1\text{H} \rightarrow 3{}^4_2\text{He}$



(А) Сделанный Брэггом снимок атомов в кристалле диопсида. Кружками в левом нижнем углу обозначены отдельные атомы кальция, магния, кремния и кислорода. Увеличение $1 \times 100\,000\,000$.
 (Б) Два осколка деления ядра урана в результате столкновения с нейтроном разлетаются в разные стороны. (В) Рождение и распад нейтральных лямбда- и антилямбда-гиперонов

Однако все эти ядерные реакции могут быть осуществлены лишь в очень малом масштабе, и, хотя они позволяют нам получить богатейшую информацию о внутреннем строении ядра, вплоть до сравнительно недавнего времени не было ни малейшей надежды на то, что удастся высвободить огромное количество ядерной энергии. И лишь в 1939 г. немецкие химики О. Ган и Ф. Штрассман открыли совершенно новый тип ядерного превращения: тяжелое ядро урана при столкновении с одним-единственным нейтроном распадается на две примерно равные части с высвобождением огромного количества энергии и вылетом двух или трех нейтронов, которые в свою очередь могут столкнуться с ядрами урана и расщепить каждое из них на две части с высвобождением новой энергии и новых нейтронов. Цепной процесс деления ядер урана может приводить к взрывам или, если сделать его управляемым, стать почти неисчерпаемым источником энергии. Счастлив сообщить вам, что доктор Таллеркин, принимавший участие в работах по созданию атомной бомбы и известный также как отец водородной бомбы, любезно согласился прибыть к нам, несмотря на свою чрезвычайную занятость, и выступить с коротким сообщением о принципах устройства ядерных бомб. Мы ожидаем его прибытия с минуты на минуту.

Едва профессор успел произнести эти слова, как дверь отворилась и в аудиторию вошел человек весьма внушительного вида с горящими глазами и нависшими кустистыми бровями. Обменявшись с профессором рукопожатиями, человек обратился к аудитории:

— Hoolgyeim es Uraim, — начал он. — Roviden kell beszelnem, mert nagyon sok a dolglom. Ma reggel tubb megbeszelesem volt a Pentagonban es a Feher Hazban. Delutan... О, прошу прощения! — воскликнул незнакомец. — Иногда я путаю языки. Позвольте мне начать еще раз.

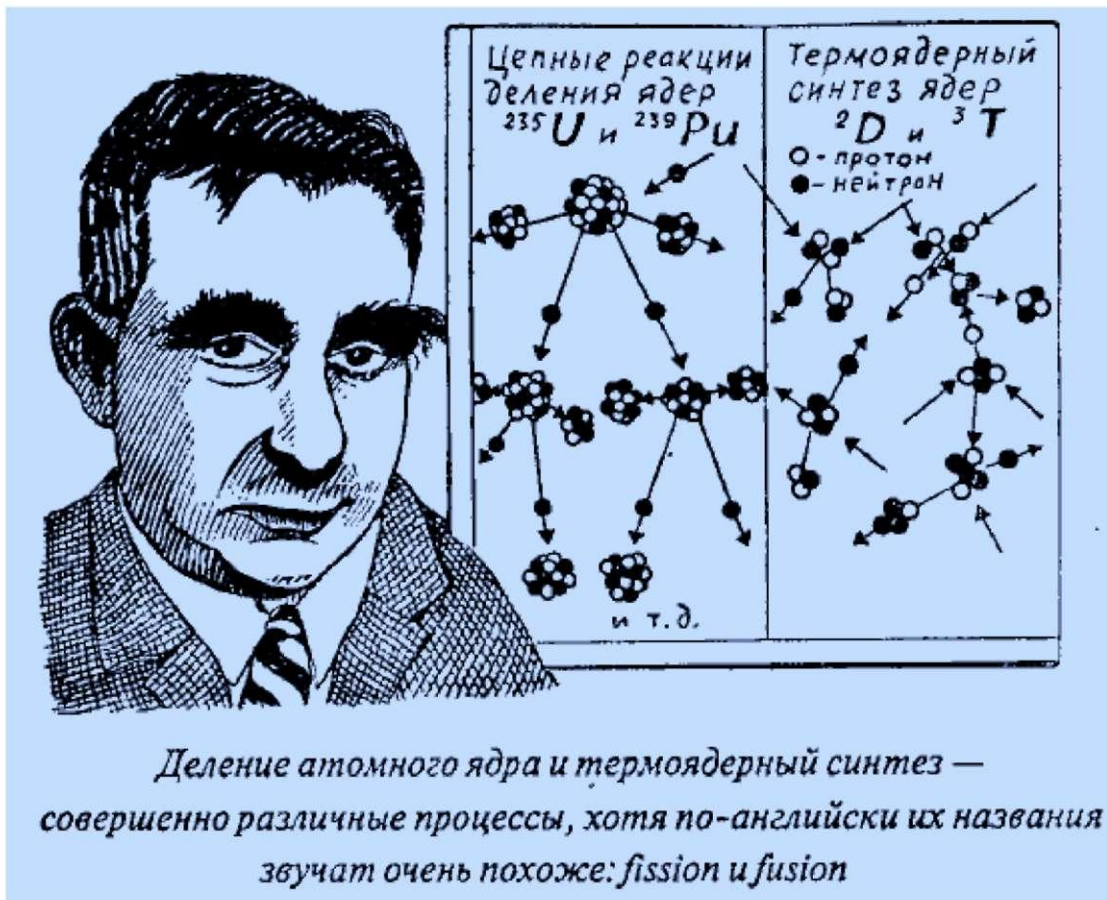
Леди и джентльмены! Я буду краток, поскольку очень занят. Сегодня утром я присутствовал на нескольких совещаниях в Пентагоне и в Белом доме, а днем мне необходимо быть в Френч Флэте, штат Невада, где предстоит провести подземный взрыв. Вечером я должен произнести речь на банкете, который состоится на базе ВВС США Ванденберг в Калифорнии.

Теперь о главном. Дело в том, что в атомных ядрах поддерживается равновесие между силами двоякого рода — ядерными силами притяжения, которые стремятся удержать ядро в целости, и электрическими силами отталкивания между протонами. В тяжелых ядрах, таких как ядра урана или плутония, силы отталкивания преобладают, и ядра при малейшем возмущении готовы распасться на два осколка — продукты деления. Таким возмущением может быть один-единственный нейтрон, сталкивающийся с ядром.

Обернувшись к доске, гость продолжал:

— Вот делящееся ядро, а вот сталкивающийся с ним нейтрон. Два осколка деления разлетаются в стороны, и каждый из них уносит около одного миллиона электрон-вольт энергии. Кроме того, распадаясь, ядро выстрелило несколькими

новыми нейтронами деления (обычно их бывает два в случае легкого изотопа урана и три в случае плутония). Реакция — бац, бац! — продолжается, как я изобразил здесь на доске. Если кусок делящегося материала мал, то бо льшая часть нейтронов деления вырывается из его поверхности прежде, чем они имеют шанс столкнуться с другим делящимся ядром, и цепная реакция так и не начинается. Но если кусок делящегося материала имеет достаточно большие размеры (мы называем такой кусок критической массой), дюйма три-четыре в диаметре, то большинство нейтронов оказываются захваченными, и вся эта штука взрывается. Такое устройство мы называем бомбой деления (в печати ее довольно часто неправильно называют атомной бомбой).



Гораздо лучших результатов можно достичь, если обратиться к другому концу Периодической системы элементов, где ядерные силы превосходят электрическое отталкивание. Когда два легких ядра приходят в соприкосновение, они сливаются, как две капельки ртути на блюдечке. Такое слияние может произойти только при очень высокой температуре, так как электрическое отталкивание — мешает легким ядрам сблизиться и прийти в соприкосновение. Но когда температура достигает десятков миллионов градусов, электрическое отталкивание уже не в силах помешать сближению атомов и процесс слияния, или термоядерного синтеза, начинается. Наиболее подходящими ядрами для

термоядерного синтеза являются дейтроны, т. е. ядра атомов тяжелого водорода. Справа на доске я изобразил простую схему термоядерной реакции в дейтерии. Когда мы впервые придумали водородную бомбу, нам казалось, что она станет благословением для всего мира, так как при ее взрыве не образуются радиоактивные продукты деления, которые потом разносятся по всей земной атмосфере. Но нам не удалось создать «чистую» водородную бомбу, потому что дейтерий, лучшее ядерное топливо, которое легко извлекается из морской воды, недостаточно хорошо горит сам по себе. Нам пришлось окружить дейтериевую сердцевину урановой оболочкой. Такие оболочки порождают множество осколков деления, и люди прозвали нашу конструкцию «грязной» водородной бомбой. Аналогичные трудности возникли и при проектировании управляемой термоядерной реакции с дейтерием и, несмотря на все усилия, нам так и не удалось осуществить ее. Но я уверен, что рано или поздно проблема управляемого термоядерного синтеза будет решена.

— Доктор Таллеркин, — спросил кто-то из аудитории, — могут ли осколки деления ядер при испытаниях грязной водородной бомбы вызвать опасные для здоровья человека мутации у населения всего земного шара?

— Не все мутации вредны, — улыбнулся доктор Таллеркин. — Некоторые мутации способствуют улучшению наследственности. Если бы в живых организмах не происходили мутации, то и вы, и я все еще были бы амебами. Разве вы не знаете, что эволюция жизни на Земле происходит исключительно благодаря мутациям и выживанию наиболее приспособленных мутантов?

— Уж не хотите ли вы сказать, — истерически закричала какая-то женщина в аудитории, — что мы должны рожать детей дюжинами и, отобрав наилучших, умервщлять остальных?

— Видите ли... — начал доктор Таллеркин, но в этот момент дверь открылась и в аудиторию вошел человек в летной форме.

— Поторапливайтесь, сэр! — скороговоркой доложил он. — Ваш вертолет припаркован у входа и, если мы не вылетим сейчас же, вы не сможете вовремя прибыть в аэропорт, где вас ожидает специальный реактивный самолет!

— Прошу меня извинить, — обратился доктор Таллеркин к аудитории, — но мне пора идти. Isten veluk!

И они оба, доктор Таллеркин и пилот, поспешили из аудитории.

Глава 6

Резчик по дереву



Дверь была большая и массивная. Посредине на ней красовалась надпись, сделанная крупными буквами: «Осторожно! Высокое напряжение!». Но первое впечатление негостеприимства несколько смягчалось крупной надписью «Добро пожаловать!» на коврик у двери, и после минутного колебания мистер Томпкинс нажал на кнопку дверного звонка. Дверь открыл молодой ассистент, и мистер Томпкинс оказался в огромном помещении, добрую половину которого занимала замысловатая машина самого фантастического вида.

— Это наш циклотрон, или «атомная дробилка», как его называют в газетах, — пояснил ассистент, любовно поглаживая витки одной из катушек гигантского электромагнита, составляющего основную часть весьма внушительно выглядевшего орудия современной физики.

— Он позволяет получать частицы с энергией до десяти миллионов электрон-вольт, — с гордостью продолжал ассистент, — и немного найдется ядер, которые способны выдержать столкновение с частицей, движущейся с такой невообразимой энергией!

— Потрясающе интересно! — отозвался мистер Томпкинс. — Эти ядра, должно быть, очень прочны! Трудно поверить, что этакая махина была построена только для того, чтобы расколось крохотное ядро крохотного атома. А как работает эта машина?

— Вы были когда-нибудь в цирке? — спросил мистера Томпкинса его тесть, внезапно возникая откуда-то из-за гигантского циклотрона.

— Разумеется, был, — ответил мистер Томпкинс, несколько удивленный неожиданным вопросом. — Вы хотите предложить мне пойти с вами сегодня в цирк на вечернее представление?

— Не совсем, — улыбнулся профессор. — Просто, если вам случалось бывать в цирке, это поможет вам понять, как работает циклотрон. Взгляните между полюсов этого огромного магнита и вы увидите круглый медный кожух. Он служит кольцом, в котором ускоряются различные заряженные частицы, используемые в экспериментах по бомбардировке ядер. В центре кожуха расположен источник, испускающий все эти заряженные частицы, или ионы. Вылетая из источника, ионы движутся с очень маленькими скоростями, и сильное поле, создаваемое магнитом, изгибает их траектории в небольшие окружности вокруг центра. Затем мы начинаем погонять частицы и разгоняем их до все больших и больших скоростей.

