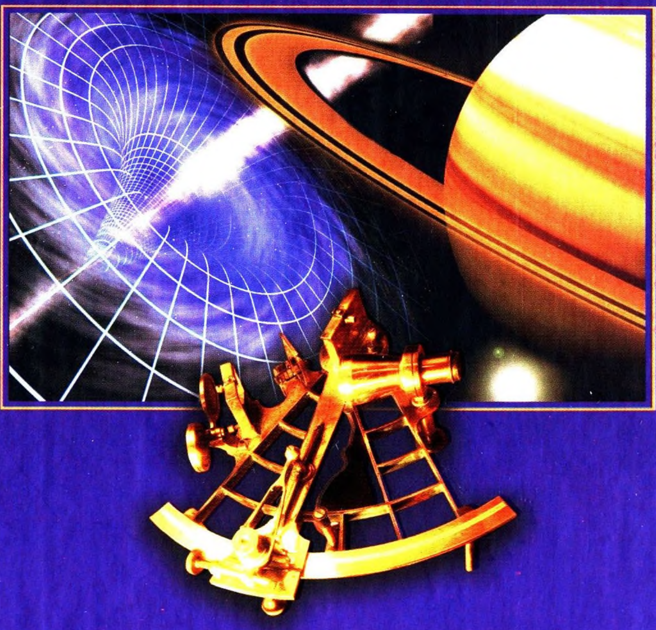
Айзек Азимов

ЧЕТВЕРТОЕ ИЗМЕРЕНИЕ

НАУЧНО-ПОПУЛЯРНАЯ БИБЛИОТЕКА



От Аристотеля до Эйнштейна

ЦЕНТРПОЛИГРАФ

Айзек Азимов

ЧЕТВЕРТОЕ ИЗМЕРЕНИЕ

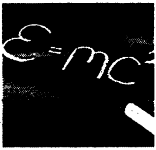
Isaac Asimov

ADDING A DIMENSION

Айзек Азимов

ЧЕТВЕРТОЕ ИЗМЕРЕНИЕ

От Аристотеля до Эйнштейна



Москва
ЦЕНТРПОЛИГРАФ
2006

ББК 72.3
А35

Оформление художника И.А. Озерова

Азимов Айзек

А35 Четвертое измерение. От Аристотеля до Эйнштейна / Пер. с англ. Д.А. Лихачева. — М.: ЗАО Центрполиграф, 2006. — 284 с.

ISBN 5-9524-2262-4

Айзек Азимов приглашает вас в увлекательный мир научных открытий, приводит интересные примеры из истории развития математики, физики, химии, биологии и астрономии, рассматривает труды великих ученых прошлого и настоящего. Благодаря проведенным параллелям мы видим, как наука прошлого повлияла на развитие науки настоящего. Книги А. Азимова — это оригинальное сочетание научной достоверности, яркой образности, мастерского изложения.

ББК 72.3

ISBN 5-9524-2262-4

ВВЕДЕНИЕ

Довольно давно, когда я только начал преподавать, я встретился с неким выдающимся историком науки. В то время я мог относиться к нему исключительно с высокомерной снисходительностью. Мне было жаль человека, который, как мне казалось, вынужден подвизаться на периферии науки. Ему доставалось лишь слабое тепло от далекого солнца развивающейся науки, тогда как я, начинающий исследователь, купался в головокружительном жаре, в самом центре сияния.

За всю мою полную ошибок жизнь я не ошибался настолько сильно. Это я, а не он, бродил по окраинам. Это он, а я не, жил в горниле.

Я пал жертвой очарования новизны — уверенности, что важным является только передний край науки и что все, оставленное позади в ходе этого продвижения, постепенно теряет смысл.

Но верно ли это? Если весной дерево дает почки и распускает зеленую листву, разве листва и является деревом? Если бы существовали только новорожденные веточки и листочки, они образовали бы туманный ореол зелени, подвешенный в воздухе, но ведь это — не дерево! Листья сами по себе — это всего лишь тривиальное трепещущее украшение. Именно в стволе и ветвях величие дерева, это они дают листьям жизнь.

В науке не существует открытий, даже самых революционных, даже основанных на блестящем провидении, которые не вырастали бы из того, что происходило прежде. «Если я видел дальше других, — сказал Исаак Ньютон, — то потому, что стоял на плечах гигантов».

Изучение того, что предшествовало открытию, не умаляет его красоты: так же как постепенное открытие цветка, увиденное с помощью покадровой съемки, удивительнее, чем просто распустившийся цветок, застывший в неподвижности.

На самом деле исключительное внимание к переднему краю может убить даже самую хорошую науку, поскольку рост нельзя наблюдать в самом месте роста. Если изучается только развивающийся край, наука начинает казаться озарением, не имеющим истории развития. Она превращается в Афину, рождающуюся из головы Зевса и с первым дыханием издающую свой пугающий боевой клич.

Как можно мечтать что-то добавить к такой науке? И как можно защититься от горького разочарования, если часть разработанной структуры оказывается неверной? Очарование новизны с ее нарочитой красотой проходит — листва осыпается и жухнет.

Но добавьте еще одно измерение!

Возьмите ореол листвы и соедините его воедино веточками, которые восходят к крупным ветвям, образующим ствол, прочно вросший в землю. Тогда вы увидите древо науки — объект, который является живым, растущим и надежным, — а не трепещущие листочки — невесомые, неуловимые и умирающие с наступлением осенних холодов.

Наука обретает реальность, когда ее рассматривают не как абстракцию, а как конкретную сумму трудов ученых, прошлых и настоящих, живых и умерших. Ни одно научное утверждение, наблюдение или идея не существуют сами по себе. Каждое создано тяжелым трудом какого-то человека, и, если вы незнакомы с этим человеком и миром, в котором он трудился, с предположениями, которые он считал истиной, с представлениями, которые он не мог принять, вы не можете полностью понять это утверждение, наблюдение или идею.

Задумайтесь над некоторыми вещами, которым учит история науки.

Во-первых, поскольку наука возникает как продукт деятельности человека, а не как озарение, она может продолжать развитие как продукт деятельности человека. Если научный закон — это не вечная истина, а всего лишь обобщение, которое, по мнению какого-то человека или группы людей, удобно описывает ряд наблюдений, тогда какому-то другому человеку или группе людей другое обобщение может показаться еще более удобным. Как только становится понятным, что некая научная истина ограничена и не абсолютна, появляется возможность дальнейшего совершенствования. А пока это не понято, нет перспективы.

Во-вторых, история науки раскрывает человеческую природу ученых. Их могут считать злобными, сумасшедшими, холодными, эгоистичными, рассеянными или даже скучными — все это они легко переживают. Но к сожалению, их принято считать и непогрешимыми. Из всех стереотипов в отношении ученых этот, несомненно, оказался самым вредоносным.

Ученые делят со всеми людьми великое и неотъемлемое право временами совершать ошибки, порой — вопиющие ошибки и даже — колоссальные ошибки. Что еще хуже, они порой упрямо и непоколебимо заблуждаются. И поскольку это так, то и сама наука может быть ошибочной в том или ином аспекте.

Современный естествоиспытатель, твердо помнящий о возможной ошибочности науки, защищен от катастрофы. Когда отдельная теория рушится, она не должна уносить с собой веру, надежду и чистую радость человека. Если мы готовы к тому, что теории будут разваливаться, а на их месте будут воздвигнуты более полезные обобщения, то рухнувшая теория представится нам не печальными останками сломанного сегодня, но предвестником нового и более светлого завтра.

В-третьих, следя за развитием определенных тем науки, мы можем испытывать радость и волнение великой битвы с неизвестным. Неверные повороты, ложные улики, неуловимые истины, чуть было не пойманные за полвека до их срока, невоспетые пророки, ложные кумиры, скрытые принципы и картонные силлогизмы только способствуют увлекательности этой борьбы. Благодаря этому то, что мы медленно приобретаем при изучении истории науки, становится более ценным, чем если бы это можно было ухватить, быстро взглянув на передний край науки.

Конечно, может возникнуть практическое соображение: разве не лучше было бы узнать истину сразу же? Разве это не сэкономило бы время и силы?

Да, конечно, сэкономило бы. Но важно не экономить время и силы, а наслаждаться потраченными временем и силами. Иначе зачем человеку вставать до рассвета и выходить по сырости на рыбалку, весь день с удовольствием дожидаясь редкого подергивания лесы — ведь можно было бы, не вставая с постели, позвонить по телефону и заказать в магазине любую рыбу!

Итак, именно по этой причине я представляю этот сборник эссе. Я надеюсь, что изредка какая-то картинка из Науки Прошлого может осветить некий уголок Науки Настоящего.

Часть первая

МАТЕМАТИКА

Глава 1
Т-ФОРМЫ

Меня обвиняли в том, что я питаю безумную страсть к большим числам — и это совершенно верно. Мне и в голову не придет это отрицать. Однако мне позволено будет напомнить, что я в этом не одинок.

Например, в книге «Математика и воображение» (опубликована в 1940 году) авторы, Эдвард Каснер и Джеймс Ньюмен, ввели число, называемое «гугол» — большое и хорошее. Его моментально подхватили авторы популярных книг и статей по математике.

Лично я считаю, что это ужасное название, но его изобрел маленький ребенок одного из авторов, и что оставалось делать любящему отцу? И вот мы навсегда обременены этим названием, основанным на детском лепете.

Гугол был определен как цифра один, за которой следует сто нолей. Так что вот (если только я не обсчитался или не прошла опечатка) перед вами гугол, записанный целиком:

10 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000.

Это, конечно, очень неуклюжий способ записи гугола, но он соответствует нашей системе записи чисел, основанной на числе 10. Чтобы записывать крупное число, мы просто перемножаем десятки, так что сто — это десять, умноженное на десять, которое записывается как 100, тысяча — это десять на десять на десять, записывается как 1000, и так далее. Число нолей в цифре равно числу умножений на десять, так что гугол с сотней нолей, идущих за 1, равен сотне перемноженных десяток. Это можно записать как 10^{100}. А так как 100 — это десять раз по десять, или 10^2, то гугол можно записать даже как 10^{10^2}.

Конечно, такая степенная форма записи (маленькая цифра сверху и справа в таком числе называется степенью) очень удобна, и в любой популярной книге по математике гугол определяется как 10^{100}. Однако для всех, кто любит большие числа, гугол — это только начало, и даже укороченный вариант записи больших чисел недостаточно прост[1].

И поэтому я создал собственную систему записи больших чисел и намерен использовать эту первую главу, чтобы эту систему объяснить. (Оставаться на местах: никто не уходит, пока я не закончу.)

Как мне кажется, проблема состоит в том, что мы используем как основу число 10. Наверное, оно вполне подходило пещерным людям, но мы, люди современные, стали гораздо умнее и знаем множество гораздо более удобных чисел.

Например, годовой бюджет Соединенных Штатов Америки составляет около \$100 000 000 000 (ста

---

[1] Пока я не забыл: правильное название гугола — это «десять дуотригинтиллионов», но мне придется уныло признать, что оно никогда не заменит слова «гугол».

миллиардов долларов). Это равно 1 000 000 000 000 (одному триллиону) десятицентовиков (даймов).

Тогда почему бы нам не взять за основу чисел один триллион? Конечно, мы не можем зрительно представить себе триллион, но почему это должно нас остановить? Мы ведь не можем зрительно представить себе и пятьдесят три. По крайней мере, если бы кто-то показал нам группу предметов и сказал, что их пятьдесят три, то мы не смогли бы определить, правда ли это, не пересчитав их. Поэтому триллион наиболее иллюзорен, чем пятьдесят три: нам нудно пересчитать оба числа, и оба в равной степени поддаются пересчитыванию. Конечно, отсчет одного триллиона займет больше времени, чем отсчет пятидесяти трех, но принцип один и тот же, а я (и это вам любой подтвердит) — человек принципиальный.

Важно сопоставить некое число с чем-то реальным, что можно понять, и мы это сделали: число 1 000 000 000 000 приблизительно равно числу даймов, взятых из вашего и моего карманов (в основном из моего, как я порой мрачно думаю) милым и добрым дядюшкой Сэмом, чтобы делать ракеты и в целом обеспечивать жизнь правительства и страны.

Значит, стоит нам четко представить себе, что такое триллион, и уже достаточно легко вообразить триллион триллионов, триллион триллионов триллионов и так далее. Чтобы не утонуть в этих бесконечных повторениях слова «триллион», давайте будем использовать систему сокращений, которая, насколько я знаю, создана исключительно мною.

Давайте назовем триллион Т-1, триллион триллионов Т-2, а триллион триллионов триллионов — Т-3 и будем таким образом создавать большие числа. (Да, вот отсюда и взялся заголовок главы 1. А вы про что надеялись прочесть?)[1]

Посмотрим теперь, как можно использовать эти числа. Я уже сказал, что Т-1 — это количество даймов, необходимых для жизни Соединенных Штатов в течение года. В этом случае Т-2 будет представлять число даймов, которые понадобятся для того, чтобы обеспечивать Соединенные Штаты в течение триллиона лет. Поскольку такой отрезок времени явно больше, чем тот, в течение которого Соединенные Штаты будут существовать (если мне будет позволено высказать столь непатриотичную мысль), и, скорее всего, больше времени, отпущенного планете Земля, финансовые применения азимовских (гм!) Т-чисел у нас явно закончатся задолго до того, как мы дойдем до Т-2.

Давайте попробуем нечто другое. Масса любого объекта пропорциональна количеству протонов и нейтронов, которые в нем содержатся. Вместе их называют нуклонами. Итак, Т-1 нуклонов составляют столь малое количество массы, что его нельзя рассмотреть в лучший оптический микроскоп, и даже масса Т-2 нуклонов составит всего $1^2/_3$ грамма.

Теперь, казалось бы, у нас появилась возможность пойти по Т-шкале дальше. Например, насколько тяжелы Т-3 нуклонов? Поскольку Т-3 в триллион раз больше, чем Т-2, Т-3 нуклонов имеют массу 1,67 триллиона граммов, или чуть меньше двух миллионов тонн. Похоже, это не так много, как мы ожидали?

На самом деле, однако, Т-числа возрастают с умопомрачительной скоростью. Т-4 нуклонов рав-

---

[1] На самом деле Архимед создал систему чисел, основанную на мириаде, и говорил о мириаде мириад, мириаде мириад мириад и так далее. Но мириад — это всего 10 000, а я использую 1 000 000 000 000, так что, по-моему, Архимед никак не влияет на мою оригинальность. И потом, он опередил меня всего на двадцать два века.

ны массе всех океанов Земли, а Т-5 нуклонов — массе тысячи солнечных систем. Если мы будем настаивать на дальнейшем счете, то Т-6 нуклонов составят массу десяти тысяч галактик, равных нашей, а Т-7 нуклонов окажутся намного массивнее всей известной Вселенной.

Конечно, нуклоны — не единственные субатомные частицы, но даже если мы прибавим электроны, мезоны, нейтрино и прочие части субатомной структуры, нам не получить Т-7. Короче, в видимой Вселенной число субатомных частиц намного меньше Т-7.

Очевидно, что система Т-чисел — мощный метод выражения больших чисел. Как она соотносится с гуголом? Давайте рассмотрим способ превращения обычных степенных чисел в Т-числа и наоборот. Т-1 равно триллиону, или 10^{12}, Т-2 равно триллиону триллионов, или 10^{24}, и так далее. Тогда вам надо только разделить показатель на 12, и вы получите цифровую часть Т-числа, и достаточно умножить цифровую часть Т-числа на 12, чтобы получить показатель для десяти.

Если гугол — это 10^{100}, тогда делим 100 на 12, и вы сразу видите, что его можно выразить как Т-$8^1/_2$. Обратите внимание на то, что Т-$8^1/_2$ больше, чем Т-7, а Т-7, в свою очередь, больше числа субатомных частиц в известной Вселенной. Понадобился бы миллиард триллионов таких Вселенных, чтобы в них содержался гугол субатомных частиц.

Тогда для чего нужен гугол, если он слишком велик, чтобы считать даже самые мелкие материальные объекты, распределенные по наибольшему известному объему?

Я мог бы ответить — ради его собственной, чисто абстрактной красоты...

Но тогда вы все начнете бросать в меня камнями. Вместо этого позвольте мне сказать, что во Вселенной можно считать не только материальные объекты.

Например, рассмотрим обычную колоду игральных карт. Чтобы играть, вы тасуете колоду. Карты располагаются в некой последовательности, и вы сдаете их. Сколько различных последовательностей может образоваться при тасовании колоды? (Поскольку невозможно представить себе больше различных игровых ситуаций, нежели есть последовательностей в перетасованной колоде, этот вопрос должен заинтересовать вашего соседа, который любит играть в покер.)

Ответ найти легко (если знать, где смотреть, а я знаю), и он составляет 80 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000, или 8×10^{67}. В Т-числах это будет что-то около Т-$5^2/_3$. Значит, с обычной колодой карт мы можем пересчитать последовательности и достичь значения, более или менее равного количеству субатомных частиц в галактике.

Если бы вместо 52 карт мы играли 70 (и это вполне приемлемо: насколько я знаю, в канасте используется 108 карт), тогда количество различных последовательностей после перетасовывания чуть превысит гугол.

Так что при анализе карточных игр (не говоря уже о шахматах, экономике или ядерной войне) встречаются такие числа, как гугол, и больше.

Математики интересуются самыми разными видами чисел (как имеющими практическое применение, так и не имеющими), в которых быстро достигаются огромные величины, значительно превышающие гугол.

Обратимся к примеру Леонардо Фибоначчи — самого заметного математика Средневековья (он родился в Пизе, поэтому его также называют Леонардо Пизанский). Где-то около 1200 года, когда

Фибоначчи был в расцвете сил, а крупный торговый город Пиза имел связи с маврами в Северной Африке, Леонардо имел возможность побывать там и воспользоваться плодами мавританского просвещения.

К тому времени мусульманский мир принял новую систему написания цифр, позаимствованную от индусов. Фибоначчи изложил ее в книге «Liber Abaci», опубликованной в 1202 году, представил эти «арабские цифры» и подарил их Европе, которая все еще стонала от варварства римских цифр. (Поскольку арабские цифры всего примерно в триллион раз полезнее римских, то понадобилась всего пара веков, чтобы убедить европейских купцов пойти на это изменение.)

В той же книге Фибоначчи ввел следующую задачу: «Сколько кроликов можно произвести от одной пары в течение года, если каждый месяц каждая пара рождает новую пару, которая со второго месяца своей жизни становится продуктивной, а смерти отсутствуют?» (При этом считается также, что каждая пара состоит из самца и самки и что кролики не возражают против кровосмешения.)

В первый месяц мы начинаем с пары незрелых кроликов, и во второй месяц у нас по-прежнему одна пара, но теперь они созрели. К третьему месяцу они уже произвели новую пару, так что есть две пары — зрелая и незрелая. К четвертому месяцу незрелая пара становится зрелой, а первая пара производит еще одну незрелую пару, так что пар уже три: две зрелые и одна незрелая.

Если хотите, вы можете продолжить рассуждения о том, сколько пар кроликов будет каждый месяц, но я прямо сейчас дам вам последовательность цифр и избавлю вас от хлопот. Вот она:

1, 1, 2, 3, 5, 8, 13, 21, 34, 55, 89, 144.

Как видите, к концу года будет 144 пары кроликов, таков ответ к задаче Фибоначчи.

Последовательность чисел, возникшая из этой задачи, называют *последовательностью Фибоначчи*, а составляют эту последовательность *числа Фибоначчи.* Изучив этот ряд, вы обнаружите, что каждое число (начиная с третьего члена и дальше) является суммой двух предыдущих чисел.

Это значит, что нам не обязательно заканчивать последовательность двенадцатым числом Фибоначчи (F_{12}). Мы можем легко построить F_{13}, сложив F_{11} и F_{12}. Так как 89 плюс 144 равны 233, это и будет F_{13}. Сложение 144 и 233 даст нам 377, или F_{14}. Мы можем продолжить последовательность с помощью F_{15}, равного 610, F_{16}, равного 987, и так далее, сколько пожелаем. Простая арифметика, одно только сложение, даст нам столько чисел Фибоначчи, сколько нам будет угодно.

Конечно, процесс спустя какое-то время становится скучным, поскольку числа Фибоначчи включают в себя все больше цифр и вероятность арифметической ошибки возрастает. Одна арифметическая ошибка в любом месте последовательности, если ее не исправить, сделает неверными все дальнейшие числа последовательности.

Но зачем может понадобиться продолжать последовательность Фибоначчи все дальше и дальше, доводя ее до больших чисел? Ну, у этого ряда есть практические приложения. Он описывает кумулятивный рост, что показала уже задача с кроликами, в природе это распределение листьев на растущей ветке, чешуек на сосновой шишке, семечек в корзинке подсолнуха. Последовательность Фибоначчи также связана с «золотым сечением», которое важно для искусства и эстетики, а не только для математики.

Но помимо этого всегда находятся люди, которых просто завораживают большие числа (не могу объяснить, в чем их притягательность, но поверьте мне: она существует). И если эта притягательность не доходит до того, чтобы заставить ночь за ночью просиживать с пером и чернилами, в наши дни вполне возможно запрограммировать для этой работы компьютер и получать большие числа, которые было бы непрактично вычислять старомодным путем.

В октябре 1962 года в номере журнала «Занимательная математика»[1] приведены числа Фибоначчи с 1-го по 571-е, вычисленные на компьютере IBM 7090. Пятьдесят пятое число Фибоначчи проходит триллионную отметку, так что мы можем сказать, что F_{55} больше Т-1.

Начиная с этого момента примерно через каждые пятьдесят пять чисел Фибоначчи (интервал медленно увеличивается) достигается очередное Т-число. И F_{481} уже превышает гугол. Вернее, оно равно почти полутора гуголам.

Другими словами, эти размножающиеся кролики быстро превзошли бы все мыслимые способы поощрения их размножения. Они перегнали бы любой мыслимый источник пищи, любое вообразимое пространство. Пусть к концу первого года их всего 144, но в конце двух лет их будет почти 50 000, в конце трех — 15 000 000 и так далее. Через тридцать лет число кроликов превысило бы число субатомных частиц, а через сорок лет кроликов стало бы больше гугола.

Конечно, люди размножаются не так быстро, как кролики Фибоначчи, и старые люди умирают. Тем не менее принцип сохраняется. То, чего эти кролики могут достичь за несколько лет, мы сможем за несколько столетий или тысячелетий. До-

---

[1] Это чудесное периодическое издание, которое я рад рекомендовать всем конгруэнтным мне психам.

статочно скоро. Имейте это в виду, когда идет речь о демографическом взрыве.

Для интереса мне хочется записать F_{571}, которое является самым большим числом, приведенным в той статье. (Далее будут цифры и больше, но я их записывать не стану!) Как бы то ни было, F_{571} выглядит так: 96 041 200 618 922 553 823 942 883 360 924 865 026 104 917 411 877 067 816 822 264 789 029 014 378 308 478 864 192 589 088 185 254 331 637 646 183 008 074 629. Это огромное число немного не доходит до Т-10[1].

В качестве еще одного примера больших чисел рассмотрим *простые числа.* Это числа вроде 7, или 641, или 5237, которые можно разделить только на них самих и на 1. Других делителей у них нет. Можно предположить, что по мере продвижения по шкале чисел количество простых будет постепенно уменьшаться — ведь появятся все новые и новые меньшие числа, способные служить делителями для больших.

Однако этого не происходит, о чем знали уже древние греки. Евклид смог очень просто доказать, что если записать все простые числа вплоть до «наибольшего простого числа», то всегда можно будет создать еще большее число, которое либо будет простым само по себе, либо будет иметь простой делитель, который будет больше «наибольшего простого числа». Из этого следует, что «наибольшего простого числа» не существует и что количество простых чисел бесконечно.

---

[1] Уже после написания этой части редактор «Занимательной математики» сообщил мне, что у него есть новые числа Фибоначчи вплоть до F_{1000}. Это F_{1000}, содержащее 209 цифр, немного превышает Т-17.

Итак, попросту невозможно назвать наибольшее простое число. Но вот еще незадача: а какое наибольшее простое число нам известно? Разумеется, было бы приятно назвать некое число и добавить: «Да, количество простых чисел бесконечно. Но вот наибольшее число, про которое мы знаем, что оно — простое». Однако, как только это будет сказано, какой-нибудь увлеченный математик-любитель сможет найти еще большее простое число.

Находить по-настоящему большие простые числа очень непросто. Например, чуть выше я сказал, что 5237 — это простое число. Предположим, вы в этом усомнились. Так как вы меня проверите? Единственный практический способ состоит в том, чтобы перебрать все простые числа, меньшие квадратного корня 5237, и проверить, которые из них являются делителями (если такие найдутся). Это утомительно, но для 5237 достижимо. Но для по-настоящему больших чисел это просто неосуществимо — если не использовать компьютеры.

Поэтому математики искали формулы, которые давали бы простые числа. Пусть эти формулы не могли бы дать все возможные простые числа и их нельзя было бы использовать для проверки любого числа на простоту. Но если можно было хотя бы получать простые числа желаемой величины, то задача нахождения рекордно большого простого числа стала бы тривиальной, с ней было бы покончено.

Однако такой формулы найти так и не удалось. Около 1600 года французский монах Марен Мерсенн предложил отчасти работающую формулу, которая иногда — но не всегда — дает простое число. Это формула: $2^p - 1$, где p — тоже простое число (надеюсь, вы понимаете, что 2^p обозначает число, образованное с помощью перемножения двоек p раз, так что 2^8 равно $2 \times 2 \times 2 \times 2 \times 2 \times 2 \times 2 \times 2$, то есть 256).

Мерсенн утверждал, что его формула даст простые числа, когда p равно 2, 3, 5, 7, 13, 17, 19, 31, 67, 127 или 257. Для малых чисел это достаточно легко проверить. Например, если p равно 3, то формула дает $2^3 - 1$, то есть 7, которое на самом деле является простым числом. Если p равно 7, то $2^7 - 1$ дает 127, простое число. Вы можете проверить это число для любых других значений p, если захотите.

Числа, полученные подстановкой простых чисел в выражение Мерсенна, называются «числами Мерсенна», а если число оказывается простым, то «простыми числами Мерсенна». Они обозначаются заглавными буквами М и значением p. Так, M_3 равно 7, M_7 равно 127 и так далее.