— Я понимаю, как погонять лошадь, — заметил мистер Томпкинс, — но как вам удастся погонять крохотные заряженные частицы, выше моего разума.

— А между тем это очень просто. Если частица движется по кругу, то все, что необходимо делать, это сообщать ей ряд последовательных электрических толчков всякий раз, когда частица будет проходить через определенную точку своей траектории, подобно тому, как в цирке тренер хлыстом подгоняет лошадь всякий раз, когда та, описывая по арене круг за кругом, пробегает мимо него.

— Но тренер видит лошадь, — возразил мистер Томпкинс. — А разве вы видите частицу, описывающую круг за кругом в той медной коробке, чтобы подтолкнуть ее в нужный момент?

— Разумеется, не вижу, — согласился профессор, — но это и необязательно. Вся хитрость устройства циклотрона состоит в том, что, хотя ускоряемая частица движется все быстрее и быстрее, она всегда совершает полный оборот за одно и то же время. Дело в том, что по мере увеличения скорости частицы радиус, а следовательно, и длина ее круговой траектории также соответственно увеличиваются. В результате ускоряемая частица движется по раскручивающейся спирали и всегда приходит в одно и то же место «кольца» через одинаковые промежутки времени. Все, что необходимо сделать, это поместить в данном месте какое-нибудь электрическое устройство, которое подталкивало бы частицу через одинаковые промежутки времени. Мы делаем это с помощью колебательного электрического контура, очень похожего на те схемы, которые вы можете видеть на любой радиостанции. Каждый электрический толчок не очень силен, но кумулятивный эффект многих толчков позволяет разгонять частицу до очень больших скоростей. В этом огромное преимущество циклотрона: он позволяет достигать такого же эффекта, как напряжение во многие миллионы вольт, хотя нигде в циклотроне вы не найдете высоких напряжений.

— Очень остроумно, — задумчиво произнес мистер Томпкинс, — А чье это изобретение?

— Первый циклотрон был построен несколько лет назад ныне покойным Эрнестом Орландо Лоуренсом в Калифорнийском университете, — ответил профессор. — С тех пор циклотроны значительно выросли в своих размерах и

распространились по физическим лабораториям со скоростью слухов. Они оказались удобнее, чем старые ускорители с целым каскадом трансформаторов или другие ускорители, работавшие как электростатические машины.

— А нельзя ли разбить атомное ядро вдребезги, не прибегая ко всем этим сложным машинам? — спросил мистер Томпкинс, твердо убежденный сторонник простоты, с недоверием относившийся к любым устройствам сложнее молотка.

— Разумеется, можно. Когда Резерфорд проводил свои первые эксперименты по искусственному превращению элементов, он как раз использовал обычные альфа-частицы, испускаемые естественными радиоактивными источниками. Но это было более двадцати лет назад, и, как вы можете убедиться, с тех пор методы деления атома существенно усовершенствовались.

— А не можете ли вы показать мне, как разбивают атом? — попросил мистер Томпкинс, всегда предпочитавший увидеть своими глазами вместо того, чтобы выслушивать длинные объяснения.

— С удовольствием, — ответил профессор. — Мы как раз приступаем к эксперименту по дальнейшему исследованию деления ядра бора при столкновении с быстрыми протонами. Когда ядро бора сталкивается с протоном и это столкновение достаточно сильно для того, чтобы бомбардирующая частица проникла сквозь потенциальный барьер и оказалась внутри ядра, оно распадается на три примерно равных осколка, которые разлетаются во все стороны. Весь процесс можно наблюдать непосредственно в так называемой пузырьковой камере, делающей видимыми траектории всех частиц, участвующих в столкновении. Такая камера с небольшим кусочком бора в середине установлена у выхода ускорительной системы, и как только циклотрон заработает, вы увидите деление ядра собственными глазами.

— Включите, пожалуйста, ток, — обратился профессор к своему ассистенту,

— а я пока займусь регулировкой магнитного поля.

Чтобы запустить циклотрон, понадобилось некоторое время, и предоставленный самому себе мистер Томпкинс праздно бродил по лаборатории. Его внимание привлекла сложная система усилительных ламп, тлевших слабым голубоватым светом. Не зная в точности, какие электрические напряжения используются в циклотроне (напряжение может быть мало для того, чтобы расщепить атомное ядро, но вполне достаточно, чтобы свалить быка!), мистер Томпкинс осторожно наклонился над лампами.

Последовал резкий щелчок, словно укротитель львов взмахнул своим хлыстом, и мистер Томпкинс почувствовал ужасную боль, пронзившую все его тело. В тот же миг тьма окутала все, и он потерял сознание.

Когда мистер Томпкинс, наконец, открыл глаза, он обнаружил, что лежит на полу в том самом месте, где его сразил электрический разряд. Помещение вроде бы

оставалось прежним, но было обставлено совершенно по-другому. Вместо возвышавшегося наподобие башни циклотронного магнита, сияющих медных контактов и десятков сложных электрических устройств, торчавших тут и там, мистер Томпкинс увидел деревянный стол, на котором были разбросаны плотницкие инструменты. На старомодных полках, висевших по стенам, мистер Томпкинс заметил множество вырезанных из дерева фигур странных и необычных форм. За столом сидел приветливый старичок. Приглядевшись к его чертам, мистер Томпкинс был поражен сильным сходством со стариком Джепетто из фильма «Пиноккио» Уолта Диснея и с портретом покойного Резерфорда лорда Нельсона, висевшим в лаборатории у профессора.

— Прошу прощения за невольное вторжение, — сказал мистер Томпкинс, поднимаясь с пола. — Видите ли, я был на экскурсии в ядерной лаборатории и там со мной приключилось что-то странное.

— А, так вы интересуетесь атомным ядром? — оживился старичок, откладывая в сторону деревянную фигурку, которую он вырезал. Тогда вы попали как раз туда, куда надо! Я изготавливаю всевозможные ядра и буду рад показать вам свою мастерскую.

— Я не ослышался? — переспросил мистер Томпкинс с озадаченным видом. — Вы сказали, что занимаетесь изготовлением ядер?

— Да, вы не ослышались. Правда, это требует известной сноровки, в особенности изготовление радиоактивных ядер. Ведь не успеешь их выкрасить, как они могут распасться.

— *Выкрасить?*

— Да, положительно заряженные частицы я обычно окрашиваю в красный цвет, а отрицательно заряженные — в зеленый. Вы, должно быть, знаете, что красный и зеленый цвета принадлежат к числу так называемых *дополнительных цветов* и при смешивании уничтожают друг друга². Дополнительные цвета соответствуют положительным и отрицательным электрическим зарядам, которые нейтрализуют друг друга. Если атомное ядро состоит из одинакового числа положительных и отрицательных зарядов, быстродвигающихся в одну и в другую сторону, то такое ядро будет электрически нейтральным и покажется вам белым. Если же положительных или отрицательных частиц будет больше, то вся система будет окрашена в красный или в зеленый цвет. Не правда ли, просто?

— Здесь, — продолжал старичок, показывая мистеру Томпкинсу два больших деревянных ящика, стоявших возле стола, — я храню материалы, из которых можно изготовить различные ядра. В первом ящике у меня хранятся *протоны* —

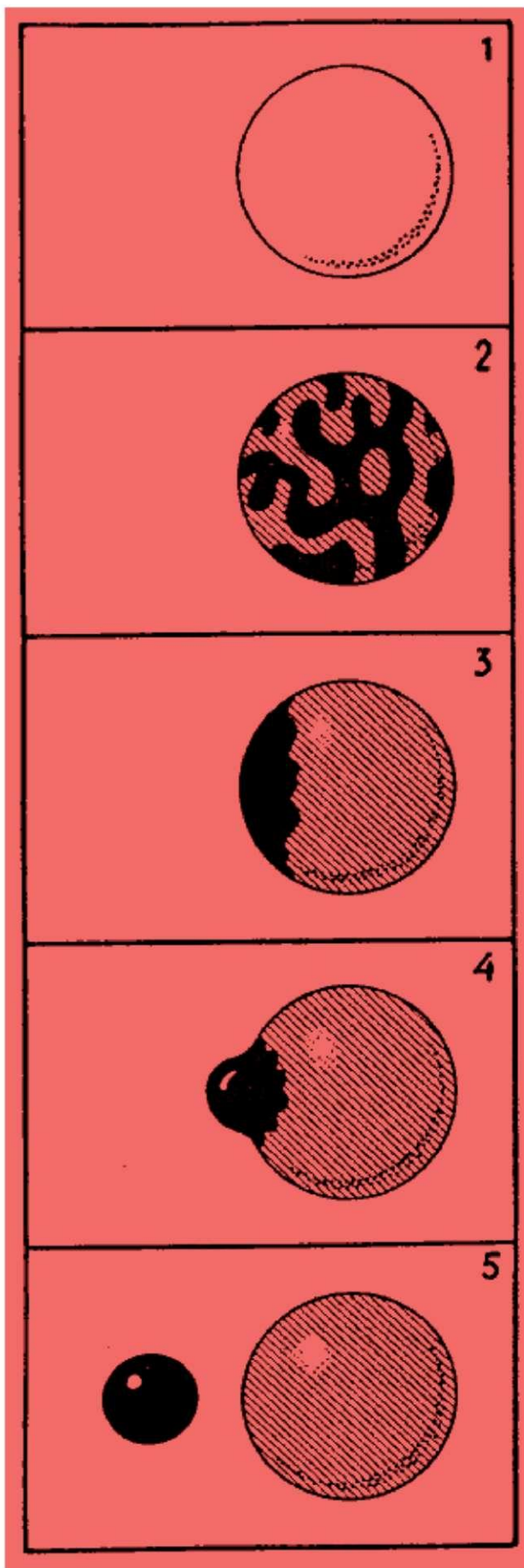
² Читатель должен иметь в виду, что, говоря о смешивании цветов, мы имеем в виду только лучи света соответствующей окраски, а не сами цвета. Если смешать красную и зеленую краски, то получится некий грязный цвет. Если же половину верхней стороны волчка выкрасить в красный цвет, а другую половину — в зеленый, то, закрутив волчок, мы увидим, что он белый.

видите эти красные шары? Они очень стабильны и сохраняют свой красный цвет, даже если вы вздумаете поскоблить их ножом или чем-нибудь поцарапать. С *нейтронами* во втором ящике хлопот гораздо больше. Обычно они белые, или электрически нейтральные, но обнаруживают сильную тенденцию превращаться в красные протоны. Пока ящик плотно закрыт, все в порядке, но стоит лишь вынуть один нейтрон из ящика, как происходит следующее. Вот, полюбуйтесь сами.

Открыв ящик, старый резчик по дереву извлек из него один из белых шаров и положил его на стол. Какое-то время ничего не происходило, но как раз в тот момент, когда мистер Томпкинс начал терять терпение, шар внезапно ожил. На его поверхности появились красноватые и зеленоватые полосы, и вскоре некогда белый шар выглядел, как один из тех пестрых мраморных шариков, в которые так любят играть дети. Зеленый цвет начал концентрироваться на одной стороне шара, которая начала выпячиваться и затем полностью отделилась от шара, образовав блестящую зеленую каплю, которая упала на пол. Шар после этого стал красным и по внешнему виду ничем не отличался от красных шаров-протонов в первом ящике.



— Видите, что происходит, — сказал резчик, поднимая с пола зеленую каплю, ставшую твердой и круглой. — Белый цвет нейтрона превратился в зеленый и красный, а сам нейтрон распался на две отдельные частицы — протон и отрицательно заряженный электрон.



— Да, да, — добавил старичок, видя изумленное выражение на лице мистера Томпкинса, — эта частица цвета нефрита — не что иное, как обыкновенный электрон, ничем не отличающийся от других электронов в любом атоме и в чем угодно.

— Подумать только! — воскликнул мистер Томпкинс. — Это действительно превосходит все фокусы с разноцветными носовыми платками, какие только мне приходилось видеть. А можете ли вы вернуть шарам их исходную окраску?