Не знаю, каким принципом руководствовался Мерсенн, определяя, какие простые числа дадут простые числа Мерсенна по его формуле, но в любом случае этот принцип был неправильным. Числа Мерсенна M_2, M_3, M_5, M_7, M_{13}, M_{17}, M_{19}, M_{31} и M_{127} действительно простые, так что Мерсенн нашел не меньше девяти простых чисел Мерсенна. Однако M_{67} и M_{257}, которые Мерсенн назвал простыми, при тщательном исследовании оказались вовсе не простыми. С другой стороны, M_{61}, M_{89} и M_{107}, которые Мерсенн не записал как простые, являются простыми, и это в целом дает двенадцать простых чисел Мерсенна.

В последние годы благодаря компьютерам удалось обнаружить еще восемь простых чисел Мерсенна (согласно апрельскому номеру «Занимательной математики» за 1962 год). Это M_{521}, M_{607}, M_{1279}, M_{2203}, M_{2281}, M_{3217}, M_{4253} и M_{4423}. Затем Дональд Б. Джиллис из университета Иллинойса нашел еще три больших простых числа Мерсенна: это M_{9689}, M_{9941} и M_{11213}.

Самое маленькое из более новых простых чисел Мерсенна, M_{521}, получено вычислением выражения

$2^{521}-1$. Вы берете 521 двойку, перемножаете их и вычитаете единицу. Результат сильно превышает гугол — он выше Т-13.

Чтобы не томить вас ожиданием: самое большое из известных простых чисел Мерсенна, M_{11213}, является, насколько я знаю, самым большим простым числом, известным на сегодняшний день: оно содержит 3375 цифр и, следовательно, равно примерно Т-$281\frac{1}{4}$. По сравнению с ним гугол — это такой пустячок, что даже не поддается разумному описанию.

Древние греки играли с числами, и одна из игр состояла в том, чтобы складывать сомножители целых чисел. Например, сомножители 12 (не считая самого этого числа) — 1, 2, 3, 4 и 6. Каждое из этих чисел — и никакое другое! — кратно 12. Сумма этих сомножителей — 16, которое является большим числом, нежели само 12, поэтому 12 — «избыточное число».

Противоположный пример. Сомножителями для 10 являются 1, 2 и 5, которые в сумме дают 8. Это — меньше самого числа, поэтому 10 — «недостаточное число». (Очевидно, что все простые числа крайне недостаточные.)

Но рассмотрим 6. Его сомножители — это 1, 2 и 3, и при сложении получается 6. Когда сомножители складываются в само число, это — «совершенное число».

Эти идеальные числа за две тысячи лет не нашли никакого применения, но греков они завораживали, а те из них, что были склонны к мистике, поклонялись совершенным числам. Например, можно было утверждать (после того, как греческая культура проникла в иудейско-христианскую): Бог сотворил мир именно за шесть дней потому, что шесть — совершенное число. Его сомножители — это первые три цифры, и они не только в сумме дают шесть, но и их произведение — тоже шесть. Так мог ли Господь не воспользоваться таким удивительным числом!

Не знаю, однако, заметили ли мистики, что лунный месяц почти равен двадцати восьми дням, а 28 — с сомножителями 1, 2, 4, 4 и 14, которые в сумме дают 28, — это совершенное число. Но, увы, лунный месяц равен все-таки $29^1/_2$ дня, и мистиков могло бы озадачить такое пренебрежение со стороны Творца вторым по счету совершенным числом.

А сколько таких удивительных чисел существует? Если учесть, что, когда вы дошли до 28, их обнаружилось два, то можно предположить, что их много. На самом деле они гораздо более редкие, чем все остальные известные виды чисел. Третье совершенное число — 496, четвертое — 8128. На протяжении древней истории и Средних веков других совершенных чисел не обнаружили.

Пятое совершенное число было найдено только где-то году в 1460-м (имя открывателя неизвестно), и это — 33 550 336. В наше время благодаря компьютерам находят все новые и новые совершенные числа, и их общее количество равно двадцати. Двадцатое и самое большое из них состоит из 2663 цифр и почти равно Т-222.

Но в чем-то я был несправедлив к Каснеру и Ньюмену. Я сказал, что они изобрели гугол, а потом продемонстрировал, как легко иметь дело с числами, намного превосходящими гугол. Однако мне следовало бы добавить, что они изобрели еще одно число, которое гораздо огромнее гугола. Это второе число — гуголплекс, которое определяется как равное 10^{googol}. Таким образом, показателем его является единица, за которой следует сто нолей. Я мог бы его записать, но не стану. Вместо этого я скажу, что гугол можно записать как

$$10^{10^{100}} \text{ или даже } 10^{10^{10^2}}.$$

Сам гугол записать легко. Я сделал это в начале главы, и он занял всего несколько строк. Даже самое большое число из прежде упомянутых в этой главе можно легко записать. Самое крупное простое число Мерсенна, если его записать полностью, займет меньше двух страниц этой книги.

Однако гуголплекс записать невозможно — буквально невозможно. Это — единица, за которой следует гугол нолей, и в этой книге не поместится гугол нолей, пусть даже напечатать их мельчайшим приемлемым шрифтом. По правде говоря, это число нельзя было бы записать даже на всей поверхности Земли, если бы сделать ноль не крупнее атома. И даже если бы каждый ноль мы бы представили в виде нуклона, то во всей известной Вселенной или даже в триллионе таких же вселенных не нашлось бы достаточно нолей.

Итак, вы видите, что гуголплекс несравнимо больше, чем все, что я до сих пор рассматривал. И тем не менее я без труда могу представить его в виде Т-числа.

Смотрите! Т-числа проходят по цифрам — Т-1, Т-2, Т-3 и так далее — и в конце концов достигают-таки Т-1 000 000 000 000. (Это эквивалентно тому, как если бы вы говорили «триллион триллионов триллионов триллионов...» и повторяли бы слово «триллион» триллион раз. На это у вас ушло бы ...дцать человеческих жизней, но принцип сохраняется.) Поскольку мы решили записывать триллион как Т-1, то число Т-1 000 000 000 000 можно записать как Т-(Т-1).

Помните, что для получения обычного степенного числа мы просто должны умножить цифровую часть Т-числа на 12. Следовательно, Т-(Т-1) равно $10^{12\,000\,000\,000\,000}$, что больше чем $10^{10^{13}}$.

Таким же образом мы можем вычислить, что Т-(Т-2) больше $10^{10^{25}}$, а если мы продолжим в том же духе, то в конце концов увидим, что Т-(Т-8) – это почти гуголплекс. А что до Т-(Т-9), то оно гораздо больше гуголплекса — на самом деле оно гораздо больше гугола гуголплексов.

Еще один момент – и я закончу.

В книге под названием «Премудрость больших чисел» Филипа Дж. Дэвиса приведено число Скьюза. Оно получено С. Скьюзом, южноафриканским математиком, который натолкнулся на него, разрабатывая теорему для простых чисел. Это число описано как «считающееся самым крупных числом, появившимся в математическом доказательстве». Оно записано как:

$$10^{10^{10^{34}}}.$$

Поскольку гуголплекс — всего $10^{10^{10^2}}$, то число Скьюза несравнимо больше.

И как можно записать число Скьюза в Т-числах?

По правде говоря, тут восстаю даже я. Я этого делать не стану. Я оставлю вас, любезный читатель, наедине с самим собой, но в качестве намека скажу следующее: оно представляется явно большим, нежели Т-[Т-(Т-1)].

Далее я даю вам зеленый свет – и путь к безумию открыт. Полный вперед!

Что до меня, то я отойду в сторону и сохраню здравый рассудок. Или, по крайней мере, настолько здравый, насколько был до этого, — отчасти здравый.

Глава 2
ОДИН, ДЕСЯТЬ И СБОКУ БАНТИК!

Меня всегда немного удивляли мои трудности с математическими задачами, поскольку (в самой глубине души) я уверен, что это на меня не похоже. Конечно, многие мои добрые друзья пытались объяснить это тем, что в самом потаенном уголке моего сознания проходит хитроумно скрытая жила тупости, но мне эта теория почему-то никогда не нравилась.

К сожалению, я не могу предложить какого-либо другого объяснения. Поэтому вы легко можете понять, что, когда мне попадается головоломка, которую я все-таки могу решить, у меня буквально сердце радуется. Такое случилось со мной однажды в ранней юности, и я до сих пор не могу этого забыть. Позвольте мне вспомнить все подробно, потому что это приведет меня туда, куда нужно.

Задача такова. Вам дают любое количество гирек: один грамм, два, три, четыре грамма и так далее. Из них вы должны выбрать столько и таких, чтобы при их сложении вам удалось взвесить любое целое количество граммов от одного до тысячи. Как нужно выбрать гирьки, чтобы их было как можно меньше?

Я рассуждал так.

Мне надо начать с одннограммовой гирьки, потому что взвесить один грамм можно только с ее помощью. Теперь если я возьму вторую гирьку в один грамм, то могу взвесить два грамма, используя обе гирьки по одному грамму. Однако я могу сэкономить, взяв гирьку в два грамма вместо второй одннограммовой, потому что тогда я с ее помощью смогу взвесить не только два грамма, но и три, если использую ее вместе с гирькой в один грамм.

Что дальше? Гирька в три грамма? Это было бы расточительно, потому что три грамма уже взвешены двумя граммами плюс одним граммом. Так что я поднялся на ступеньку выше и выбрал четырехграммовую гирьку. Она дала мне возможность взвесить не только четыре, но также и пять граммов (4 плюс 1), шесть граммов (4 плюс 2) и семь граммов (4 плюс 2 плюс 1).

К этому моменту я начал видеть закономерность. Если семь граммов — это максимум, который мне теперь доступен, то дальше я возьму гирьку в 8 граммов, которая даст мне следующие целые единицы веса до пятнадцати (8 плюс 4 плюс 2 плюс 1). Следующей гирькой будет шестнадцатиграммовая, и мне стало ясно, что для того, чтобы отвесить любое количество граммов, нужно взять последовательность гирек (начиная с 1-граммовой), каждая из которых будет вдвое больше предыдущей.

Это означало, что я смог бы взвесить любое количество граммов от одного до тысячи с помощью всего лишь десяти гирек: 1-граммовой, 2-граммовой, 8-граммовой, 16-граммовой, 32-граммовой, 64-граммовой, 128-граммовой, 256-граммовой и 512-граммовой. На самом деле этих гирек мне хватило бы до 1023 граммов.

Теперь мы можем забыть про гирьки и оперировать одними только числами. С помощью чисел 1, 2, 4, 8, 16, 32, 64, 128, 265 и 512, и не привлекая никакие другие, мы можем выразить любое другое число до 1023 включительно, складывая два числа или больше. Например, число 100 может быть выражено как 64 плюс 32 плюс 4. Число 729 можно выразить как 512 плюс 128 плюс 64 плюс 16 плюс 8 плюс 1. И конечно, 1023 может быть выражено как сумма всех десяти чисел.

Если прибавить к этому списку чисел 1024, тогда вы сможете продолжить составление чисел вплоть до 2047, а если затем добавить 2048, то можно продолжить ряд до 4095, а если потом...

Ну, если вы начнете с 1 и будете удваивать его до бесконечности, вы получите ряд чисел, который, при должном сложении можно будет использовать, чтобы выразить любое конечное число.

Для начала неплохо. Но наш интересный ряд чисел — 1, 2, 4, 8, 16, 32, 64... — выглядит немного странно. Наверняка должен существовать более красивый способ выражения. И он существует.

Давайте на минуту забудем про 1 и рассмотрим 2. Если мы это сделаем, то можно начать с важнейшего заявления, что 2 — это 2. (Есть возражения?) Перейдя к следующему числу, мы можем сказать, что 4 — это 2, умноженное на 2. Тогда 8 — это 2 на 2 на 2, 16 — это 2 на 2 на 2 на 2, 32 — это... Но вы уже поняли.

Так что мы можем составить ряд (продолжая игнорировать 1) как: 2, 2 на 2, 2 на 2 на 2, 2 на 2 на 2 на 2 и так далее. Тут есть некая приятная однородность и упорядоченность, но от всех этих 2, умноженных на 2, умноженных на 2, в глазах рябит. Поэтому вместо того, чтобы записывать все эти 2, было бы удобно отмечать, сколько 2 умножается, и записывать это с использованием степенного способа, описанного в предыдущей главе.

Так, если 4 равно 2, умноженным на 2, мы назовем его 2^2 (два во второй степени или два в квадрате). Опять-таки, если 8 это 2, умноженное на 2, умноженное на 2, мы можем отметить три перемноженных 2, записав 8 как 2^3 (два в третьей степени или два в кубе). Продолжая это направление атаки, мы будем иметь 16 как 2^4 (два в четвертой степени), 32 — как 2^5 (два в пятой степени) и так далее. Что до самого числа 2, то в нем есть только одно 2, и мы можем назвать его 2^1 (два в первой степени).

И еще одно. Мы можем решить, что 2^0 (два в нулевой степени) будет равно 1. (На самом деле удобно, чтобы любое число в нулевой степени было равно 1. Так, 3^0 равно 1, так же как и 17^0 и $1\,965\,211^0$. Однако пока нас интересует только 2^0, и мы приравниваем его к 1.)

Итак, тогда вместо последовательности 1, 2, 4, 8, 16, 32, 64... мы можем иметь 2^0, 2^1, 2^2, 2^3, 2^4, 2^5, 2^6... Это — та же последовательность, если говорить о составляющих ее числах, но второй способ записи чем-то красивее и, как мы увидим дальше, полезнее. Мы можем любое число выразить с помощью таких степеней 2. Как я уже сказал, 100 можно выразить как 64 плюс 32 плюс 4. Это значит, что его можно выразить как 2^6 плюс 2^5 плюс 2^2. Таким же образом, если 729 равно 512 плюс 128 плюс 64 плюс 16 плюс 8 плюс 1, тогда его можно записать также как 2^9 плюс 2^7 плюс 2^6 плюс 2^4 плюс 2^3 плюс 2^0. И конечно, 1023 — это 2^9 плюс 2^8 плюс 2^7 плюс 2^6 плюс 2^5 плюс 2^4 плюс 2^3 плюс 2^2 плюс 2^1 плюс 2^0.

Но давайте будем действовать систематично. Мы используем десять разных степеней числа 2, чтобы выразить любое число меньшее 1024, так что давайте записывать все эти варианты степеней. Но если мы не хотим использовать какой-то элемент при сложении, необходимом для выражения определенного числа, тогда нам просто достаточно умножить его на 0. Если мы хотим его использовать, мы умножаем его на 1. Так мы показываем, что либо используем определенную степень числа 2, либо не используем.

Употребляя точку для обозначения умножения, мы можем записать: 1023 равно $1 \cdot 2^9$ плюс $1 \cdot 2^8$ плюс $1 \cdot 2^7$ плюс $1 \cdot 2^6$ плюс $1 \cdot 2^5$ плюс $1 \cdot 2^4$ плюс $1 \cdot 2^3$ плюс

$1 \cdot 2^2$ плюс $1 \cdot 2^1$ плюс $1 \cdot 2^0$. Использованы все степени 2 от 0 до 9. Однако при выражении 729 мы будем иметь$1 \cdot 2^9$ плюс $0 \cdot 2^8$ плюс $1 \cdot 2^7$ плюс $1 \cdot 2^6$ плюс $0 \cdot 2^5$ плюс $1 \cdot 2^4$ плюс $1 \cdot 2^3$ плюс $0 \cdot 2^2$ плюс $0 \cdot 2^1$ плюс $1 \cdot 2^0$. И опять-таки, при записи 100 мы можем написать: $0 \cdot 2^9$ плюс $0 \cdot 2^8$ плюс $0 \cdot 2^7$ плюс $1 \cdot 2^6$ плюс $1 \cdot 2^5$ плюс $0 \cdot 2^4$ плюс $0 \cdot 2^3$ плюс $1 \cdot 2^2$ плюс $0 \cdot 2^1$ плюс $1 \cdot 2^0$.

Но вы можете спросить: а зачем включать те степени, которыми мы не пользуемся? Записали, а потом «стерли», умножив на ноль... А дело в том, что, если их записывать систематически, подряд, не делая исключений, тогда можно считать, что они присутствуют в записи каждого числа, и вообще их опускать, оставляя только 1 и 0.

Так, мы можем записать 1023 как 1111111111, а 729 – как 1011011001, и 100 – как 0001100100.

И тогда мы можем, помня порядок степеней и используя все десять, выразить числа от 1 до 1023 таким образом:

0000000001 равно 1
0000000010 равно 2
0000000011 равно 3
0000000100 равно 4
0000000101 равно 5
0000000110 равно 6
0000000111 равно 7

и так далее вплоть до

1111111111 равно 1023.

Конечно, нам не обязательно ограничивать себя десятью степенями числа 2: мы можем использовать одиннадцать, или четырнадцать, или пятьдесят три, или бесконечное количество. Однако было бы утомительно записывать бесконечное число 1 и 0 только для того, чтобы обозначить, использована ли одна из бесконечных степеней 2. Так что принято опускать все высокие степени 2, которые не используются для данного числа, и начинать с наивысшей степени, которая используется, и идти от нее. Другими словами, опускайте сплошной ряд нолей слева. В этом случае числа можно представить как

1 равно 1
10 равно 2
11 равно 3
100 равно 4
101 равно 5
110 равно 6
111 равно 7

и так далее.

Любое число можно вот так представить какой-то комбинацией 1 и 0, и некоторые примитивные племена действительно использовали систему чисел, подобную этой. Первым цивилизованным математиком, разрабатывавшим ее систематически, был Готфрид Вильгельм Лейбниц: это было примерно триста лет назад. Он был изумлен и рад, потому что рассудил, что 1, символизирующая единение, явно была знаком Бога, тогда как 0 представлял ничто, которое существовало вначале помимо Бога. Следовательно, если все числа могут быть представлены исключительно с помощью 1 и 0, то это равнозначное утверждение, что Бог создал Вселенную из ничего.

Несмотря на поразительный символизм, этот метод с 1 и 0 не произвел совершенно никакого впечатления на практичных деловых людей. Он мог представлять собой увлекательный математический курьез, но ни один счетовод не станет работать с 1011011001 вместо 729.

Но потом внезапно оказалось, что эта двоичная система чисел (также названная бинарной системой — от латинского слова *binarius*, означающего «два одновременно») идеальна для электронных компьютеров.

Ведь две различные цифры 1 и 0 могут в компьютере сопоставляться с двумя положениями некого выключателя — «вкл.» и «выкл.». Пусть «включить» представляет 1, а «выключить» — 0. Тогда, если в машине содержится десять выключателей, число 1023 может быть обозначено как «включить — включить — включить — включить — включить — включить — включить — включить — включить — включить». Число 729 станет «включить — выключить — включить — включить — выключить — включить — включить — выключить — выключить — включить». А число 100 будет иметь вид «выключить — выключить — включить — включить — выключить — выключить — включить — выключить — выключить».

Добавляя новые выключатели, мы могли бы выразить любое число с помощью подобной комбинации включений и выключений. Нам это может показаться сложным, но для компьютера — это сама простота. На самом деле ничего проще и быть не может. Для компьютера.

Однако мы — всего лишь люди, так что остается вопрос: способны ли мы пользоваться двоичной системой? Например, можем ли мы проводить преобразование между двоичными числами и обычными? Если нам покажут 110001 в двоичной системе, что это означает в обычных цифрах?

На самом деле это нетрудно. Двоичная система использует степени числа 2 начиная справа с 2^0 с повышением на одну степень при движении налево. Так что мы можем записать 110001 с маленькими цифрами внизу, которые бы представляли собой показатели.

Например:

$$\begin{matrix}1&1&0&0&0&1\\ {\scriptstyle 5}&{\scriptstyle 4}&{\scriptstyle 3}&{\scriptstyle 2}&{\scriptstyle 1}&{\scriptstyle 0}\end{matrix}$$

Используются только показатели под 1, значит, 110001 представляет собой 2^5 плюс 2^4 плюс 2^0, то есть 32 плюс 16 плюс 1. Другими словами, 110001 в двоичной системе — это 49 в обычном обозначении.

Обратное преобразование еще проще. Если хотите, вы можете попытаться наугад вставлять степени числа 2 в обычные числа, но это не обязательно. Для этого существует способ, который всегда работает, и я его опишу (хотя, с вашего разрешения, не стану трудиться и объяснять, *почему* он работает).

Предположим, что вы захотели перевести обычное число в двоичную систему. Вы делите его на 2 и отставляете остаток в сторону. (Если число четное, остаток будет нолем, если нечетное — 1.) Оперируя только целой частью частного, вы снова делите его на 2 и снова откладываете остаток, чтобы продолжить работу с целой частью нового частного. Когда целая часть частного в результате многократного деления на 2 сводится к 0, вы останавливаетесь. Остатки, прочитанные в обратном порядке, дают исходную цифру в двоичной системе.

Если это кажется сложным, дело можно упростить с помощью примера. Давайте попробуем взять 131:

131, деленное на 2, равно 65 с остатком 1
65, деленное на 2, равно 32 с остатком 1
32, деленное на 2, равно 16 с остатком 0
16, деленное на 2, равно 8 с остатком 0
8, деленное на 2, равно 4 с остатком 0

4, деленное на 2, равно 2 с остатком 0
2, деленное на 2, равно 1 с остатком 0
1, деленное на 2, равно 0 с остатком 1.

Значит, в двоичной системе 131 записывается 10000011.

Немного потренировавшись, любой, освоивший арифметику в объеме средней школы, может ходить туда и обратно между обычными числами и двоичными.

Двоичная система имеет дополнительную ценность, делая обычные арифметические действия по-детски простыми. При использовании обычных цифр мы несколько лет начальной школы тратим на то, чтобы запомнить, что 9 плюс 5 равно 14, что 8 умножить на 3 равно 24 и так далее.

Однако в двоичной системе используются только 1 и 0, так что запомнить нужно только четыре возможные суммы чисел: 0 плюс 0, 1 плюс 0, 0 плюс 1 и 1 плюс 1. Первые три остаются теми же, к каким мы привыкли в обычной арифметике:

0 плюс 0 равняется 0
1 плюс 0 равняется 1
0 плюс 1 равняется 1.

В четвертой сумме появляется некоторое отличие. В обычной арифметике 1 плюс 1 — это 2, но в двоичной системе такой цифры, как 2, нет. Там 2 представляется как 10. Следовательно,

1 плюс 1 равно 10 (записываем 0, 1 в уме).

Теперь представьте себе, насколько элементарно сложение в двоичной системе. Если вы хотите сложить 1001101 и 11001, сумма будет выглядеть так:

$$\begin{array}{r} 1001101 \\ \underline{11001} \\ 1100110 \end{array}$$

Вы можете легко проверить это с помощью таблицы сложения, которую я только что вам дал, и, перейдя к обычным числам, увидите, что это сложение соответствует 77 плюс 25 равно 102.

Может показаться, что следить за 1 и 0 довольно сложно и что легкость запоминания правил сложения не компенсирует возможности во всем этом запутаться. Это верно — для человека. Однако в компьютере выключатели легко расположить в виде таких комбинаций, которые позволят, чтобы включения и выключения следовали правилам сложения двоичной системы. Компьютеры не путаются, а потоки электронов, летящих туда-сюда, складывают числа с помощью двоичного сложения в микросекунды.

Конечно (если вернуться к людям), если вам захочется сложить больше двух чисел, то всегда можно, на худой конец, разбить их в группы по два. Если вы хотите сложить 110, 101, 100 и 111, вы можете сначала сложить 110 и 101, получив 1011, затем сложить 100 и 111, получив 1011, и, наконец, сложить 1011 и 1011, получив 10110. (При последнем сложении приходится сложить 1 плюс 1 плюс 1 из-за переноса 1 в столбик, где уже есть 1 плюс 1. Ну что ж: 1 плюс 1 — это 10, а 10 плюс 1 — это 11, так что 1 плюс 1 плюс 1 равно 11, записываем 1 и 1 в уме.)

Умножение в двоичной системе еще проще. Опять-таки, есть только четыре возможных сочетания: 0 умножить на 0, 0 умножить на 1, 1 умножить на 0 и 1 умножить на 1. Каждое умножение в двоичной системе остается точно таким же, каким оно было бы для обычных чисел. Другими словами,

0 умножить на 0 равно 0
0 умножить на 1 равно 0
1 умножить на 0 равно 0
1 умножить на 1 равно 1.

Так, умножая 101 на 1101, мы получим:

$$
\begin{array}{r}
101 \\
\underline{1101} \\
101 \\
000 \\
101 \\
101 \\
\hline
1000001
\end{array}
$$

Эквивалент этого в обычных числах: 5 умножить на 13 равно 65. Опять же, компьютер можно спроектировать так, чтобы работа выключателей соответствовала требованиям двоичной таблицы умножения, — и множить с ошеломляющей скоростью.

Можно также иметь систему счисления, основанную на степенях 3 (троичную или тернарную систему). Ряд чисел 3^0, 3^1, 3^2, 3^3, 3^4 и так далее (то есть 1, 3, 9, 27, 81 и так далее) может использоваться для выражения любого конечного числа при условии, что вам будет разрешено использовать до двух одинаковых членов ряда.

Так, 17 равно 9 плюс 3 плюс 3 плюс 1 плюс 1, а 72 — это 27 плюс 27 плюс 9 плюс 9.

Если бы вы захотели записать ряд чисел в троичной системе, они выглядели бы так: 1, 2, 10, 11, 12, 20, 21, 22, 100, 101, 102, 110, 111, 112, 120, 121, 122, 200 и так далее.

Можно иметь четверичную систему, основанную на степенях 4, где каждая степень будет использоваться до трех раз, систему, основанную на степенях 5, где каждая степень используется до четырех раз, и так далее.

Чтобы перевести обычное число в любую из этих альтернативных систем, надо просто использовать прием, похожий на тот, который я продемонстрировал для перехода на двоичную систему. Как вы многократно делили на 2 для двоичной системы, так вы будете многократно делить на 3 — для троичной, на 4 — для четверичной и так далее.

Так, я уже превратил обычное число 131 в 11000001, многократно поделив 131 на 2 и используя остатки. Предположим, что мы многократно разделим 131 на 3 и используем остатки:

131, деленное на 3, равно 43 с остатком 2
43, деленное на 3, равно 14 с остатком 1
14, деленное на 3, равно 4 с остатком 2
4, деленное на 3, равно 1 с остатком 1
1, деленное на 3, равно 0 с остатком 1.