— Да, я вотру зеленую краску в поверхность красного шара, от чего шар снова станет белым. Разумеется, для этого придется затратить определенное количество энергии. Другой способ состоит в том, чтобы соскрести с шара красную краску, но и он требует затрат энергии. Соскобленная с поверхности протона красная краска образует красную каплю, т. е. положительно заряженный электрон, о котором вам, должно быть, приходилось слышать.

— О да, когда я был электроном, — начал было мистер Томпкинс, но во время спохватился, — т. е. я хочу сказать, что слышал, будто положительные и отрицательные электроны при столкновении аннигилируют, т. е. взаимно уничтожаются. Не могли бы вы проделать этот трюк для меня?

— С удовольствием, — ответил старый мастер. — Делается это очень просто. Я не стану соскребать краску с этого протона. У меня и так осталась парочка-другая протонов от утренней работы.

Открыв один из ящиков, он извлек из него небольшой ярко-красный шар и, крепко держа его между указательным и большим пальцами, прижал к зеленому шару, лежавшему на столе. Последовал громкий треск, словно взорвалась хлопушка, и оба шара одновременно исчезли.

— Видели? — спросил резчик, дуя на слегка обожженные пальцы. — Поэтому из электронов и нельзя строить ядра. Однажды я попытался, но потом бросил эту затею и теперь строю ядра только из протонов и нейтронов.

— Но ведь нейтроны тоже нестабильны, если я не ошибаюсь? — спросил мистер Томпкинс, вспоминая превращения белого шара.

— Если брать нейтроны поодиночке, то они действительно нестабильны. Но когда они плотно упакованы в ядре и окружены другими частицами, то становятся стабильными. Если же нейтронов или протонов становится слишком много, то они могут претерпевать превращения и испускать из ядра лишнюю краску в виде положительно или отрицательно заряженных электронов. Такие события мы называем бета-распадом.

— Используете ли вы при изготовлении ядер клей? — поинтересовался мистер Томпкинс.

— Нет, никакой клей мне не нужен, — ответил старый мастер. — Эти частицы, извольте видеть, сами слипаются, стоит лишь поднести их друг к другу. Попробуйте сами, если хотите.

Последовав этому любезному приглашению, мистер Томпкинс взял в одну руку протон, в другую нейтрон и осторожно начал их сближать. Он сразу же почувствовал сильное притяжение и, взглянув на частицы, заметил чрезвычайно странное явление: частицы начали обмениваться окраской, становясь попеременно то красными, то белыми. Казалось, будто красная краска «перепрыгивает» с шара в правой руке на шар в левой руке, а затем с шара в левой руке снова на шар в правой руке. «Переокраска» шаров происходила так быстро, что казалось, будто между шарами протянулась розоватая лента, по которой то в одну, то в другую сторону перетекала краска.

— Мои друзья-теоретики называют это обменным взаимодействием, — заметил старый мастер, посмеиваясь над удивлением мистера Томпкинса. — Если угодно, можно сказать, что оба шара хотят быть красными, но поскольку они не могут быть красными одновременно, шары как бы попеременно перетягивают красную окраску к себе. Ни один из шаров не желает уступить другому, и поэтому шары вынуждены прилипнуть друг к другу и сосуществовать, покуда вы не разделите их насильно. А теперь я хочу показать вам, как просто изготовить любое ядро, какое вы только пожелаете. Какое ядро вам нравится больше других?

— Золото, — ответил мистер Томпкинс, помня об амбициях средневековых алхимиков.

— Золото? Сейчас посмотрим, — пробормотал себе под нос старый мастер, оборачиваясь к огромной таблице, висевшей на стене. — Ядро золота весит 197 единиц и несет 79 положительных электрических зарядов. Значит, для изготовления ядра золота я должен взять 79 протонов и 118 нейтронов — тогда масса ядра получится правильной.

Отсчитав нужное количество шаров каждого сорта, мастер поместил их в высокий цилиндрический сосуд и вставил в него тяжелый деревянный поршень. Затем изо всех сил он налег на поршень, пытаясь сдвинуть его вниз.

— Это необходимо для того, — пояснил он мистеру Томпкинсу, — чтобы преодолеть сильное электрическое отталкивание между положительно заряженными протонами. Лишь после того, как сжатие поршнем преодолет отталкивание протонов, протоны и нейтроны слипнутся под действием обменных сил и образуют ядро золота.

С силой опустив поршень до отказа вниз, мастер вынул его и быстро перевернул цилиндрический сосуд. Блестящий розоватый шар выкатился из сосуда на стол, и, присмотревшись повнимательнее, мистер Томпкинс понял, что розоватый цвет возникал из-за смешения красных и белых вспышек, то и дело проскакивавших между быстро движущимися частицами.

— Как красиво! — воскликнул мистер Томпкинс. — Так вот он какой, атом золота!

— Еще не атом, а только атомное ядро, — поправил его старый мастер. — Чтобы завершить построение атома, необходимо добавить надлежащее количество электронов. Они нейтрализуют положительный заряд ядра и создадут вокруг него обычную электронную оболочку. Впрочем, сделать это не составляет особого труда, так как ядро само захватывает свои электроны, как только те окажутся поблизости.

— Интересно, — заметил мистер Томпкинс. — Мой тесть никогда не упоминал о том, что изготовить золото так просто.

— Ваш тесть и все эти так называемые физики-ядерщики! — воскликнул старый мастер с нотками раздражения в голосе. — Очень уж они важничают, хотя делать умеют очень мало. Они утверждают, будто протоны нельзя сжать в составное ядро, так как для этого потребовалось бы слишком большое давление. Один из них даже подсчитал, что для сближения протонов понадобилось бы приложить силу, равную весу Луны. Так почему бы не достать с неба Луну, если им больше нечего делать?

— Но они все же научились осуществлять *некоторые* ядерные превращения,

— мягко заметил мистер Томпкинс.

— Да, но с каким трудом даются им эти реакции! А новые элементы они получают в таких ничтожных количествах, что сами же едва могут их рассмотреть! Я сейчас продемонстрирую вам, как они это делают.

И схватив протон, старый мастер что было сил запустил им в ядро атома золота, лежавшее на столе. У самого ядра протон чуть замедлил свое движение, поколебался какой-то момент и затем нырнул внутрь ядра. Поглотив протон, ядро затряслось, словно от озноба, а затем от него с треском откололась небольшая часть.

— Видите, — сказал мастер, подбирая осколок. — Это то, что называется альфа-частицей! Если присмотреться повнимательнее, то видно, что она состоит из двух протонов и двух нейтронов. Такие частицы обычно испускаются тяжелыми ядрами так называемых радиоактивных элементов, но альфа-частицу можно выбить и из обычных стабильных ядер, если стукнуть по ним достаточно сильно. Хочу обратить ваше внимание на то, что оставшийся лежать на столе более крупный осколок уже не является ядром атома золота. Он утратил один положительный заряд, и теперь перед нами ядро атома платины, предыдущего элемента в периодической таблице. Однако в некоторых случаях протон, проникнув в ядро, не приводит к распаду ядра на два осколка. В этом случае вы получите ядро элемента, следующего за золотом в периодической таблице, т. е. ядро ртути. Комбинируя эти и аналогичные процессы, можно превращать любой элемент в любой другой.

— Теперь я понимаю, почему в ядерной физике используют пучки быстрых протонов, разогнанных до высоких энергий на циклотроне, — задумчиво произнес мистер Томпкинс. — А почему вы считаете, что этот метод нехорош?

— Потому что эффективность его очень низка. Прежде всего физики-ядерщики не умеют так точно попадать в ядро, как я: у них с ядром сталкивается лишь одна частица из тысячи. Во-вторых, даже в том случае, если частица попала в ядро, она с большой вероятностью не проникает внутрь ядра, а отскакивает от него. Вы, должно быть, заметили, что когда я запустил протоном в ядро атома золота, протон немного помедлил, прежде чем войти внутрь ядра и я уже было подумал, что протон отскочит назад.

— А что мешает частицам проникать в ядра? — поинтересовался мистер Томпкинс.

— Об этом вы могли бы догадаться и сами, — сказал старый мастер. — Если вы помните, и ядра, и бомбардирующие их протоны несут положительные заряды. Силы отталкивания, действующие между этими зарядами, образуют своего рода барьер, преодолеть который не так-то легко. Если бомбардирующие протоны все же проникают в ядерную крепость, то происходит это только потому, что они используют прием, напоминающий Троянского коня: проходят сквозь ядерные стены, как волны, а не как частицы.

— Боюсь, что это выше моего разума, — печально заметил мистер Томгасинс. — Из ваших объяснений я не понял ни слова.

— Боюсь, что это так, — сказал резчик с улыбкой. — Сказать вам по правде, я и сам не очень разбираюсь во всем этом. Ведь я мастер. Я могу делать все эти вещи руками, но в теоретической абракадабре я не слишком силен. Главное здесь в том, что поскольку все эти ядерные частицы сделаны из квантового материала, они легко проходят, или просачиваются, сквозь препятствия, которые обычно считаются непроницаемыми.

— О, я кажется понимаю, что вы имеете в виду! — воскликнул мистер Томпкинс. — Помнится, однажды, еще до того, как я встретил Мод, мне довелось побывать в одном странном месте, где бильярдные шары вели себя в точности так, как вы сейчас сказали. — Бильярдные шары? Вы имеете в виду бильярдные шары из слоновой кости? — повторил с горечью старый мастер.

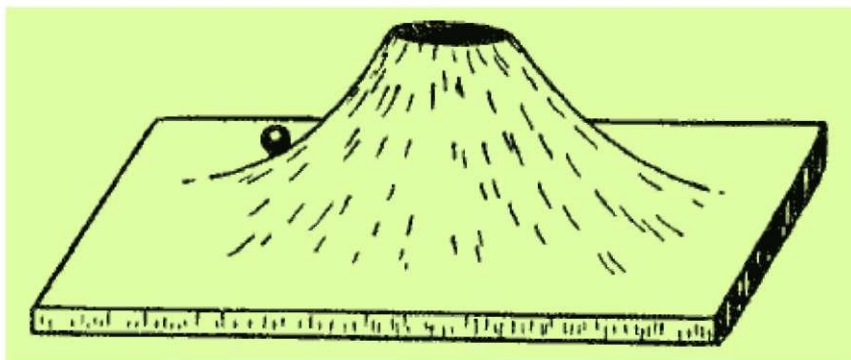
— Да, насколько я знаю, шары были выточены из бивней квантовых слонов,

— ответил мистер Томпкинс.

— Ничего не поделаешь, такова жизнь, — печально сказал старый мастер. — Подумать только, кто-то вырезает какие-то дурацкие шары, расходуя столь драгоценный материал для чьей-то забавы, а мне приходится вырезать протоны и нейтроны, фундаментальнейшие частицы Вселенной, из простого квантового дуба!

— Впрочем, — продолжал он бодрым тоном, чтобы скрыть разочарование, — мои несчастные деревянные игрушки ничуть не уступают всем этим дорогим финтифлюшкам из слоновой кости. Как я сейчас покажу вам, они легко проходят сквозь любой барьер. Взобравшись на стул, мастер достал с верхней полки резную фигурку необычного вида, напоминавшую модель вулкана.

— Вот, не угодно ли взглянуть, — продолжал мастер, осторожно смахивая пыль. — Перед вами модель барьера сил отталкивания, который окружает любое атомное ядро. Внешние склоны соответствуют отталкиванию электрических зарядов, а кратер — силам сцепления, удерживающим частицы внутри ядра. Если толкнуть шарик вверх по склону, но не слишком сильно, чтобы он не достиг края кратера, то вы, естественно, ожидаете, что шарик скатится назад. А вот что происходит на самом деле.



Мастер слегка подтолкнул шарик вверх по склону.

— Не вижу ничего необычного, —

заметил мистер Томпкинс, когда шарик, поднявшись примерно до середины склона, скатился назад.

— Не торопитесь, — спокойно сказал мастер. — Не все и не всегда получается с первого раза.

Он еще раз толкнул шарик вверх по склону, и шарик снова скатился вниз. И лишь с третьей попытки шарик, поднявшись примерно до середины склона, внезапно исчез.

— Как вы думаете, где теперь шарик? — торжествующе спросил старый мастер с чувством фокусника, удачно выполнившего трудный трюк.

— Наверное, в кратере? — высказал предположение мистер Томпкинс.

— Вы совершенно правы, именно в кратере, — подтвердил его догадку старый мастер, вынимая шарик из углубления двумя пальцами.

— А теперь попробуем запустить его в обратном направлении, — предложил он мистеру Томпкинсу, — и посмотрим, сможет ли шарик выбраться из кратера, не перекатываясь через край.

В течение какого-то времени ничего не происходило, и мистер Томпкинс мог только слышать погромыхивание шарика, катавшегося то в одну, то в другую сторону внутри кратера. Затем, как по мановению волшебной палочки, шарик вдруг появился на середине склона и тихо скатился на стол.

— То, что вы сейчас видели, может служить хорошей иллюстрацией того, что происходит при радиоактивном альфа-распаде, — сказал резчик, ставя модель на полку, — только там вместо барьера из обычного квантового дуба существует барьер сил отталкивания электрических зарядов. В принципе никакой разницы между моделью и настоящим альфа-распадом нет. Иногда эти электрические барьеры в атомах становятся настолько «прозрачными», что частицы покидают ядра за ничтожную долю секунды. В других случаях ядерные барьеры настолько «непрозрачные», что переход из ядра наружу затягивается на многие миллиарды лет, как например в ядре урана.

— Но почему не все ядра радиоактивны? — поинтересовался мистер Томпкинс.

— Потому что у большинства ядер дно кратера расположено ниже уровня подошвы вулкана, и только у самых тяжелых из известных ядер дно кратера поднято достаточно высоко для того, чтобы «побег» частицы мог состояться.

Трудно сказать, сколько часов провел мистер Томпкинс в мастерской у милого старого мастера, с готовностью делившегося с ним своими познаниями на любую тему, которую они затрагивали в беседе. Мастер показал мистеру Томпкинсу множество необычных вещей, в том числе тщательно закрытую, но, по-видимому, пустую шкатулку с надписью «НЕЙТРИНО. *Обращаться с осторожностью* ».

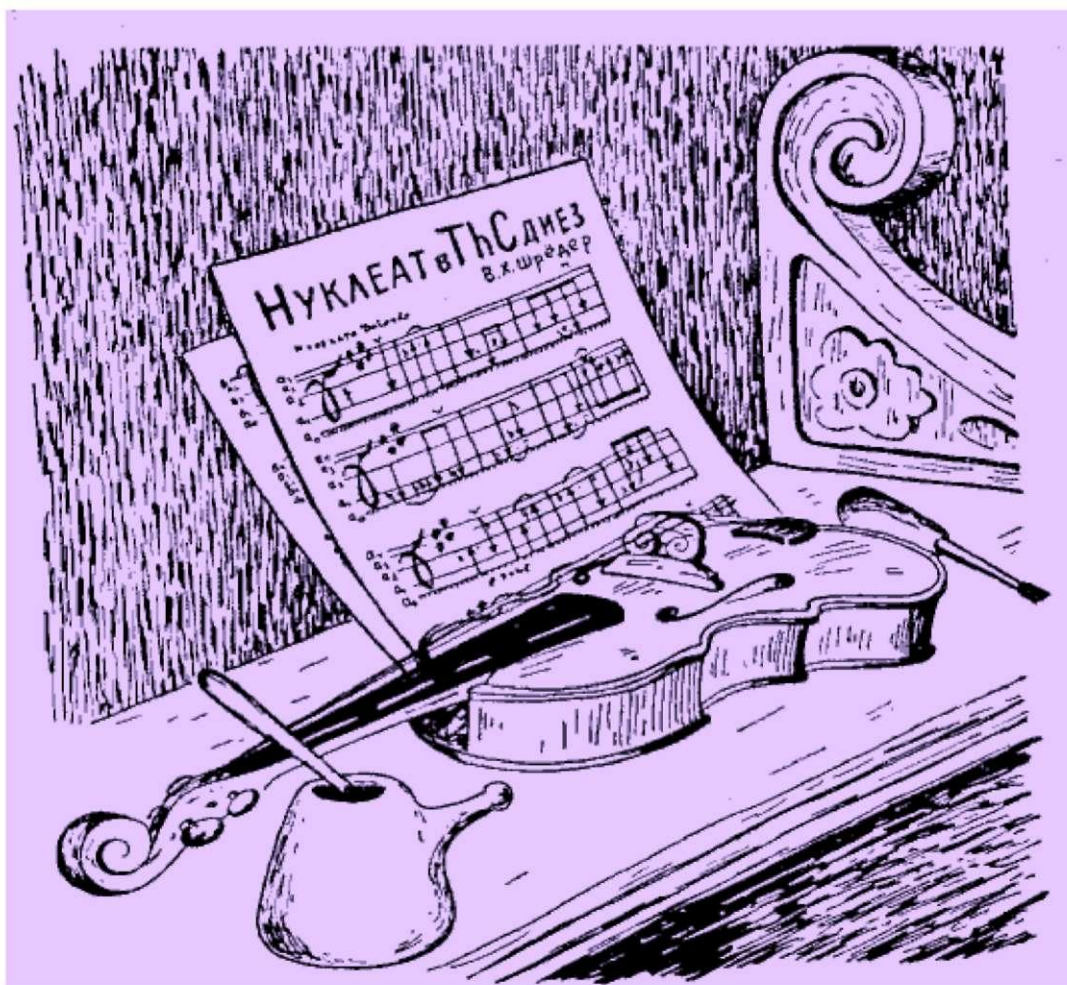
— Там внутри что-нибудь есть? — с любопытством спросил мистер Томпкинс, встряхивая шкатулку у самого уха.

— Не знаю, — признался старый мастер. — Одни говорят, что есть, другие, что нет. Но внутри шкатулки вы все равно ничего не увидите. Эту занятную шкатулку подарил мне один приятель, физик-теоретик, и, по правде говоря, я не знаю, что с ней делать. Лучше всего пока оставить ее в покое.

Продолжая осматривать мастерскую, мистер Томпкинс увидел на верстаке покрытую пылью старинную скрипку. Она казалась такой старой, словно ее изготовил дедушка Страдивари.

— Вы играете на скрипке? — повернулся к резчику мистер Томпкинс.

— Только гамма-мелодии, — ответил старый мастер. — Это квантовая скрипка, и ничего другого на ней исполнить нельзя. Когда-то у меня была квантовая виолончель. На ней можно было исполнять мелодии в оптическом диапазоне, но кто-то попросил ее у меня поиграть, да так и не удосужился вернуть.



— Сыграйте мне, пожалуйста, какую-нибудь гамма-мелодию, — попросил мистер Томпкинс. — Мне не приходилось слышать такие мелодии прежде.

— Я сыграю вам «Нуклеат в тональности Th C диез», — сказал старый мастер, беря скрипку, — но приготовьтесь, это очень печальная мелодия.

Музыка, действительно, звучала очень странно. Ничего похожего мистеру Томпкинсу слышать не приходилось. Мелодия напоминала неумолчный шум морских волн, накатывающихся на песчаный берег. Время от времени шум прибора прерывал резкий звук, напоминавший свист пролетевшей мимо пули. Мистер Томпкинс не был завзятым меломаном, но исполняемая мастером мелодия зачаровала и сковала его. Он потянулся, устроился поудобнее в старом кресле и закрыл глаза...

Глава 7

Дыры в пустоте

Леди и джентльмены!

Сегодня я прошу вас быть особенно внимательными, поскольку проблемы, о которых пойдет речь в моей лекции, столь же трудны, сколь и увлекательны. Я намереваюсь рассказать вам о новых частицах, известных под названием позитроны и обладающих более чем необычными свойствами. Весьма поучительно, что существование этой новой разновидности частиц было предсказано на основе чисто теоретических соображений за несколько лет до того, как они были обнаружены экспериментально, открытию позитронов в значительной мере способствовало теоретическое предсказание их основных свойств.

Честь сделать эти предсказания принадлежит британскому физику Полю Дираку, о котором вам уже приходилось слышать. К своим заключениям Дирак пришел на основе теоретических соображений, столь необычных и фантастических, что большинство физиков долгое время отказывалось верить в них. Основную идею теории Дирака можно сформулировать в следующих простых словах: «В пустом пространстве должны быть дыры». Я вижу, вы удивлены. Не менее вас были удивлены и физики, когда Дирак впервые произнес эти слова. Как могут быть дыры в пустом пространстве? Есть ли в подобном утверждении какой-нибудь смысл? Оказывается, есть, если вспомнить, что так называемое пустое пространство в действительности не так пусто, как нам кажется. В самом деле, основным исходным пунктом теории Дирака служит предположение о том, что

так называемое пустое пространство , или вакуум, в действительности плотно заполнено бесконечно многими электронами (обычными отрицательно заряженными электронами), упакованными весьма правильно и равномерно . Нет необходимости говорить о том, что эта старая гипотеза пришла Дираку в голову не просто как игра фантазии. К принятию ее Дирака вынудил целый ряд соображений, связанных с теорией обычных отрицательно заряженных электронов. Эта теория приводит к неизбежному заключению о том, что помимо квантовых состояний движения в атоме существует также бесконечно много особых *отрицательных квантовых состояний* , принадлежащих чистому вакууму и что электроны, если ничто не мешает им переходить в эти «более удобные» состояния движения, покинут свои атомы и, так сказать, растворятся в пустом пространстве. Более того, поскольку существует только один способ воспрепятствовать электрону переходить, куда ему заблагорассудится, а именно занять то состояние, в которое собирается переходить электрон, другим электроном (вспомните принцип Паули!), все состояния в вакууме должны быть заполнены бесконечно многими электронами, равномерно распределенными по всему пространству.

Боюсь, что мои слова звучат для вас, как своего рода научная абракадабра и что голова у вас от всего этого вдет кругом. Должен заметить, что предмет моей лекции сегодня особенно труден, но я надеюсь, что если вы будете внимательно слушать меня, то в конце концов вам удастся составить определенное представление о характере теории Дирака.

Но вернемся к теме лекции. Так или иначе Дирак пришел к заключению о том, что пустое пространство до отказа заполнено электронами, распределенными равномерно, но с бесконечно большой плотностью. Как могло случиться, что мы вообще не замечаем столь густого скопления электронов и рассматриваем вакуум как абсолютное пространство?

Вы сможете лучше понять ответ на эти вопросы, если вообразите себя глубоководной рыбой, находящейся в толще вод. Понимает ли рыба, разумеется, если она наделена достаточно развитым интеллектом для того, чтобы задать себе вопрос, что она окружена водой?

Эти слова вывели мистера Томпкинса из дремоты, в которую он погрузился в начале лекции. Он был заядлым рыбаком и даже почувствовал на своем лице свежее дыхание морского ветра и воочию увидел плавно катящиеся волны. Но хотя мистер Томпкинс неплохо плавал, почему-то на этот раз ему было трудно удержаться на поверхности и он начал медленно идти ко дну, опускаясь все глубже и глубже. Как ни странно, но он не ощущал нехватки воздуха и чувствовал себя вполне комфортно.

— Может быть, — подумал он, — со мной произошла какая-нибудь особая рецессивная мутация?

По данным палеонтологов, жизнь зародилась в океане и первыми, кто выбрался из воды на сушу, были так называемые *двоякодышащие* рыбы, ходившие на плавниках. По мнению биологов, эти первые двоякодышащие рыбы, которых называют по-разному (в Австралии рогозубами, в Африке протоптерами, в Южной Америке чешуйчатниками или лепидосиренами), постепенно превратились в сухопутных животных, таких как мыши и кошки, и в людей. Некоторые из животных, например, киты и дельфины, ознакомившись со всеми трудностями жизни на суше, вернулись в океан. Но и после возвращения в воду они сохранили качества, приобретенные во время борьбы за существование на суше, например, остались млекопитающими, их самки вынашивают потомство внутри своего тела, а не откладывают икру, которую затем оплодотворяют самцы. Разве знаменитый венгерский ученый Лео Сцилард³ не сказал как-то, что дельфины обладают более развитым интеллектом, чем люди?