Затем число 131 в троичной системе составляется из остатков, с нижнего до верхнего, и представляется как 11212.

Таким же образом мы можем перевести 131 в четверичную систему, пятеричную и так далее. Вот небольшая таблица, которая даст вам значения 131 для разных систем:

двоичная система	11000001
троичная система	11212
четверичная система	2003

пятеричная система	1011
шестеричная система	335
семеричная система	245
восьмеричная система	203
девятеричная система	155

Вы можете проверить это с помощью степеней. В девятеричной системе 155 — это $1\cdot 9^2$ плюс $5\cdot 9^1$ плюс $5\cdot 9^0$. Так как 9^2 равно 81, 9^1 равно 9, а 9^0 равно 1, мы имеем 81 плюс 45 плюс 4, или 131. В шестеричной системе 355 — это $3\cdot 6^2$ плюс $3\cdot 6^1$ плюс $5\cdot 6^0$. Так как 6^2 это 36, 6^1 это 6, а 6^0 это 1, мы имеем 108 плюс 18 плюс 5, то есть 131. В четверичной системе 2003 это $2\cdot 4^3$ плюс $0\cdot 4^2$ плюс $0\cdot 4^1$ плюс $3\cdot 4^0$, а так как 4^3 равно 64, 4^2 равно 16, 4^1 равно 4 и 4^0 равно 1, мы имеем 120 плюс 0 плюс 0 плюс 3, или 131.

Остальные числа можете проверить сами, если вам хочется.

Но есть ли смысл останавливаться на девятеричной системе? Может ли быть система с основанием десять? Ну, предположим, что мы запишем 131 в десятичной системе, проводя деление на десять:

131, деленное на 10, равно 13 с остатком 1
13, деленное на 10, равно 1 с остатком 3
1, деленное на 10, равно 0 с остатком 1

И следовательно, 131 в десятичной системе — это 131.

Другими словами, наши обычные числа — это просто система с основанием 10, которая работает на ряде степеней числа 10: 10^0, 10^1, 10^2, 10^3 и так далее. Число 131 равно $1\cdot 10^2$ плюс $3\cdot 10^1$ плюс $1\cdot 10^0$.

Так как 10^2 равно 100, 10^1 равно 10, а 10^0 равно 1, это значит, что мы имеем 100 плюс 30 плюс 1, или 131.

Значит, в обычных для нас числах нет ничего основополагающего или фундаментального. Они основаны на степенях 10, потому что у нас десять пальцев и мы вначале считали на пальцах. Однако всем математическим потребностям могли бы удовлетворять любые другие системы счисления.

Так, мы можем дойти до систем с основаниями одиннадцать и двенадцать. Тут возникает одна сложность. Число цифр (считая ноль), которые необходимы для любой системы, равно числу, используемому в качестве основы.

В двоичной системе нам нужны две разные цифры, 0 и 1. В троичной системе нужны три — 0, 1 и 2. В знакомой нам десятичной системе конечно же нужно десять разных цифр: 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 и 9.

Значит, в системе с основанием одиннадцать нам понадобится одиннадцать различных цифр, а в системе с основанием двенадцать — двенадцать. Давайте будем писать @ в качестве одиннадцатой цифры и # в качестве двенадцатой. В обычных десятичных числах @ это 10, а # это 11.

Так, 131 в одиннадцатеричной системе будет:

131, деленное на 11, равно 11 с остатком 10 (@)
11, деленное на 11, равно 1 с остатком 0
1, деленное на 11, равно 0 с остатком 1

Так что 131 в одиннадцатеричной системе — это 10@.

А в двенадцатеричной системе —

131, деленное на 12, равно 10 с остатком 11 (#)
10, деленное на 12, равно 0 с остатком 10 (@)

Так что 131 в двенадцатеричной системе — это @#.

И мы можем идти все дальше и дальше и получить систему с основанием 4583, если бы захотели (но с 4583 различными цифрами, включая ноль).

Итак, любая система счисления верна, но которая наиболее удобна? Мы видели, как при переходе к большим базам запись числа становится все короче. Если 131 в двоичной системе — 11000001, то в десятичной системе — 131, и @# в системе с базой двенадцать. От восьми цифр мы перешли к трем и далее к двум. А в системе с основанием 131 (и большей) она будет состоять всего из одной цифры. В чем-то это представляет больше удобств. Ну кому нужны длинные числа?

Однако количество различных цифр, используемых для составления чисел, растет вместе с основанием, а это увеличивает неудобство. Где-то существует среднее по величине основание, при использовании которого число различных цифр не слишком велико, и количество цифр для изображения обычно применяемых чисел также не слишком велико.

Естественно, нам покажется, что десятеричная система — это то, что надо. Необходимость запомнить десять различных цифр — не такая уж высокая цена за использование всего четырех сочетаний цифр для обозначения любого числа меньше десяти тысяч.

Однако время от времени рекламируют систему, основанную на двенадцати. Четырех сочетаний цифр в двенадцатеричной системе хватило бы, чтобы дойти чуть дальше двадцати тысяч, но это кажется недостаточной компенсацией того, что придется научиться манипулировать двумя лишними цифрами. (Школьникам пришлось бы заучивать такие действия, как @ плюс 5 равно 13, и # умножить на 4 равно 38.)

Но встает и еще один вопрос. Имея дело с любой системой счисления, мы имеем склонность пользоваться круглыми цифрами: 10, 100, 1000 и так далее. Ну что ж: 10 в десятичной системе целиком делится на 2 и 5, и только. С другой стороны, 10 в двенадцатеричной системе (которое станет эквивалентно 12 в десятичной системе) целиком делится на 2, 3, 4 и 6. Это значит, что двенадцатеричную систему будет легче использовать для коммерческих операций — и действительно, эта система используется всякий раз, когда что-то продается дюжинами (12), гроссами (144), так как 12 это 10, а 144 — это 100 для двенадцатеричной системы.

Однако в наш век компьютеров тяготение идет к двоичной системе. И хотя двоичная система является неловкой и неэстетичной мешаниной 1 и 0, возможен компромисс.

Двоичная система тесно связана с восьмеричной системой, так как 1000 в двоичной системе равно 10 в системе с основанием 8 или, если хотите, 2^3 равно 8^1. Следовательно, мы могли бы установить следующее соответствие:

Двоичная система	Восьмеричная система
000	0
001	1
010	2
011	3
100	4
101	5
110	6
111	7

Это включило бы все числа (включая 0) восьмеричной системы и все сочетания трех цифр (включая 000) в двоичной системе.

Следовательно, любое двоичное число можно было бы разбить на группы из трех цифр (с прибавлением нолей слева, если понадобится) и преобразовать в число с основанием восемь с помощью таблицы, которую я здесь привел. Так, двоичное число 111001000010100110 можно разбить на 111 001 000 010 100 110 и записать как число с основанием восемь 710246. С другой стороны, восьмеричное число 33574 может быть записано как двоичное число 011011101111100 почти мгновенно, как только таблица выучена.

Другими словами, если бы мы перешли с десятичной системы на восьмеричную, то возникло бы гораздо лучшее понимание между нами и нашими машинами — и кто знает, насколько быстрее стала бы развиваться наука?

Конечно, такой переход непрактичен, но только подумайте: что, если бы с самого начала древние люди учились считать только по восьми пальцам, не вовлекая в счет эти неуклюжие и мешающие большие пальцы!

Глава 3
ВАРИАНТЫ БЕСКОНЕЧНОСТИ

Существуют такие слова, которые издатели обожают ставить в названия научно-фантастических книг, чтобы мгновенно дать понять любителям, бегло просматривающим развал, что вот это — научная фантастика. Два таких слова, конечно, *пространство* и *время*. К другим относятся *Земля* (с большой буквы), *Марс, Венера, альфа Центавра, завтра, звезды, солнце, астероиды* и так далее.

И еще одно — подходя к теме этой главы: *бесконечность.*

На мой взгляд, одно из лучших названий научной фантастики было изобретено Джоном Кэмпбеллом: «Вторжение из бесконечности». В слове «вторжение» ощущаются агрессия, действие и неожиданность, тогда как «бесконечность» передает огромность и ужас дальнего космоса.

Бесценный «Индекс к журналам научной фантастики» Дональда Дэя в перечне названий содержит «Бесконечный мозг», «Бесконечный враг», «Бесконечный взгляд», «Бесконечное вторжение», «Бесконечное мгновение», «Бесконечное видение» и «Бесконечный ноль» — и я уверен, что есть множество других названий, содержащих это слово.

Однако при столь широком освещении и привычном употреблении знаем ли мы, что означают слова «бесконечный» и «бесконечность»? Возможно, не все.

Мы могли бы начать, наверное, предположив, что бесконечность — это большое число. Очень большое число. Практически — самое большое число, какое только может существовать.

Если так, то это будет ошибкой, потому что бесконечность — это не какое бы то ни было число, по крайней мере, из тех, которые мы привыкли иметь в виду, говоря «число». И она определенно не наибольшее число из всех возможных, потому что такого вообще не существует.

Давайте подберемся к бесконечности незаметно, предположив сначала, что вам хочется написать руководство для сообразительного юнца, указав ему, как следует пересчитать 538 человек, заплативших за посещение некой лекции. Будет иметься некая дверь, через которую все слушатели станут выходить по одному. Юнцу просто достаточно прилагать к каждому человеку различные цифры по порядку: 1, 2, 3 и так далее.

Слова «и так далее» подразумевают продолжение счета до тех пор, пока не вышли все, и последний из уходящих получит число 538. Если вы хотите сделать руководство совершенно недвусмысленным, вы можете поручить пареньку считать таким образом и затем терпеливо перечислить все числа от 1 до 538. Это, несомненно, было бы невыносимо скучно, но паренек, с которым вы имеете дело, сообразительный и знает, как следует понимать пробел, содержащий многоточие, так что вы записываете: «Считайте так: 1, 2, 3, ..., 536, 537, 538». Тогда паренек поймет (или должен был бы понять), что многоточие обозначает пробел, который надо заполнить цифрами от 4 до 535 включительно, по порядку и без пропусков.

Предположим, вы не знаете, сколько в аудитории человек. Их может быть 538, или 427, или 651. Мы могли бы проинструктировать паренька считать до тех пор, пока число не будет придано самому последнему человеку, каким бы ни был этот человек и каким бы ни было число. Чтобы выразить это символически, вы могли бы написать так: «Считайте: 1, 2, 3, ..., $n - 2$, $n - 1$, n». Сообразительный паренек поймет, что n обычно представляет собой некое неизвестное, но определенное число.

А теперь представьте себе, что следующее задание сообразительному юнцу состоит в том, чтобы пересчитать количество людей, входящих в дверь, проходящих по комнате, выходящих из другой двери, огибающих здание и снова входящих в первую дверь, так что люди составят непрерывную замкнутую систему.

Представьте себе, что идущие люди и считающий паренек не знают усталости и готовы посвятить своей деятельности вечность. Очевидно, задача будет бесконечной. Последнего человека вообще не будет, как не будет и последнего числа. (Любое целое число, каким бы большим оно ни было, даже если бы оно состояло из ряда микроскопически малых цифр, растянувшихся отсюда до самой далекой звезды, легко может быть увеличено на 1.)

Как составить инструкцию для точного подсчета, включенного в эту задачу? Мы можем написать: «Считайте так: 1, 2, 3 и так далее до бесконечности».

Слова «и так далее до бесконечности» могут быть кратко записаны следующим образом: «∞».

Высказывание «1, 2, 3, ..., ∞» можно читать «один, два, три и так далее без конца» или «один, два, три и так далее без предела», но обычно его читают «один, два, три и так далее до бесконечности». Даже расчетливые математики обращаются здесь к бесконечности, и Джордж Гамов, например, написал весьма занимательную книгу, которая именно так и называется: «Один, два, три... бесконечность».

Может показаться, что употребление английского слова «infinity» вполне понятно, потому что оно произведено от латинского слова, обозначающего «бесконечный», однако использование особого слова создает у людей впечатление, будто бесконечность — это некое определенное, хотя и очень большое число, дойдя до которого можно остановиться.

Так что будем говорить строго. Бесконечность — это не число и не цифра, вроде тех, к которым мы привыкли. Это — качество, качество бесконечности. И любой ряд объектов (будь они числами или еще чем-то), не имеющий конца, может быть назван «бесконечным рядом» или «бесконечной последовательностью». Список чисел от 1 и выше — это пример «бесконечного ряда».

Хотя [1] — это не число, мы можем проделывать с ним некие арифметические действия. Мы можем делать это в отношении любого символа. Мы можем делать это с буквами в алгебре и писать $a + b = c$. Или мы можем делать это с химическими формулами и писать: $CH_4 + 3O_2 = CO_2 + 2H_2O$. Или мы можем делать это с абстрактными понятиями, такими как: мужчина + женщина = проблемы.

Единственное, что нам следует помнить, это то, что, производя арифметические действия с символами, которые не являются целыми числами, мы не должны удивляться, если они не подчиняются обычным правилам арифметики, которые, в конце концов, были разработаны специально для целых чисел.

Например: $3 - 2 = 1$, $17 - 2 = 15$; $4875 - 2 = 4873$. В общем, любое целое число после вычитания 2 становится другим числом. Нечто иное немыслимо.

Но теперь представим себе, что мы вычитаем 2 из бесконечного ряда чисел. Для удобства мы можем опустить первые два числа и начать ряд: 3, 4, 5 и так далее до бесконечности. Вы видите, что можете быть такими же бесконечными, начиная с числа 3, а не с 1, так что можно записать 3, 4, 5, ..., ∞.

Другими словами, когда из бесконечного ряда отнимаются два члена, в остатке все равно бесконечный ряд. В символах это можно записать так: $\infty - 2 = \infty$. Это выглядит странно, потому что мы привыкли к целым числам, где вычитание 2 что-то меняет. Но бесконечность — это не число и подчиняется иным правилам. (Это стоит повторять как можно чаще.)

Если уж на то пошло, если вы отсечете первые 3 целых числа или первые 25 или первые 1000000000000, оставшийся в результате ряд чисел все равно будет бесконечным. Всегда можно начать, скажем, с 1000000000001, 1000000000002 и продолжать до бесконечности. Так что $\infty - n = \infty$, где n обозначает любое число, сколь угодно великое.

На самом деле мы можем сделать даже нечто более удивительное. Предположим, мы будем рассматривать только четные числа. У нас получится ряд, который будет выглядеть так: 2, 4, 6 и так далее до бесконечности. Это будет бесконечный ряд, который, следовательно, можно записать как: 2, 4, 6, ..., ∞. Таким же образом нечетные числа образуют бесконечный ряд и могут быть записаны: 1, 3, 5, ..., ∞.

Теперь предположим, что вы взяли бы ряд чисел и стали вычеркивать каждый четный член, который вам будет попадаться, таким образом: 1, ~~2~~, 3, ~~4~~, 5, ~~6~~, 7, ~~8~~, 9, ~~10~~, 11, ~~12~~, ..., ∞. Из бесконечного ряда чисел вы удалили бы бесконечный ряд четных чисел — и у вас остался бы бесконечный ряд нечетных чисел. Это может быть записано как: $\infty - \infty = \infty$.

Более того, это может сработать и наоборот. Если бы вы начали только с четных чисел и прибавили одно нечетное число, или два, или пять, или триллион, то у вас все равно остался бы нескончаемый ряд, так что $\infty + n = \infty$. На самом деле, если бы к бесконечному ряду четных чисел вы прибавили бесконечный ряд нечетных чисел, то просто имели бы бесконечный ряд всех чисел или $\infty + \infty = \infty$.

Однако к этому моменту, возможно, кто-то из вас заподозрил что-то неладное.

В конце концов, в первых 10 числах есть 5 четных чисел и 5 нечетных, в первой 1000 чисел есть 500 четных и 500 нечетных и так далее. Сколько бы последовательных чисел мы ни взяли, половина всегда будет четная, а половина — нечетная.

Следовательно, хотя ряд 2, 4, 6 ... действительно бесконечен, его сумма может составлять только половину от также бесконечного ряда 1, 2, 3, 4, 5, 6, ... И то же самое относится к ряду 1, 3, 5, ..., который хоть и бесконечен, но вдвое меньше ряда всех чисел.

И потому (как вы могли бы подумать) при вычитании ряда четных чисел из ряда всех чисел с получением ряда нечетных чисел мы делаем то, что можно было бы представить как: $\infty - {}^1/_2\infty = \infty$. Это, как вы могли бы подумать с неким удовлетворением, «разумно».

Чтобы ответить на это возражение, давайте вернемся к пересчету неизвестного количества слушателей лекции. Наш сообразительный паренек, который занимался подсчетом и которому это надоело, поворачивается к вам и спрашивает: «Сколько мест в лекционной аудитории?» Вы отвечаете: «640».

Он ненадолго задумывается и говорит: «Ну, я вижу, что все места заняты. Свободных мест нет, и никто не остался стоять».

Поскольку у вас зрение не хуже, чем у него, то вы соглашаетесь: «Это так».

«Ну, — говорит наш паренек, — тогда зачем пересчитывать их на выходе? Мы уже сейчас знаем, что зрителей ровно 640».

И он прав. Если два множества объектов (ряд *A* и ряд *B*) соотносятся так, что есть только одно *B* на каждое *A*, тогда мы знаем, что общее число объектов *A* точно равно общему числу объектов *B*.

На самом деле именно это мы делаем, когда ведем счет. Если мы хотим знать, сколько зубов находится в совершенно здоровом рту человека, мы придаем каждому зубу одно и только одно число (по порядку) и относим каждое число к одному и только одному зубу. (Это называется установлением взаимно однозначного соответствия между множествами.) Мы обнаруживаем, что для этого нам нужны только 32 числа, так что последовательность 1, 2, 3, ..., 30, 31, 32 может точно соответствовать последовательности: один зуб, следующий зуб, следующий зуб, ..., следующий зуб, следующий зуб, последний зуб.

И следовательно, мы говорим, что количество зубов в совершенно здоровом рту человека то же, что и количество чисел от 1 до 32 включительно. Или, если выразиться коротко и сжато, во рту 32 зуба.

Теперь давайте сделаем то же с рядом четных чисел. Мы можем записать четные числа и пронумеровать их. Для этого проставим номер, придаваемый каждому четному числу, прямо над ним, проведя соотносящие двусторонние стрелки. Итак:

$$\begin{array}{cccccccccc} 1 & 2 & 3 & 4 & 5 & 6 & 7 & 8 & 9 & 10\ldots \\ \updownarrow & \updownarrow & \updownarrow & \updownarrow & \updownarrow & \updownarrow & \updownarrow & \updownarrow & \updownarrow & \updownarrow \\ 2 & 4 & 6 & 8 & 10 & 12 & 14 & 16 & 18 & 20 \end{array}$$

Теперь мы видим здесь некую систему. Каждое четное число получает один определенный номер и никакого другого, и вы можете определить этот номер, разделив четное число на 2. Так, четному числу 38 придан номер 19 и больше никакой. Четному числу 24618 придан номер 12309. Точно так же любому данному числу из последовательности всех чисел может быть придано одно и только одно четное число. Номер 538 придан четному числу 1076 и никакому другому. Номер 29999999 придан четному числу 59999998 и никакому другому и так далее.

Поскольку каждое число в последовательности четных чисел может получить один и только один номер в последовательности всех чисел и наоборот, то оба множества находятся в однозначном соответствии и равны. Значит, количество четных чисел равно количеству всех чисел. Точно так же можно доказать, что количество нечетных чисел равно количеству всех чисел.

Вы можете возразить, сказав, что когда все четные числа (или нечетные) будут использованы, то останется еще половина всех чисел. Может быть — но этот довод не имеет смысла, поскольку последовательность четных чисел (или нечетных) никогда не будет исчерпана.

Следовательно, когда мы говорим, что «все числа» минус «четные числа» равны «нечетным числам», это равнозначно утверждению $\infty - \infty = \infty$, и обозначения типа $^1/_2$ можно отбросить.

На самом деле при вычитании четных чисел из всех чисел мы вычеркиваем каждое второе число и тем самым, в каком-то смысле, делим последовательность на 2. Поскольку последовательность остается бесконечной, $\infty/2 = \infty$, так что чего стоит половина бесконечности?

И еще лучше: если бы вы вычеркнули каждое второе число из последовательности четных чисел, мы имели бы бесконечную последовательность чисел, делимых на 4, а если бы вычеркнули каждое второе число из этой новой последовательности, то получили бы бесконечную последовательность чисел, делимых на 8, и так далее до бесконечности. Каждая из этих «меньших» последовательностей может быть соотнесена со множеством всех чисел в однозначном соответствии: если бесконечную последовательность чисел можно делить на 2 бесконечно, она все равно останется бесконечной, и, значит, мы говорим, что $\infty/\infty = \infty$.

Если вы сомневаетесь в том, что бесконечная последовательность, которая была решительно прорежена, может быть поставлена в однозначное соответствие с последовательностью всех чисел, рассмотрите только те числа, которые являются кратными одному триллиону. Вы получите: 1 000 000 000 000, 2 000 000 000 000, 3 000 000 000 000, ..., ∞. Это соотносится с 1, 2, 3, ..., ∞. Для любого числа во множестве «триллионных чисел», например 4 856 000 000 000 000, существует одно и только одно число во множестве всех чисел, которым в данном случае является 4856. Для любого числа во множестве всех чисел, скажем 342, имеется одно и только одно число из множества «триллионных чисел», в данном случае 342 000 000 000 000. Следовательно, существует столько же чисел, делимых на триллион, сколько и всего чисел.

Это работает и в противоположном направлении. Если вы поместите между каждым числом половинную дробь таким образом: $^1/_2$, 1, $1^1/_2$, 2, $2^1/_2$, 3, $3^1/_2$, ..., ∞, вы практически удвоите количество элементов множества, и тем не менее это новое множество может быть поставлено в однозначное соответствие с последовательностью чисел, так что $2\infty = \infty$. Фактически, если вы будете это делать бесконечно, вставляя все четверти, а затем все восьмые, и затем все шестнадцатые, то вы все равно сможете ставить полученное множество в однозначное соответствие со множеством всех чисел, так что $\infty \cdot \infty = \infty^2 = \infty$.

Вы можете решить, что это уже чересчур. Как можно выстроить все дроби так, чтобы у нас оставалась уверенность в том, что каждая получает один и только один номер? Легко выстроить числа 1, 2, 3, или четные числа 2, 4, 6, или даже простые числа 2, 3, 5, 7, 11... Но как выстроить дроби так, чтобы не сомневаться, что включены все, даже такие заковыристые, как $^{14899}/_{2725523}$ и $^{689444473}/_2$?

Однако есть несколько способов составить всеобъемлющий список дробей. Предположим, что мы сначала запишем все дроби, где числитель и знаменатель в сумме дают 2. Такая есть только одна: $^1/_1$. Затем запишем те дроби, где числитель и знаменатель в сумме дадут 3. Таких две: $^2/_1$ и $^1/_2$. Затем у нас будут $^3/_1$, $^2/_2$ и $^1/_3$, где числитель и знаменатель в сумме дают 4. Затем мы получаем $^4/_1$, $^3/_2$, $^2/_3$ и $^1/_4$. Как видите, в каждой группе мы ставим дроби в порядке уменьшения числителя и увеличения знаменателя.

Если мы составим такой список: $^1/_1$, $^2/_1$, $^1/_2$, $^3/_1$, $^2/_2$, $^1/_3$, $^4/_1$, $^3/_2$, $^2/_3$, $^1/_4$, $^5/_1$, $^4/_2$, $^3/_3$, $^2/_4$, $^1/_5$ и так далее до бесконечности, то можно не сомневаться в том, что любая конкретная дробь, даже самая сложная, будет включена в список, если мы пройдем достаточно далеко. Дробь $^{14899}/_{2725523}$ окажется в группе дробей, где сумма числителя и знаменателя составит 2740422 и будет стоять 2725523-й в этой группе. Аналогично $^{689444473}/_2$ окажется второй дробью в группе, для которой сумма числителя и знаменателя составит 689444475. Таким образом все возможные дроби получат в данной последовательности свое место.

Из этого следует, что каждая дробь имеет свой собственный номер и что ни один номер не упущен. Множество всех дробей поставлено в однозначное соответствие со множеством всех целых чисел, и таким образом число всех дробей равно числу всех целых чисел.

(В списке приведенных выше дробей, как вы могли заметить, некоторые имеют равную величину. Так, $^1/_2$ и $^2/_4$ записаны как разные дроби, но обозначают то же количество. Дроби типа $^1/_1$, $^2/_2$ и $^3/_3$ не только имеют одинаковую величину, но эта величина равна целому числу — 1. Ну и что? Это лишь показывает, что общее количество дробей равно общему количеству всех целых чисел, даже при том, что во *множестве дробей* величина некоторых дробей и величины всех целых чисел повторяются много раз — на самом деле бесконечное число раз.)

К этому моменту вы должны уже, с большей или меньшей охотой, прийти к мнению, что все бесконечности — это одна и та же бесконечность, и не меняется, что бы вы с ней ни делали.

Ан нет!

Рассмотрите точки в линии. Линию можно разметить через равные промежутки, и разметка будет представлять точки, которые пронумерованы 1, 2, 3 и так до бесконечности — если вы представите себе линию, которая продолжается бесконечно. Средние точки между целыми точками можно разметить $^1/_2$, $1^1/_2$, $2^1/_2$, ..., а затем разметить трети, четверти, пятые и всему бесконечному количеству дробей таким образом придать некую определенную точку.

Тогда покажется, что каждой точке на линии будет соответствовать какая-либо дробь. Конечно же на линии не останется свободных точек после того, как ей будет придано бесконечное количество дробей!

Да неужели?

Видите ли, на линии будет такая точка, которая будет соответствовать величине, равной корню квадратному из 2 ($\sqrt{2}$). Это можно показать таким образом. Если вы построите на линии квадрат, каждая сторона которого будет точно равна отрезку в одно целое число, уже отмеченному на линии, тогда диагональ квадрата будет равна точно $\sqrt{2}$. Если эту диагональ наложить на линию, начав с нулевой отметки, то конец диагонали совпадет с той точкой на линии, которую можно будет принять равной $\sqrt{2}$.

Но проблема состоит в том, что величина $\sqrt{2}$ не может быть представлена с помощью дроби — с помощью любой дроби, любой мыслимой дроби. Это было доказано древними греками, и доказательство весьма простое, но я попрошу вас поверить мне на слово, чтобы сэкономить место. Итак, если бы всем дробям на линии были приданы различные точки, то по крайней мере одна точка осталась бы упущенной — та, что соответствует $\sqrt{2}$.