Тут размышления мистера Томпкинса были прерваны разговором, происходившим где-то глубоко под поверхностью океана между дельфином и типичным гомо сапиенсом, в котором Томпкинс (по некогда виденной фотографии) сразу узнал физика из Кембриджского университета Поля Адриена Мориса Дирака.

— Послушай, Поль, — говорил дельфин, — ты считаешь, что мы находимся не в вакууме, а в материальной среде, состоящей из частиц с отрицательной массой. Я лично считаю, что вода ничем не отличается от пустого пространства. Она совершенно однородна, и смогу свободно двигаться в ней по всем направлениям. Однако от своего далекого предка — пра-пра-пра-пра-прадедушки — я слышал легенду о том, что на суше все иначе. Там есть горы и ущелья, преодолеть которые стоит немалых усилий. Здесь, в воде, я могу двигаться в любую сторону, куда захочу.

³ Автор имеет в виду научно-фантастическую новеллу Лео Сциларда «Голос дельфинов».



П. А. М. Дирак беседует с дельфином

— Если говорить о морской воде, то вы правы, друг мой, — отвечал П.А.М.

— Вода создает трение о поверхность вашего тела, и если вы не будете двигать хвостом и плавниками, то не сможете двигаться вообще. Кроме того, поскольку давление воды изменяется с глубиной, вы можете всплывать или погружаться, расширяя или сжимая свое тело. Но если бы вода не была вязкой и не создавала трения о поверхность вашего тела и если бы не было градиента давления, то вы были бы столь же беспомощны, как астронавт, у которого иссякло ракетное топливо. Мой океан, состоящий из электронов с отрицательными массами, абсолютно лишен вязкости и поэтому ненаблюдаем. Физические приборы позволяют наблюдать только *отсутствие* одного из электронов, так как отсутствие отрицательного электрического заряда эквивалентно присутствию положительного электрического заряда, поэтому даже Кулон мог бы заметить, что одного электрона не хватает.

Однако при сравнении моего океана электронов с обычным океаном следует иметь в виду одно важное отличие, чтобы эта аналогия не завела нас слишком далеко. Дело в том, что электроны, образующие мой океан, подчиняются принципу Паули. Ни одного электрона невозможно добавить к океану, если все возможные квантовые состояния заполнены. Такой «лишний» электрон вынужден был бы остаться над поверхностью моего океана и легко мог бы быть обнаружен экспериментаторами. Электроны были впервые открыты сэром Дж. Дж. Томсоном. Электроны, которые вращаются вокруг атомных ядер или летят в вакуумных трубках, как раз и принадлежат к числу таких «лишних» электронов. До того как я опубликовал свою первую работу в 1930 г., остальное пространство считалось пустым. По общему мнению, физической реальностью обладали тогда только случайные всплески, вздымающиеся над поверхностью энергии.

— Но если ваш океан ненаблюдаем, — заметил дельфин, — из-за своей непрерывности и отсутствия трения, то какой смысл толковать о нем?

— Смысл есть, да еще какой! — возразил П.А.М. — Предположим, что какая-то внешняя сила подняла один из электронов с отрицательной массой из глубин океана над его поверхностью. Число наблюдаемых электронов при этом увеличилось на единицу, что можно рассматривать как нарушение закона сохранения энергии. Но и пустая дырка в океане, образовавшаяся в том месте, откуда был извлечен электрон, также будет наблюдаема, поскольку отсутствие отрицательного заряда в равномерном распределении воспринимается, как присутствие равного по величине положительного заряда. Эта положительно заряженная частица будет к тому же обладать положительной массой, и направление ее движения будет совпадать с направлением силы тяжести.

— Вы хотите сказать, что дырка, или положительно заряженная частица, будет всплывать, а не тонуть? — с удивлением спросил дельфин.

— Совершенно верно. Не сомневаюсь, что вам приходилось неоднократно видеть, как различные предметы опускаются на дно, увлекаемые силой тяжести, иногда это были предметы, брошенные за борт с судна, иногда сами суда.

— Но послушайте, — прервал самого себя П.А.М. — Видите эти крохотные серебристые предметы, поднимающиеся к поверхности? Их движение также обусловлено действием силы тяжести, но движутся они в противоположную сторону.

— Но ведь это же пузырьки, — заметил дельфин. — Они, должно быть, оторвались от чего-то, что содержало воздух, когда оно перевернулось или разбилось, ударившись о каменистое дно.

— Вы совершенно правы, это действительно пузырьки, но ведь вам не приходилось видеть, чтобы пузырьки всплывали в вакууме? Следовательно, мой океан не пуст.

— Что и говорить, теория очень остроумна, — согласился дельфин, — только верна ли она?

— Когда я предложил ее в 1930 г., — ответил П.А.М., — никто в нее не поверил. В значительной мере в этом недоверии был виноват я сам, поскольку первоначально предполагал, что положительно заряженные частицы представляют собой не что иное, как хорошо известные экспериментаторам протоны. Вы, конечно, знаете, что протон в 1840 раз тяжелее электрона, но я тогда питал надежду на то, что с помощью одного математического трюка мне удастся объяснить возросшее сопротивление ускорению под действием данной силы и получить число 1840 теоретически. Но из моей затеи ничего не вышло, и материальная масса пузырьков в моем океане оказалась в точности равной массе обычного электрона. Мой коллега Паули, которому я не могу отказать в чувстве юмора, носился с идеей того, что он называл «Вторым Принципом Паули». По его

вычислениям выходило, что если обычный электрон приблизится к дырке, образовавшейся при извлечении одного электрона из моего океана, то за ничтожно малое время он заполнит собой дырку. Следовательно, если протон атома водорода действительно был бы «дыркой», то обращающийся вокруг него электрон мгновенно заполнил бы эту дырку, и обе частицы аннигилировали бы со вспышкой света, или, лучше сказать, со вспышкой гамма-излучения. То же самое произошло бы и с атомами всех других элементов. Второй Принцип Паули требовал также, чтобы любая выдвинутая физиком теория была применима и к материи, из которой состоит тело самого физика, поэтому я аннигилировал бы прежде, чем успел бы поведать свою идею кому-нибудь еще. Вот так!

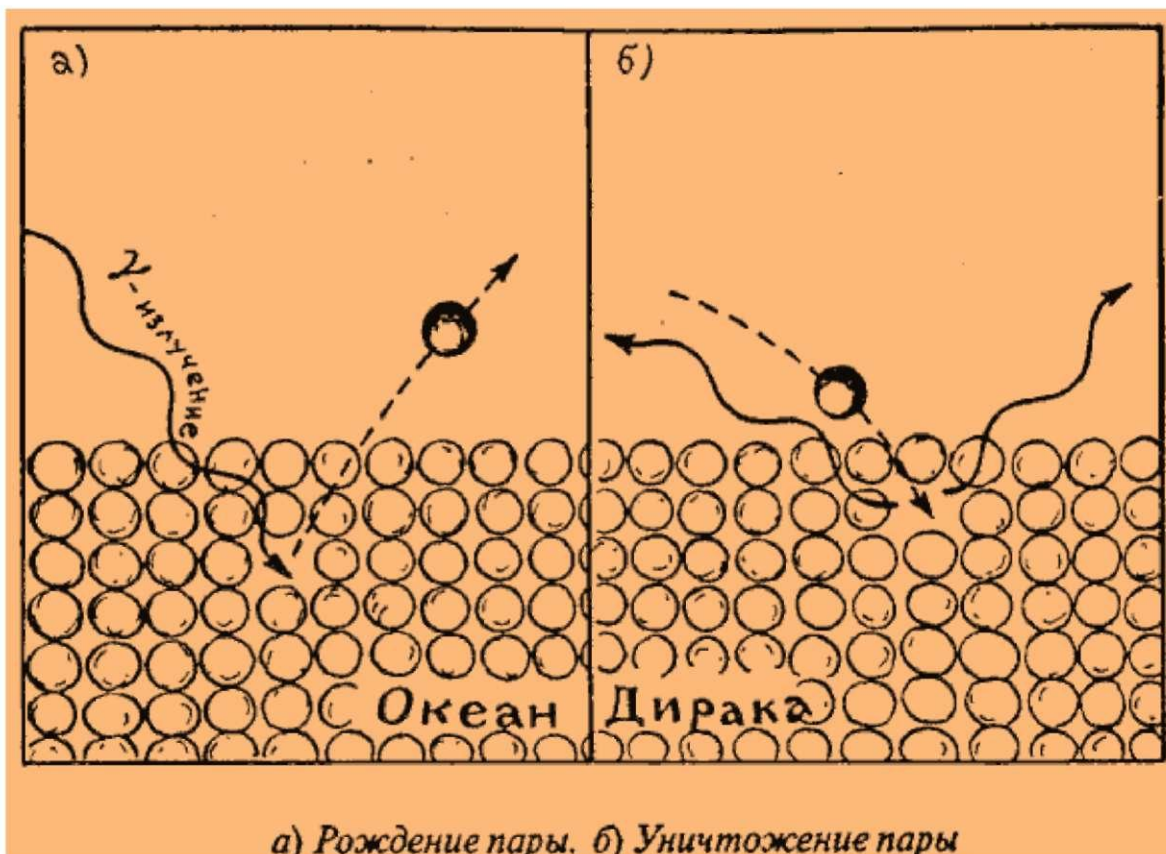
И с этими словами П.А.М. исчез, испустив яркую вспышку света.

— Сэр, — послышался над ухом мистера Томпкина чей-то раздраженный голос, — вы можете сколько угодно спать на лекции, если вам так нравится, но не храпите так громко! Я не могу расслышать ни слова из того, что говорит профессор.

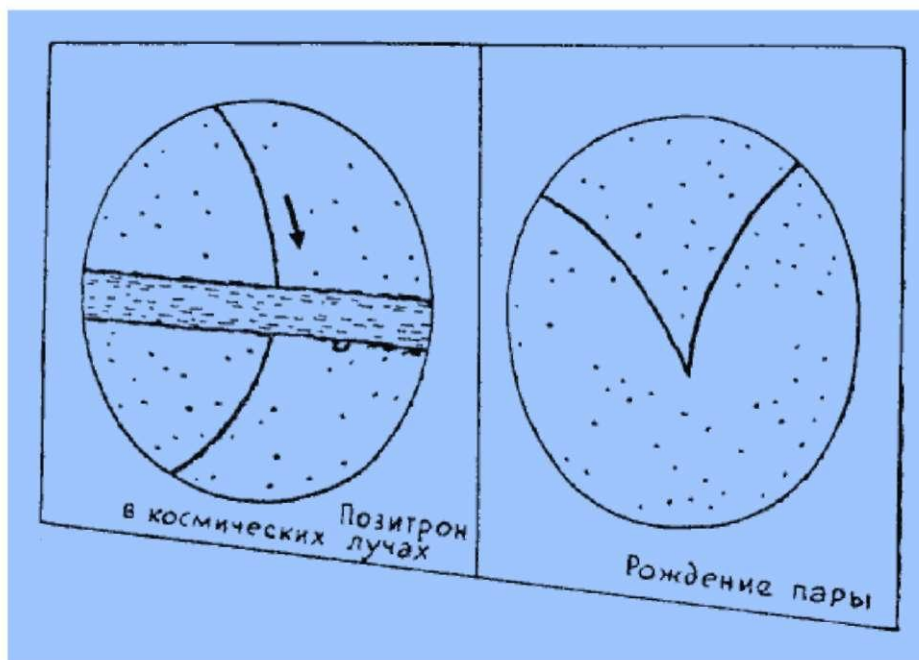
Открыв глаза, мистер Томпкинс увидел снова переполненную лекционную аудиторию и старого профессора, который продолжал:

— Посмотрим, что произойдет, когда странствующая дырка встречает на своем пути лишний электрон, занятый поиском местечка поудобнее в океане Дирака. Ясно, что в результате такой встречи лишний электрон неизбежно свалится в дырку, заполнит ее и удивленный физик, наблюдая этот процесс, отметит явление *взаимной аннигиляции* положительного и отрицательного электронов. Высвободившаяся при падении электрона в дырку энергия испускается в виде коротковолнового излучения и представляет собой лишь остаток от двух электронов, поглотивших друг друга, как два волка из известной детской сказки.

Но можно представить себе и обратный процесс, в котором пара частиц, состоящая из отрицательного и положительного электронов, рождается из ничего под действием мощного внешнего излучения. С точки зрения теории Дирака, рождение пары представляет собой просто выбивание электрона из непрерывного распределения, и рассматривать его следовало бы не как рождение, а как разделение двух противоположных по знаку электрических зарядов. На рисунке, который я сейчас покажу вам (с. 205), эти два процесса рождения и уничтожения электронов изображены весьма условно и схематично, но, как вы видите, ничего загадочного в них нет. Должен заметить, что хотя процесс рождения пары, строго говоря, должен происходить в абсолютном вакууме, вероятность его очень мала. Можно сказать, что распределение электронов в вакууме слишком гладко, чтобы распасться. С другой стороны, в присутствии тяжелых материальных частиц, служащих точкой шоры для гамма-излучения, внедряющегося в распределение электронов, вероятность рождения пары сильно возрастает, и процесс становится наблюдаемым.



Ясно, что позитроны, рожденные описанным выше образом, не могут существовать очень долго и вскоре аннигилируют при встрече с одним из отрицательных электронов, обладающих в нашем уголке Вселенной большим численным преимуществом. Именно этим объясняется сравнительно позднее открытие таких замечательных частиц, как позитроны: первое сообщение о положительно заряженных электронах было сделано лишь в августе 1932 г. (теория Дирака была опубликована в 1930 г.) калифорнийским физиком Карлом Андерсоном, который, занимаясь исследованием космического излучения, обнаружил частицы, во всех отношениях напоминавших обычные электроны, но имевших одно важное отличие: вместо отрицательного заряда эти частицы несли положительный заряд. Вскоре после открытия Андерсона мы научились очень просто получать электрон-позитронные пары в лабораторных условиях, пропуская сквозь какое-нибудь вещество мощный поток высокочастотного излучения (радиоактивного гамма-излучения).



На следующем слайде, который я хочу показать вам, вы увидите снимки позитронов, обнаруженных в космическом излучении с помощью камеры Вильсона, и самого процесса рождения пары. Камера Вильсона — один из самых полезных

приборов современной экспериментальной физики. Действие ее основано на том, что любая частица с ненулевым электрическим зарядом, пролетая через газ, образует вдоль своего трека множество ионов. Если газ насыщен водяными парами, то крохотные капельки воды конденсируются на этих ионах, образуя тонкий слой тумана, тянущийся вдоль всего трека. Освещая эту полоску тумана сильным пучком света на темном фоне, мы получаем великолепные картины, на которых отчетливо различимы все детали движения.

На первой из двух картинок, спроецированных на экран, вы видите оригинал снимка позитрона, обнаруженного Андерсоном в космическом излучении. Замечу, что это самый первый из когда-либо сделанных снимков позитрона. Широкая горизонтальная полоса, идущая через весь снимок, — след толстой свинцовой пластины, положенной поперек камеры Вильсона, а трек позитрона выглядит, как тонкая искривленная царапина, идущая через снимок. Трек искривлен потому, что во время эксперимента камера Вильсона была помещена в сильное магнитное поле, повлиявшее на движение позитрона. Свинцовая пластина и магнитное поле понадобились Андерсону для того, чтобы определить знак электрического заряда, переносимого частицей. Сделать это можно на основе следующих соображений. Известно, что производимое магнитным полем изгибание траектории зависит от знака заряда движущейся частицы. В эксперименте Андерсона магнит расположен так, что отрицательно заряженные электроны отклоняются от первоначального направления движения влево, а положительно заряженные электроны — вправо. Следовательно, если частица на снимке двигалась вверх, то она должна была нести отрицательный заряд. Но как узнать, в какую сторону двигалась частица? Для этого и понадобилась Андерсону свинцовая пластина. Пройдя сквозь свинцовую пластину, частица неизбежно теряет некую часть своей первоначальной энергии, и поэтому изгибающее

действие магнитного поля усиливается. На снимке, который вы видите на слайде, трек изогнут сильнее под свинцовой пластиной (различие в изгибах не слишком видно на глаз, но отчетливо заметно при измерении). Следовательно, частица двигалась сверху вниз и несла положительный заряд.

На правом снимке (с. 206), полученном Джеймсом Чедвиком из Кембриджского университета, вы видите рождение пары в камере Вильсона. Сильное гамма-излучение поступает в камеру снизу и, не оставляя на снимке видимых следов, порождает в центре камеры пару частиц, которые разлетаются в сильном магнитном поле в разные стороны. Глядя на этот снимок, вы можете гадать, почему позитрон (на снимке он слева) не аннигилирует на своем пути через газ. Ответ на этот вопрос также дает теория Дирака, и этот ответ понятен каждому, кто играет в гольф. Если, поставив шар на травяное поле, вы ударите по нему слишком сильно, то шар не попадет в лунку, даже если вы точно прицелились. Произойдет нечто иное: быстро движущийся шар просто перепрыгнет через лунку и покатится дальше. Точно так же быстро движущийся позитрон не попадет в дырку Дирака, покауда его скорость существенно не уменьшится. Поэтому позитрон имеет большую вероятность аннигилировать в конце траектории, когда столкновения с другими частицами по дороге основательно замедлят его. И, как показывают тщательные наблюдения, излучение, сопровождающее любой процесс аннигиляции, действительно обнаруживается в конце траектории позитрона. В этом — еще одно подтверждение теории Дирака.

Нам остается еще обсудить два общих вопроса. До сих пор я рассматривал отрицательно заряженные электроны как лишние брызги переполненного океана Дирака, а позитроны — как дырки в нем. Но вполне допустима и противоположная точка зрения, согласно которой обычные электроны надлежит рассматривать как дырки, а позитроны — как выброшенные частицы. Для этого нам необходимо лишь предположить, что океан Дирака не переполняется, а, наоборот, всегда испытывает недостаток частиц. В этом случае распределение Дирака можно наглядно представить как нечто напоминающее кусок швейцарского сыра с множеством дыр в нем. Из-за общей нехватки частиц дырки будут существовать всегда, и даже если какая-нибудь частица окажется выброшенной из распределения, она вскоре снова упадет в одну из дырок. Следует сказать, однако, что как с физической, так и с математической точки зрения обе картины абсолютно эквивалентны, и поэтому совершенно безразлично, какой из картин мы отдадим предпочтение.

Второе замечание можно сформулировать в виде следующего вопроса: «Если в той части Вселенной, где мы обитаем, существует явное численное преобладание отрицательно заряженных электронов, то можно ли предположить, что где-то в другой части Вселенной численное преимущество наблюдается за положительно заряженными электронами?» Иначе говоря, компенсируется ли переполнение океана Дирака в нашей окрестности недостатком отрицательно заряженных электронов где-то в другом месте?

Ответить на этот чрезвычайно интересный вопрос очень трудно. Действительно, так как атомы, состоящие из положительно заряженных электронов, которые обращаются вокруг отрицательно заряженного ядра, давали бы такие же оптические картины, как и обычные атомы, не существует способа ответить на этот вопрос с помощью спектроскопических наблюдений. Судя по всему, что мы знаем, вполне возможно, что образование вещества где-нибудь в Туманности Андромеды происходит «наоборот» по отношению к привычной для нас схеме, но единственный способ подтвердить или опровергнуть подобную догадку состоит в том, чтобы раздобыть кусочек того вещества и проверить, не аннигилирует ли оно при соприкосновении с земным веществом. Разумеется, в случае аннигиляции последует ужасный взрыв! В последнее время стали поговаривать о том, что некоторые метеориты, взорвавшиеся при вхождении в земную атмосферу, возможно, состояли из такого «перевернутого» вещества, но я не думаю, чтобы подобные разговоры следовало принимать всерьез. Не исключено, что вопрос о переполнении океана Дирака в одних частях Вселенной и нехватке частиц в других ее частях навсегда останется без ответа.

Глава 8

Мистер Томпкинс знакомится с японской кухней

Однажды Мод отправилась на выходной навестить тетушку в Йоркшире, и мистер Томпкинс пригласил профессора отобедать с ним в знаменитом японском ресторане. Расположившись на мягких подушках за низким столиком, они пробовали деликатесы японской кухни и потягивали из чашечек сакэ.

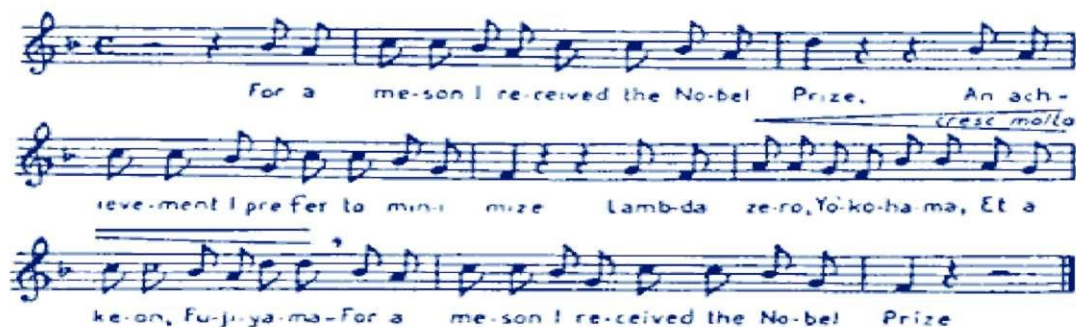
— Скажите, пожалуйста, — обратился к профессору мистер Томпкинс, — доктор Таллеркин упомянул в своей лекции, что протоны и нейтроны удерживаются в ядре особыми силами сцепления. Это те самые силы, которые удерживают электроны в атоме?

— О, нет! — возразил профессор. — Ядерные силы представляют собой нечто совершенно другое. Атомные электроны притягиваются к ядру обычными электростатическими силами, впервые подробно исследованными французским физиком Шарлем Огюстом де Кулоном в конце XVIII века. Это сравнительно слабые силы, убывающие обратно пропорционально квадрату расстояния от центра. Ядерные силы имеют совершенно иную природу. Когда протон и нейтрон сближаются вплотную, но не соприкасаются, то между ними ядерные силы практически не действуют. Но как только частицы входят в прямой контакт, между ними возникает необычайно мощная сила, которая удерживает их вместе. В этом смысле протон и нейтрон напоминают два кусочка липкой ленты, которые не притягивают друг друга даже на малых расстояниях, но становятся неразлучными, как братья, стоит лишь им соприкоснуться. Физики называли силы, удерживающие протоны и нейтроны в ядре, *сильным взаимодействием*. Эти силы

не зависят от электрического заряда двух частиц и с одинаковой интенсивностью действуют и между двумя нейтронами, и между протоном и нейтроном, и между двумя протонами.

— Существуют ли какие-нибудь теории, объясняющие сильное взаимодействие? — спросил мистер Томпкинс.

— Существуют. В начале 30-х годов японский физик Хидеки Юкава высказал гипотезу о том, что сильное взаимодействие обусловлено обменом какой-то неизвестной частицей между двумя нуклонами (нуклон — это собирательное название протона и нейтрона). Когда два нуклона сближаются, между ними туда и обратно начинают прыгать какие-то загадочные частицы, что и приводит к возникновению сильной связи, удерживающей нуклоны вместе. Юкаве удалось теоретически оценить массу гипотетических частиц. Оказалось, что она примерно в 200 раз больше массы электрона, или примерно в 10 раз меньше массы протона или нейтрона. Такие частицы получили название мезатронов. Но отец Вернера Гейзенберга, бывший профессором классических языков, возразил против столь грубого нарушения древнегреческого языка. Дело в том, что название электрон происходит от греческого $\eta\lambda\epsilon\kappa\tau\rho\nu$ (янтарь), а название протон происходит от греческого $\pi\rho\acute{\omega}\tau\omicron\nu$ (первый). Название же частицы Юкавы было образовано от греческого $\mu\acute{\epsilon}\sigma\omicron\nu$ (середина), в котором нет буквы ρ . Выступив на Международной конференции физиков, Гейзенберг-отец предложил заменить название мезатрон на мезон. Некоторые французские физики возражали потому, что несмотря на другое написание новое название звучит, как французское слово *maison* (дом, домашний очаг). Однако их доводы не были приняты во внимание коллегами из других стран, и новый термин прочно укоренился в ядерной физике.