Все числа, которые можно представить как дроби, — это «рациональные числа», потому что дробь — это соотношение (ratio) двух чисел — числителя и знаменателя. Числа, которые нельзя представить в виде дробей — это «иррациональные числа», и $\sqrt{2}$ — отнюдь не единственное такое число, хотя оно было открыто первым. Большинство квадратных корней, кубических корней, корней четвертой степени и так далее являются иррациональными, так же как большинство синусов, косинусов, тангенсов и тому подобное, а еще числа, включающие пи (π), а также логарифмы.

На самом деле множество иррациональных чисел бесконечно. Можно доказать, что между любыми двумя точками, представленными на линии рациональными числами, как бы близко они друг к другу ни находились, всегда окажется как минимум одна точка, представленная иррациональным числом.

Вместе рациональные и иррациональные числа называются «действительными». Можно показать, что любое действительное число можно соотнести с одной и только одной точкой на данной линии и что любую точку на линии можно соотнести с одним и только одним действительным числом. Другими словами, некой точке на линии, которой нельзя придать дробь, может быть придано иррациональное число. Ни одну точку эти две категории не пропустят.

Таким образом, последовательность действительных чисел и последовательность точек на линии находятся в однозначном соответствии и равны.

Тогда встает следующий вопрос: можно ли последовательность всех действительных чисел или всех точек на линии (поскольку они равнозначны) привести в однозначное соответствие с последовательностью целых чисел. Ответ будет — нельзя!

Можно показать, что, как бы вы ни располагали действительные числа или точки, какую бы мыслимую систему вы ни использовали, бесконечное количество действительных чисел или точек останется неохваченным. В результате мы окажемся в том же положении, как и в аудитории, где все места заняты и еще стоят люди. Мы вынуждены заключить, что людей больше, чем мест. И таким же образом мы вынуждены заключить, что действительных чисел или точек на линии больше, чем целых чисел.

Если бы мы захотели представить бесконечную последовательность точек с помощью символов, мы не станем использовать символ ∞, чтобы сказать «и так далее до бесконечности», поскольку он уже связан с целыми числами и со всеми рациональными числами. Вместо этого обычно используется символ *C*, обозначающий continuum (континуум, непрерывность), так как все точки на линии представляют непрерывную линию.

Следовательно, мы можем записать последовательность: точка 1, точка 2, точка 3, ..., *C*.

Теперь у нас появилась разновидность бесконечности, которая отличается от «простой бесконечности» и является более мощной.

У этой новой и более мощной бесконечности есть своя странная арифметика. Например, точки на короткой линии можно соотнести с точками на длинной линии, или с точками на плоскости, или, точками тела. Впрочем, давайте прекратим мучения и сразу скажем, что в линии длиной в миллионную часть сантиметра столько же точек, сколько во всем пространстве.

Примерно в 1895 году немецкий математик Георг Кантор создал арифметику бесконечности и также создал множество различных разновидностей бесконечности, которые он назвал кардинальными трансфинитными числами. Он обозначил эти кардинальные числа буквой алеф, которая является первой буквой еврейского алфавита и выглядит так: $\aleph$.

Различные трансфинитные числа можно записывать в порядке увеличения, вернее, в порядке увеличения мощности бесконечности, придавая каждому нижний индекс, начиная с ноля. Наименьшее трансфинитное число будет алеф-ноль, затем будут алеф-один, алеф-два и так далее до бесконечности.

Это можно обозначить как $\aleph_0, \aleph_1, \aleph_2, \dots \aleph_\infty$.

В целом, что бы вы ни делали с конкретным трансфинитным числом в плане сложения, вычитания, умножения или деления, оно не изменяется. Изменение происходит, только когда вы возводите трансфинитное число в трансфинитную степень, равную ему самому (но не в трансфинитную степень меньше его самого). Тогда оно переходит в следующее по мощности трансфинитное число. Таким образом,

$$\aleph_0^{\aleph_0} = \aleph_1; \ \aleph_1^{\aleph_1} = \aleph_2 \text{ и так далее.}$$

Было показано, что то, что мы обычно считаем бесконечностью — бесконечная последовательность целых чисел — это алеф-ноль. Другими словами, $\infty = \aleph_0$. И тогда потрясающая громада «обычной бесконечности» оказывается наименее мощной из всех трансфинитных чисел.

Тот вид бесконечности, который мы обозначили как C, может быть представлен через алеф-один, так что $C = \aleph_1$, но это еще не доказано. Никому из математиков пока не удалось доказать, что существует некая бесконечная последовательность, превышающая по мощности бесконечность рациональных чисел, но уступающая бесконечности точек на линии (действительных чисел). Однако никто из математиков не доказал и того, что такой промежуточной бесконечности не существует.

Если континуум равен алеф-один, тогда мы наконец сможем написать уравнения для нашей привычной «обычной бесконечности», которое ее преобразит:

$$\infty^{\infty} = C.$$

Наконец, было показано, что бесконечность всех кривых, которые можно построить на плоскости, еще более мощная, чем бесконечность точек на линии. Другими словами, невозможно выстроить кривые так, чтобы они пришли в однозначное соответствие с точками на линии, не опустив при этом бесконечного множества кривых. Эта бесконечность кривых может равняться алеф-два, но это пока тоже не было доказано.

И это не все. Если принять, что бесконечность рациональных чисел — это алеф-ноль, бесконечность точек — это алеф-один, а бесконечность кривых — это алеф-два, то далее мы останавливаемся. Никто не предлагал какого-то вида бесконечности, которая могла бы соответствовать алеф-три (не говоря уже об алеф-тридцать или алеф-три миллиона).

Как Джон Френд сказал в своей книге «Современное введение в математику»: «Похоже, наше воображение не позволяет нам считать дальше трех, когда мы имеем дело с бесконечными рядами».

Тем не менее, если мы теперь вернемся к названию «Вторжение из бесконечности», то, по-моему, мы имеем право с флегматичным спокойствием поинтересоваться: «Из которой бесконечности? Всего лишь из алеф-ноль? И только-то?»

Глава 4
КУСОЧЕК π

В своем эссе «Эти безумные идеи», опубликованном в «Фактах и фантазиях», я небрежно заметил в примечании, что $e^{\pi i} = -1$. И вот, немалая доля комментариев, которые я получал потом, относилась не к самому эссе, а к этому примечанию (один из читателей, скорее скорбя, чем гневаясь, доказал это равенство, что я не счел нужным сделать).

Я пришел к выводу, что некоторых читателей интересуют эти странные символы. Поскольку меня они тоже интересуют (хотя я на самом деле не математик — и ничто другое), то я не смог устоять перед соблазном взять один из них, например π, и поговорить о нем в этой главе и в следующей. В главе 6 я буду обсуждать i.

Прежде всего, что такое π? Ну, это греческая буква пи, и она представляет отношение длины периметра круга к длине ее диаметра. «Периметр» произошел от греческого «perimetron», означающего «измерение вокруг», а «диаметр» от греческого «diametron», означающего «измерение через». По какой-то непонятной причине слово «периметр» используют в случае многоугольников, а при разговоре о кругах принято переходить к слову «окружность». Наверное, это не страшно (я не пурист), но это затемняет причину введения символа π.

Примерно в 1600 году английский математик Уильям Отред при обсуждении отношения периметра круга к его диаметру использовал греческую букву π в качестве символа периметра, а греческую букву δ (дельта) — диаметра. Это были первые буквы слов «perimetron» и «diametron» соответственно.

Сейчас математики часто упрощают дело, стараясь по возможности устанавливать значения, равные единицам. Например, они могут говорить о круге единичного диаметра. В таком круге длина периметра численно равна отношению периметра к диаметру. (Наверное, для кого-то из вас это очевидно, а остальные могут поверить мне на слово.) Так как в круге единичного диаметра периметр равен отношению, это отношение можно обозначить с помощью π, символа периметра. А поскольку круг единичного диаметра используется часто, привычка быстро усваивается.

Первым выдающимся человеком, использовавшим π в качестве символа отношения длины периметра круга к длине его диаметра, был швейцарский математик Леонард Эйлер в 1737 году. А что устраивало Эйлера, вполне устраивало и всех остальных.

Теперь я могу снова называть периметр круга окружностью.

Но каково же отношение длины окружности к ее диаметру в реальных цифрах?

Этот вопрос занимал еще древних людей задолго до изобретения чистой математики. В любой постройке, выходящей за пределы курятника, необходимо заранее просчитать самые разные измерения, если вы не хотите постоянно кричать кому-то из помощников: «Эй, ты, дурень, эти балки на пол-локтя короче!» И чтобы делать измерения в условиях нашей вселенной, вам все время приходится использовать при умножении число π. Даже когда вы имеете дело не с кругами, а только с углами (а от углов никуда не денешься), вы обязательно столкнетесь с π.

Предположительно, первые эмпирические вычислители, которые поняли важность этого отношения, определяли его, рисуя круг и практически измеряя длины диаметра и окружности. Конечно, измерение длины окружности — дело хитрое, с которым нельзя справиться с помощью обычной деревянной линейки, которая для этого чересчур негибкая.

Видимо, строители пирамид и их предшественники очень аккуратно выкладывали льняную бечевку по окружности, делали отметку там, где окружность завершалась, а потом распрямляли бечевку и измеряли ее каким-то эквивалентом складного метра. (Современные математики-теоретики смотрят на это хмуро и высокомерно заявляют: «Но вы делаете необоснованное предположение, что бечевка имеет одну и ту же длину, когда она прямая и когда изогнутая». Думаю, что честный работник, организующий строительство местного святилища, столкнувшийся с подобным возражением, решил бы вопрос, бросив возражающего в реку Нил.)

Как бы то ни было, чертя круги различного диаметра и проводя достаточное количество измерений, архитекторы и ремесленники должны были достаточно рано заметить, что это отношение для всех кругов всегда оставалось одинаковым. Другими словами, если один круг имел диаметр вдвое длиннее или в $1^5/_8$ длиннее, чем диаметр второго, он также имел бы окружность вдвое или в $1^5/_8$ длиннее. Значит, проблема сводилась к тому, чтобы находить не соотношение конкретного круга, который вам хотелось использовать, а универсальное соотношение, которое распространялось бы на все круги во все времена. Как только человек запоминал значение π, ему больше не нужно было определять отношение для какого-либо круга.

Что до конкретного значения отношения, определяемого путем измерения, то в древности оно зависело от того, насколько тщательно человек проводил измерения и насколько он ценил точность. Например, древние евреи были не очень хорошими инженерами-строителями, так что, когда им пришло время строить свое самое важное здание (храм Соломона), им пришлось приглашать финикийского архитектора.

Тогда можно было ожидать, что евреи при описании этого храма будут использовать только круглые цифры, не видя смысла в глупых и надоедливых дробях и отказываясь беспокоить себя такими мелкими и пустяковыми вещами, когда речь шла о доме Бога.

Так, в главе 4 Второй книги Паралипоменон они описывают «море литое», которое было включено в храм и которое, видимо, являлось какой-то емкостью круглой формы. Начало описания находится во втором стихе этой главы и выглядит так: «И сделал море литое, — от края его до края его десять локтей, — все круглое, вышиною в пять локтей; и снурок в тридцать локтей обнимал его кругом».

Как видите, евреи не понимали, что, давая диаметр круга (как десять локтей или как угодно иначе), они автоматически давали и длину его окружности. Они посчитали необходимым определить окружность как равную тридцати локтям и тем самым продемонстрировали, что считали π равным 3.

Всегда есть опасность, что какой-нибудь человек, слишком преданный букве Библии, может вследствие этого счесть, что 3 — это божественно определенное значение π. Не исключено, что именно этим руководствовалась простая душа в законодательном органе одного из штатов, несколько лет назад предложив закон, по которому в пределах этого штата π в обязательном порядке приравнивается к 3. К счастью, закон не прошел, иначе все колеса в этом штате (которые конечно же подчинились бы почтенным законодателям) стали бы шестиугольными.

Как бы то ни было, те древние народы, у которых была хорошо развита архитектура, из своих измерений знали, что величина π все же больше 3. Наилучшая величина, которую им удалось найти, была $^{22}/_{7}$ (или $3^{1}/_{7}$, если вам так больше нравится), что очень неплохо, и это число доныне используется для быстрых аппроксимаций.

В десятичных дробях $^{22}/_{7}$ приблизительно равны 3,14287..., тогда как на самом деле π с точностью до пятого знака после запятой — 3,141592... Таким образом, $^{22}/_{7}$ превышают нужное значение всего на 0,04 процента, или на 1 часть из 2500. Для большинства практических целей это вполне сносно.

А потом появились древние греки, создавшие систему геометрии, которая отвергала эту мерзость — «уложить бечевку и измерить ее линейкой». Ясно, что такой метод давал результаты, которые зависели от качества линейки, бечевки и глазомера, — а все это вещи ненадежные.

Архимед Сиракузский, например, для нахождения π использовал «метод исчерпания» (это —

предшественник интегрального исчисления, и его Архимед изобрел бы на две тысячи лет раньше Ньютона, пришли ему какой-нибудь благодетель из более позднего времени на машине времени арабские цифры).