Но взгляните на сцену. Сейчас нам покажут мезонное представление!

Действительно, на сцене появились шесть гейш, которые начали играть в бильбоке: в каждой руке у гейш было по чашке и они ловко перебрасывали шарик из одной чашки в другую и обратно. Между тем на заднем плане появился мужчина и запел:

For a meson I received the Nobel Prize,
An achievement I prefer to minimize.

Lambda zero, Yokohama,
Eta keon, Fujiyama —
For a meson I received the Nobel Prize.
They proposed to call it Yukon in Japan,
I demurred, for I'm a very modest man.
Lambda zero, Yokohama,
Eta keon, Fujiyama —
They proposed to call it Yukon in Japan.

(За мезон я получил Нобелевскую премию,
Но хотел бы, чтобы об этом поменьше шумели.
Лямбда ноль, Иокогама,
Эта каон, Фудзияма —
За мезон я получил Нобелевскую премию.
В Японии мезон предпочитают называть юконом,
Я противлюсь этому, так как человек я очень
скромный.
Лямбда ноль, Иокогама,
Эта каон, Фудзияма —
В Японии мезон предпочитают называть юконом.)

— А почему выступают три пары гейш? — спросил мистер Томпкинс.

— Они изображают три возможных варианта обмена мезонами, — пояснил профессор. — Мезоны бывают трех типов: положительно заряженные, отрицательно заряженные и электрически нейтральные. Возможно, что ядерные силы порождены мезонами всех трех типов.

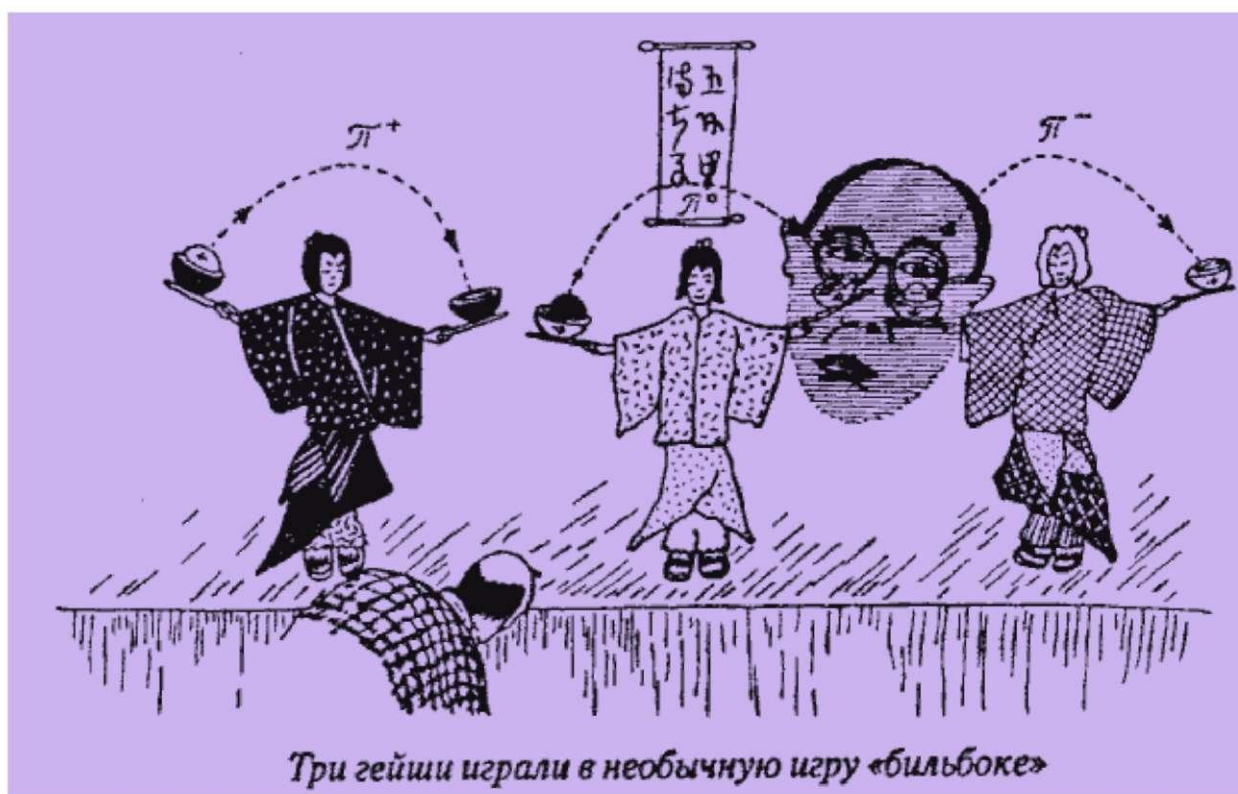
— Итак, ныне существуют восемь элементарных частиц, — подвел итог своим размышлениям мистер Томпкинс и принялся считать на пальцах, — нейтроны, протоны (положительно и отрицательно заряженные), положительно и отрицательно заряженные электроны и мезоны трех сортов.

— Нет! — воскликнул профессор. — Элементарных частиц сейчас известно не восемь, а ближе к восьмидесяти. Сначала выяснилось, что существуют две разновидности мезонов, тяжелые и легкие. Тяжелые мезоны физики обозначили греческой буквой пи и назвали *пионами*, а легкие — греческой буквой мю и назвали *мюонами*. Пионы рождаются на границе атмосферы при столкновении протонов очень высокой энергии с ядрами газов, образующих воздух. Но пионы очень нестабильны и распадаются, прежде чем достигнут поверхности Земли, на мюоны и нейтрино (самые загадочные из всех частиц), которые не обладают ни массой, ни зарядом, а только переносят энергию. Мюоны живут несколько дольше, около нескольких микросекунд, поэтому они успевают достигнуть поверхности Земли и распадаются на наших глазах на обычный электрон и два нейтрино. Существуют также частицы, обозначаемые греческой буквой ка и называемые *каонами*.

— А какие из частиц используют эти гейши в своей игре? — поинтересовался мистер Томпкинс.

— По-видимому, пионы, скорее всего нейтральные (они играют наиболее важную роль), но я не вполне уверен. Большинство новых частиц, открываемых ныне почти каждый месяц, настолько короткоживущие, даже если они движутся со скоростью света, что распадаются на расстоянии нескольких сантиметров от места рождения, и поэтому даже чувствительные приборы, запускаемые в атмосферу на шарах, «не замечают» их.

Но теперь у нас есть мощные ускорители частиц, способные разгонять протоны до столь же высоких энергий, какие те достигают в космическом излучении, т. е. до многих тысяч миллионов электрон-вольт. Одна из этих машин под названием лоуренстрон расположена здесь неподалеку, ближе к вершине холма, и я буду рад показать ее вам.



После непродолжительной поездки на автомашине профессор и мистер Томпкинс подъехали к огромному зданию, внутри которого находился ускоритель. Войдя в здание, мистер Томпкинс был потрясен сложностью гигантского сооружения. Но по заверению профессора, ускоритель в принципе был не более сложен, чем праща, из которой Давид убил Голиафа. Заряженные частицы инжигировались (поступали) в центре гигантского барабана и, двигаясь по раскручивающимся спиральям, ускорялись переменными электрическими импульсами. Движением частиц управляет сильное магнитное поле.

— Мне кажется, я уже видел нечто подобное, — сказал мистер Томпкинс, — когда несколько лет назад посетил циклотрон, который назывался «атомной дробилкой».

— Вы совершенно правы, — подтвердил профессор. — Циклотрон, который вы тогда видели, был изобретен доктором Лоуренсом. Ускоритель, который вы видите здесь, основан на том же принципе, но он может разгонять частицы уже не до нескольких миллионов электрон-вольт, а до многих тысяч миллионов электрон-вольт. Два таких ускорителя были недавно сооружены в Соединенных Штатах. Один из них находится в Беркли (штат Калифорния) и называется *бэватрон*, поскольку разгоняет частицы до энергий в миллиарды электрон-вольт. Это чисто американское название, так как только в Америке тысячу миллионов принято называть биллионом. В Великобритании биллионом называется миллион миллионов, и никто в доброй старой Англии еще не пытался достичь столь высоких энергий. Другой американский ускоритель частиц находится в Брукхейвене, Лонг-Айленд, и называется *космотрон*. Это название несколько претенциозно, так как энергии, достижимые в космическом излучении, часто намного превышают те, до которых разгоняет частицы космотрон. В Европе, в Европейском центре ядерных исследований (ЦЕРН) близ Женевы, построены ускорители, сравнимые с двумя американскими ускорителями. В России, недалеко от Москвы, построен еще один ускоритель такого же типа, общеизвестный под названием *хрущевтрон*. Возможно, что теперь он будет переименован в *брежневтрон*.

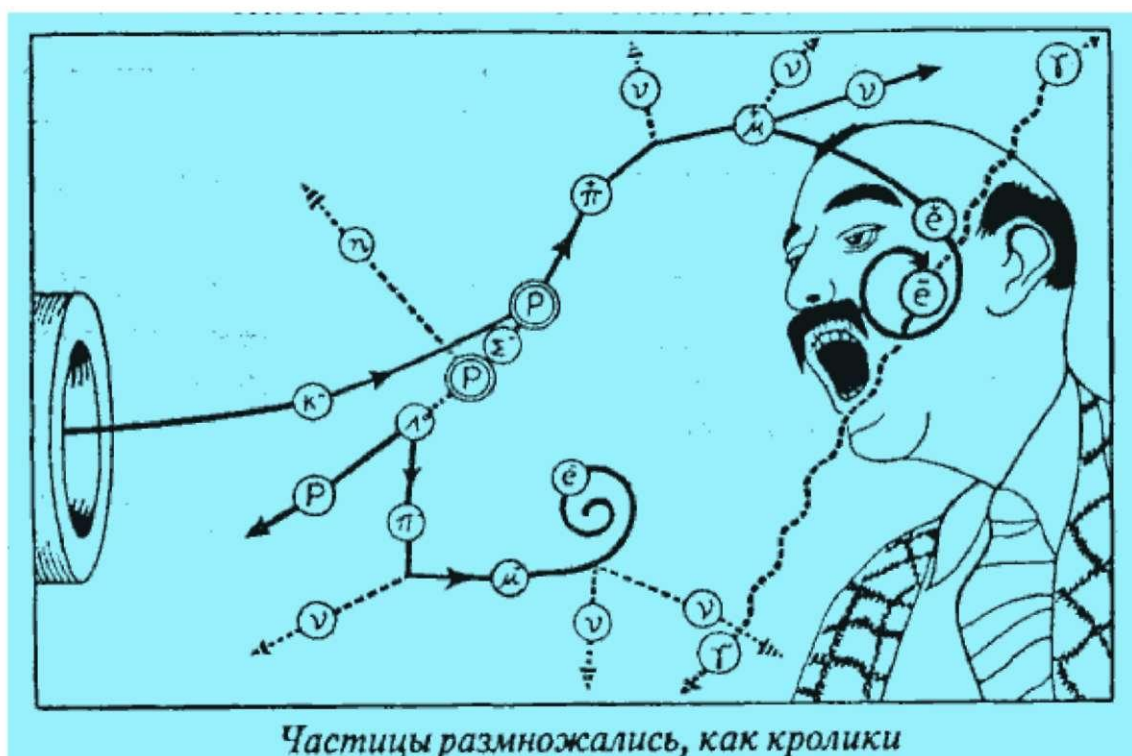
Оглядевшись по сторонам, мистер Томпкинс обратил внимание на дверь, на которой красовалась надпись:

ЖИДКИЙ ВОДОРОД АЛЬВАРЕСА **ВАННОЕ ОТДЕЛЕНИЕ**

— А что за этой дверью? — спросил он.

— О! — ответил профессор. — Видите ли, лоуренстрон производит все больше и больше различных элементарных частиц все большей и большей энергии. Их приходится анализировать, наблюдая траектории и вычисляя массы, времена жизни, взаимодействия и многие другие свойства, такие как странность, четность и т. д. В давние времена для наблюдения траекторий использовалась так называемая камера Вильсона, за создание которой Ч. Т. Р. Вильсон в 1927 г. получил Нобелевскую премию. В то время быстрые электрически заряженные частицы с энергией в несколько миллионов электрон-вольт, исследуемые физиками, пропускались через камеру со стеклянной крышкой, наполненную воздухом, почти до предела насыщенным водяными парами. Когда дно камеры резко опускалось, воздух вследствие расширения охлаждался и водяной пар

становился *перенасыщенным*. В результате некоторая доля пара конденсировалась в крохотные водяные капельки. Вильсон обнаружил, что такая конденсация паров в воду происходит гораздо быстрее вокруг ионов, т. е. электрически заряженных частиц газа. Но вдоль траекторий электрически заряженных частиц, пролетающих сквозь камеру, газ ионизируется. В результате непрозрачные полоски тумана, освещаемые источником света, расположенным на стенке камеры, становятся видимыми на выкрашенном в черный цвет дне камеры. Вспомните снимки, которые я показывал вам на прошлой лекции.



В случае частиц из космических лучей с энергиями, тысячекратно превосходящими энергии частиц, которые мы изучали до сих пор, ситуация иная потому, что треки частиц становятся очень длинными и камеры Вильсона, заполненные воздухом, слишком малы для того, чтобы можно было проследить весь трек частицы от начала до конца, поэтому наблюдению доступна лишь небольшая часть траектории.

Большой шаг вперед был недавно сделан американским физиком Дональдом А. Глезером, которому в 1960 г. была присуждена за это Нобелевская премия. Как рассказывает сам Глезер, однажды он сидел в баре и угрюмо наблюдал за пузырьками, поднимающимися в стоявшем перед ним бокале пива. Внезапно ему пришла в голову идея: «Если Ч. Т. Р. Вильсон мог изучать капельки жидкости в газе, то почему бы мне не заняться изучением пузырьков газа в жидкости?»

— Не стану вдаваться в технические детали, — продолжал профессор, — и касаться трудностей, возникших на пути к техническому воплощению идеи Глезера. Вам все равно они были бы непонятны. Скажу только, что для

надлежащего функционирования пузырьковой камеры (такое название получило изобретение Глезера) наиболее подходящей жидкостью оказался жидкий водород, температура которого составляет около двухсот пятидесяти градусов по Фаренгейту ниже температуры замерзания воды. В соседней комнате стоит большой контейнер; построенный Луисом Альваресом и заполненный жидким водородом. Обычно его называют «ванной Альвареса».

— Бр-р-р! — поежился мистер Томпкинс. — Для меня холодновато!

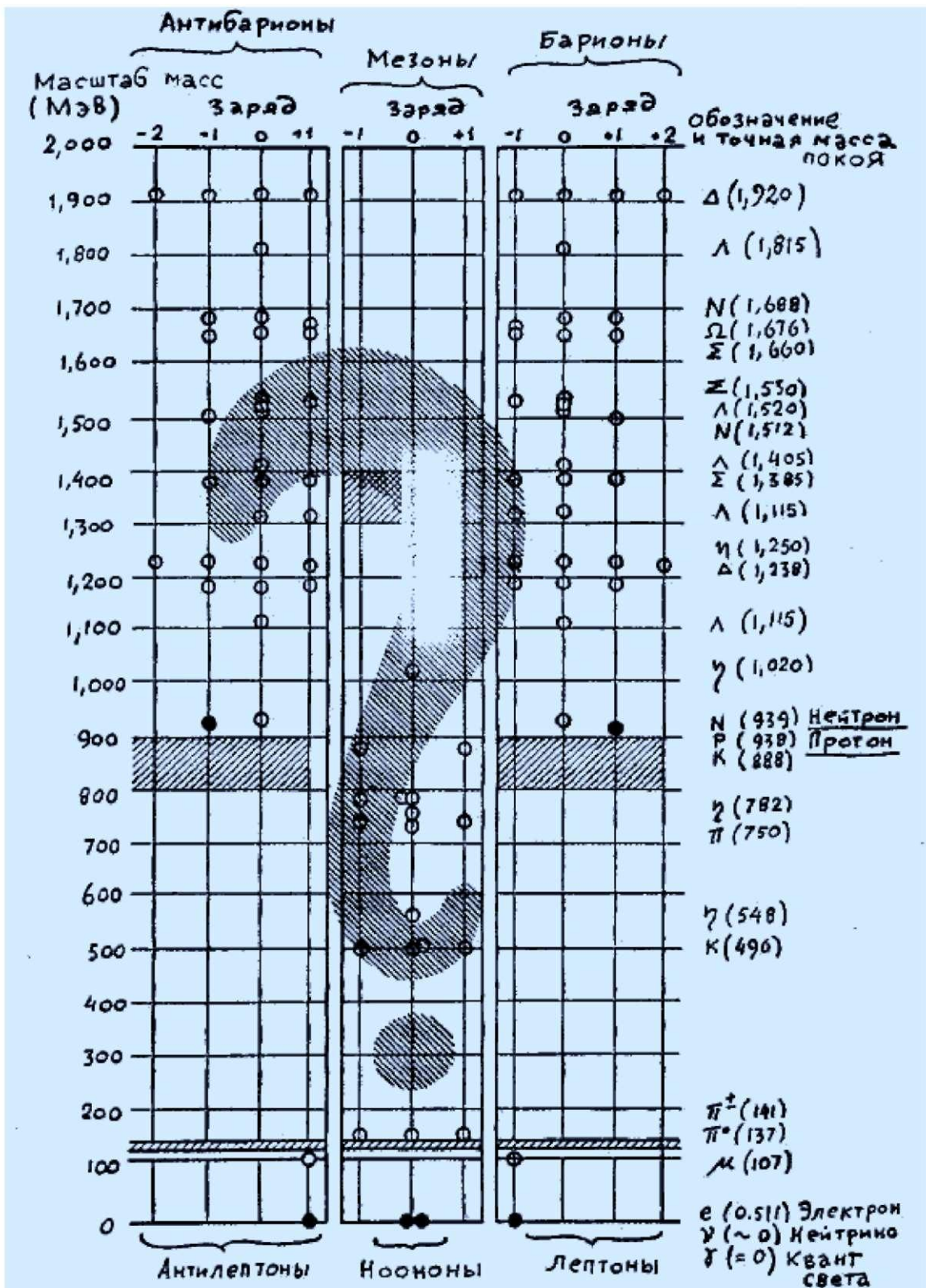
— Вам вовсе не нужно лезть в ванну. Вполне достаточно наблюдать за траекториями частиц сквозь прозрачные стенки.

Ванная функционировала как всегда, и камеры со вспышкой, расположенные вокруг нее, непрерывно делали снимок за снимком. Сама ванна была помещена внутри большого электромагнита, изгибавшего траектории частиц, чтобы затем по изгибу экспериментаторы могли оценивать скорость их движения.

— Производство одного снимка занимает несколько минут, — пояснил Альварес. — В день получается до нескольких сотен снимков, если установка не выходит из строя и не требует какого-нибудь ремонта. Каждый снимок подвергается тщательному изучению, все треки анализируются, а их кривизна тщательно измеряется. Анализ и измерения занимают от нескольких минут до часа в зависимости от того, насколько интересен снимок и насколько быстро справляется с работой девушка.

— Почему вы сказали «девушка»? — прервал его мистер Томпкинс. — Разве это чисто женское занятие?

— Разумеется, нет, — ответил Альварес. — Многие из наших девушек в действительности мальчики. Но когда мы говорим о тех, кто занимается обработкой снимков, то называем их девушками независимо от пола. Термин «девушка» означает единицу эффективности и точности. Когда вы говорите «машинистка» или «секретарь», то обычно представляете себе женщину, а не мужчину. Так вот, для анализа всех снимков, получаемых в нашей лаборатории, нам понадобились бы сотни девушек, что превратилось бы в нелегкую проблему. Поэтому мы рассылаем множество наших снимков в другие университеты, не имеющие достаточно средств, чтобы построить лоуренстроны и пузырьковые камеры, но располагающие суммами денег, которых вполне хватает на покупку приборов для анализа наших снимков.



Посложнее, чем таблица Менделеева! (Из статьи Дж. Ф. Чоу, М. Гелл-Манна и А. Розенфельда, опубликованной в февральском номере журнала «Scientific American» за 1964 г.)

— Такого рода снимки получаете только вы или кто-нибудь еще? — поинтересовался мистер Томпкинс.

— Аналогичные ускорители имеются в Брукхейвенской Национальной Лаборатории на Лонг-Айленде в Нью-Йорке, в ЦЕРНе (Европейском центре ядерных исследований) близ Женевы и в Лаборатории «Щелкунчик» неподалеку от Москвы в России. Все эти лаборатории заняты поиском иголки в стоге сена и, что самое удивительное, время от времени им все же удается найти иголку!

— А для чего ведется эта кропотливая работа? — спросил в удивлении мистер Томпкинс.

— Чтобы искать и находить новые элементарные частицы (найти которые, кстати сказать, гораздо труднее, чем иголку в стоге сена!) и исследовать взаимодействие между ними. Здесь на стене таблица известных элементарных частиц и она уже сейчас содержит больше частиц, чем элементов в Периодической системе Менделеева.

— А почему столь чудовищные усилия предпринимаются лишь для того, чтобы найти новые частицы? — продолжал удивляться мистер Томпкинс.

— Такова наука, — ответил профессор, — попытка человеческого разума понять все, что нас окружает, будь то гигантские звездные галактики, микроскопические бактерии или элементарные частицы. Познавать окружающий мир захватывающе интересно, и поэтому мы занимаемся этим.

— А не способствует ли развитие науки достижению практических целей, увеличивая благосостояние людей и делая их жизнь более удобной?

— Разумеется, способствует, но это лишь второстепенная цель. Не думаете же вы, что основное назначение музыки состоит в том, чтобы учить горнистов будить по утрам солдат, сзывать их на завтраки, обеды и ужины или призывать их на битву? Говорят: «Любопытство сгубило кошку». Я говорю: «Любознательность рождает ученого».

С этими словами профессор пожелал мистеру Томпкинсу спокойной ночи.

* * *

Замечательный физик-теоретик Георгий Антонович (Джордж) Гамов (1904-1968) не был узким специалистом. Он оставил заметный след в квантовой механике, атомной и ядерной физике, астрофизике, космологии и биологии. Его идеи, яркие и оригинальные, не раз прокладывали новые направления научных исследований. Ему принадлежат пионерские работы по квантовой теории альфа-распада и туннельному эффекту, уровням энергии в ядре, моделям звезд с термоядерными источниками энергии, роли нейтрино при вспышках сверхновых и новых, образованию химических элементов путем захвата нейтронов, реликтовому излучению и генетическому коду.

Не менее обширно, оригинально и ярко литературное наследие Г. А. Гамова. Его перу принадлежит увлекательная автобиография «Моя мировая линия» и целая россыпь замечательных научно-популярных книг, таких, как «Мистер Томпкинс в Стране Чудес», «Мистер Томпкинс исследует атом», «Раз, два, три... бесконечность», «Тридцать лет, которые потрясли физику», «Сотворение Вселенной», «Биография физики», «Звезда под названием Солнце», «Биография Земли», «Планета под названием Земля».

Предлагаемая вниманию читателя книга — первая публикация произведений Г. А. Гамова на русском языке.

**В настоящей книге
выдающегося физика
и популяризатора науки
Георгия Антоновича
ГАМОВА
в фантастических,
но вполне реальных
с научной точки зрения
снах герою книги —
интересующемуся
современной наукой
скромному банковскому
служащему мистеру
Томпкинсу — помогает
старый профессор
физики, просто и
доходчиво объясняющий
необычные явления,
наблюдаемые героем
в мире квантовой
механики, атомной и
ядерной физики, теории
элементарных частиц.**

ИЗДАТЕЛЬСТВО **УРСС**
НАУЧНОЙ И УЧЕБНОЙ ЛИТЕРАТУРЫ



E-mail: URSS@URSS.ru
Каталог изданий
в Internet: <http://URSS.ru>
Тел./факс: 7 (095) 135-44-23
Тел./факс: 7 (095) 135-42-46

1937 ID 13853