Чтобы представить себе это, вообразите равносторонний треугольник, чьи вершины лежат на окружности единичного диаметра. Чтобы точно вычислить периметр этого треугольника, достаточно обычной геометрии. Если вам это интересно, он равен $3\sqrt{3}/_2$, или 2,598076... Этот периметр должен быть меньше окружности (то есть значения π), опять-таки по простым геометрическим соображениям.

Теперь представьте себе, что дуги между вершинами этого треугольника поделены пополам так, что в круг оказывается вписан равносторонний шестиугольник (фигура с шестью сторонами). Его периметр также можно определить (он равен ровно 3), и можно показать, что это — больше треугольника, но все же меньше круга. Повторяя это снова и снова, можно вписывать равносторонние многоугольники с 12, 24, 48... сторонами.

Пространство между многоугольником и границей круга постоянно уменьшается (исчерпывается), и многоугольник можно сколько угодно приближать к кругу, хотя он никогда по-настоящему с ним не совпадет. То же самое можно проделать с равносторонними многоугольниками, описанными вокруг окружности (то есть их стороны проходят к окружности по касательной), получая ряд уменьшающихся значений, которые приближаются к длине окружности.

По сути, Архимед поймал окружность между последовательностью чисел, приближавшихся к π снизу, и другой, которая приближалась к нему сверху. Таким путем π можно определить с любой степенью точности, при условии, что у вас хватит терпения работать с многоугольниками все с большим количеством сторон.

У Архимеда хватило времени и терпения, чтобы работать с многоугольниками с 96 сторонами, и он смог показать, что величина π чуть ниже $^{22}/_{7}$ и несколько выше чуть меньшей дроби $^{223}/_{71}$.

Итак, средняя для этих двух дробей величина — это $^{3123}/_{994}$, а ее десятичный эквивалент — 3,141851... Это больше точного значения π всего на 0,0082 процента, или 1 части из 12500.

Ничего лучше не удавалось получить в Европе, по крайней мере до XVI века. Именно тогда для аппроксимации π впервые применили дробь $^{355}/_{113}$. Это — действительно наилучшая аппроксимация π, какую только можно получить с помощью простой дроби. Десятичное значение $^{355}/_{113}$ составляет 3,14159292..., тогда как точное значение π — 3,14159265... Из этого вы видите, что $^{355}/_{113}$ выше точного значения всего на 0,000008 процента, или на 1 часть из 12500000.

Чтобы показать вам, насколько хороша аппроксимация $^{355}/_{113}$, давайте предположим, что Земля — это идеальная сфера с диаметром, равным 13 километрам. Тогда мы могли бы рассчитать длину экватора, умножив 13 на π. Подставив вместо π аппроксимацию $^{355}/_{113}$, мы получим в ответе 40447,2253... км. Точное значение π даст ответ 40447,2219... км. Разница составит примерно 3,5 метра. Разница в 3,5 метра при расчете окружности Земли вполне может быть сочтена пренебрежимо малой. Даже искусственные спутники, которые подняли нашу географию на новые высоты точности, не дают результатов в такой степени точных.

Для всех, кроме математиков, из этого следует, что $^{355}/_{113}$ приближается к π настолько, что этого может оказаться недостаточно только в самых необычных обстоятельствах. Но у математиков на это своя точка зрения. Они не могут успокоиться без точного значения. На их взгляд, погрешность, даже самая небольшая, ничем не лучше ошибки длиной в мегапарсек.

Решающий шаг к истинному значению π сделал Франсуа Виет, французский математик XVI века. Он считается отцом алгебры, поскольку, помимо прочего, ввел использование буквенных обозначений неизвестных — знаменитые *x* и *y*, с которыми большинству из нас в какой-то момент жизни приходилось сталкиваться, испытывая трепет и неуверенность.

Виет выполнил алгебраический эквивалент геометрического метода исчерпывания Архимеда. То есть, вместо того чтобы чертить бесконечный ряд многоугольников, которые все более приближались к окружности, он создал бесконечный ряд дробей, которые можно было вычислить, чтобы получить величину π. Чем большее количество членов, используемых в уравнении, тем ближе вы оказывались к точному значению π.

Я не стану приводить здесь ряд Виета, поскольку в него входят квадратные корни из квадратных корней и даже квадратные корни из квадратных корней из квадратных корней. Нет смысла связываться с ними, когда другие математики получили другие ряды (это всегда бесконечные последовательности) для определения величины π — последовательности, которые записываются гораздо легче.

Например, в 1673 году немецкий математик Готфрид Вильгельм фон Лейбниц (который первым создал двоичную систему, см. главу 2) получил ряд, который можно записать следующим образом:

$$\pi = {}^4/_1 - {}^4/_3 + {}^4/_5 - {}^4/_7 + {}^4/_9 - {}^4/_{11} + {}^4/_{13} - {}^4/_{15} \cdots$$

Поскольку сам я — математик наивный, то есть практически лишенный математической интуиции, то, когда я решил написать этот раздел, подумал, что воспользуюсь рядом Лейбница, чтобы проделать короткие расчеты и показать вам, как легко он даст π с точностью до двенадцати цифр после запятой. Однако я бросил это вскоре после начала расчетов.

Вы можете презрительно отозваться о моей неусидчивости, но я приглашаю любого вычислить сумму ряда Лейбница хотя бы в той части, которая записана выше, то есть до $^4/_{15}$. Вы можете даже отправить мне открытку и сообщить результат. Если по окончании вы с разочарованием убедитесь, что ваш результат не настолько близок к π, как величина $^{355}/_{113}$, не сдавайтесь. Просто добавляйте новые члены. Прибавьте к вашему ответу $^4/_{17}$, потом вычтите $^4/_{19}$, затем прибавьте $^4/_{21}$, вычтите $^4/_{23}$, и так далее. Вы можете продолжать так долго, как пожелаете, и, если кто-то из вас определит, сколько членов требуется для того, чтобы результат превзошел $^{355}/_{113}$, напишите мне и об этом тоже.

Конечно, все это может вас разочаровать. Безусловно, бесконечный ряд является математическим представлением точного значения π. Для математика такой способ выражения ничем не хуже других. Но если вы хотите иметь его в виде числа, то сильно он вам поможет? Нет смысла складывать даже пару дюжин членов, если человеку величина π нужна просто для жизни.

Однако математики не отказываются от ряда только из-за того, что количество его членов бесконечно велико. Например, ряд

$$^1/_2 + {}^1/_4 + {}^1/_8 + {}^1/_{16} + {}^1/_{32} + {}^1/_{64} \cdots$$

может быть просуммирован с использованием все большего количества членов. Если вы проделаете это, то обнаружите, что чем больше членов вы используете, тем ближе подходите к 1, и вы можете записать это кратким образом, сказав, что сумма этого бесконечного ряда всего лишь 1.

Была найдена формула, которую можно использовать для определения суммы любой геометрической прогрессии, примером каковой и был приведенный выше пример.

Так, ряд

$$^3/_{10} + ^3/_{100} + ^3/_{1000} + ^3/_{10000} + ^3/_{100000} \cdots$$

складывается, со всем своим великолепием бесконечных чисел, всего лишь до $^1/_3$, а ряд

$$^1/_2 + ^1/_{20} + ^1/_{200} + ^1/_{2000} + ^1/_{20000} \cdots$$

складывается в $^5/_9$.

Но ни один ряд, созданный для получения значения π, не является уменьшающейся геометрической прогрессией, так что для определения его суммы нельзя использовать существующую на сей счет формулу. И так и нет формул, которые позволили бы определить сумму ряда Лейбница или любого другого. Тем не менее поначалу не было оснований предполагать, что не будет найдено уменьшающейся геометрической прогрессии, которая дала бы численную величину π. И тогда π можно было бы выразить в виде дроби. Поскольку дробь — это соотношение двух рациональных чисел, то все, что может быть выражено как дробь, или соотношение (ratio), является рациональным числом, как я уже объяснил в предыдущей главе. Итак, надеялись, что π окажется рациональным числом.

Один из способов доказать, что некая величина — это рациональное число, состоит в том, чтобы вычислить ее значение в десятичной дроби как можно дальше (например, складывая все больше и больше членов бесконечного ряда), а затем показать, что результат — это периодическая дробь, то есть дробь, в которой цифра или группа цифр повторяются бесконечно.

Например, десятичная величина $^1/_3$ составляет 0,333333333..., тогда как $^1/_7$ — это 0,142857 142857 142857... и так далее до бесконечности. Даже такая дробь, как $^1/_8$, которая, казалось бы, «рассчитывается без остатка», на самом деле является периодической дробью, если считать ноли, поскольку ее десятичный эквивалент выглядит как 0,12500000000... Можно математически доказать, что любая дробь, даже самая сложная, может быть выражена в виде десятичной дроби, которая рано или поздно станет периодической. И наоборот, любая десятичная дробь, которая в конце концов становится периодической, каким бы сложным ни был цикл периодичности, может быть выражена в виде простой дроби.

Возьмите наугад любую периодическую дробь, например 0,3737373737373737... Сначала вы сможете превратить ее в уменьшающуюся геометрическую прогрессию, записав ее как $^{37}/_{100} + {}^{37}/_{10000} + {}^{37}/_{1000000} + {}^{37}/_{100000000}$..., и затем сможете воспользоваться формулой, чтобы получить сумму, которая составит $^{37}/_{99}$. (Определите десятичный эквивалент этой дроби — увидите, что у вас получится.)

Или, предположим, у вас есть десятичная дробь, которая начинается как непериодическая, а затем становится периодической, такая как 15,2165555555... Ее можно записать как: $15 + {}^{216}/_{1000} + {}^{5}/_{10000} + {}^{5}/_{100000} + {}^{5}/_{1000000}$ ...

С $^5/_{10000}$ и далее мы имеем уменьшающуюся геометрическую прогрессию, и ее сумма составляет $^5/_{9000}$. Так что ряд становится конечным и состоит ровно из трех членов, и не более, и может быть легко просуммирован: $15 + {}^{216}/_{1000} + {}^{5}/_{9000} = {}^{136949}/_{9000}$.

Если хотите, можете получить десятичный эквивалент $^{136949}/_{9000}$ и посмотреть, как он выглядит.

Итак, значит, если бы был получен десятичный эквивалент π и в нем обнаружилось бы какое-то повторение, каким бы редким и сложным оно ни было, но при условии, что удалось бы показать его бесконечное продолжение, можно было бы записать новый ряд, который выразил бы его точную величину. Этот новый ряд включал бы в себя уменьшающуюся геометрическую прогрессию, для которой можно было бы найти сумму. Тогда возник бы конечный ряд, и точное значение π можно было бы выразить не в виде ряда, а виде определенного числа.

Математики погрузились в поиски. В 1593 году сам Виет создал свой собственный ряд, чтобы вычислить π до семнадцатого знака после запятой. Вот оно, если вам хочется на него взглянуть: 3,141592653589793 23. И как видите, никакого повторения не заметно.

Затем в 1615 году немецкий математик Лудольф фон Цеулен с помощью бесконечного ряда вычислил π до тридцать пятого знака. Он также не нашел повторений. Однако это оказалось настолько внушительным достижением своего времени, что он заслужил этим некую славу, и в результате π иногда называют «числом Лудольфа» — по крайней мере, в немецких учебниках.

А затем в 1717 году английский математик Авраам Шарп обошел Лудольфа, вычислив π до семьдесят второго знака после запятой. И по-прежнему никаких признаков повторения.

Но вскоре после этого игру испортили.

Чтобы доказать, что число является рациональным, вы должны представить дробь, которой оно эквивалентно, и продемонстрировать ее. Но для доказательства того, что оно иррациональное, совершенно не обязательно вычислять даже один знак после запятой. Достаточно просто *предположить*, что величину можно выразить через дробь, $^p/_q$, а затем продемонстрировать, что это приводит к противоречию, например, что p одновременно должно оказаться четным и нечетным. Это покажет, что данная величина не может быть выражена через дробь и, следовательно, она будет иррациональной.

Именно такой вид доказательств был разработан древними греками, чтобы показать, что корень квадратный из 2 является иррациональным числом (это иррациональное число было открыто первым). Пифагорейцы считаются первыми, кто сделал это открытие, и их так ужаснула возможность существования чисел, которые невозможно выразить с помощью дроби, пусть даже самой сложной, что они принесли клятву молчания и оговорили смертную казнь для болтунов. Но как все научные секреты, начиная с иррациональных чисел и кончая атомными бомбами, информация все равно просочилась.

Итак, в 1761 году немецкий физик и математик Иоганн Генрих Ламберт наконец доказал, что число π — иррациональное. Следовательно, никакой закономерности ожидать было нельзя, пусть даже сколь угодно малой и после какого угодно знака после запятой. Точное значение можно выразить только через бесконечный ряд.

Увы!

Но не надо плакать. Как только было доказано, что π иррационально, математики успокоились. Задача была решена. А что до применения π в физических расчетах, то с этой проблемой тоже было покончено. Вам может показаться, что иногда для очень важных расчетов необходимо знать π до нескольких десятков или даже сотен знаков, но это не так! Точность научных расчетов в наши дни необычайно велика, но до сих пор существуют те, которые приближаются, скажем, к одной части из миллиарда — и для таких точных расчетов, где участвует число π, вполне достаточно девяти или десяти цифр после запятой.

Например, предположим, что вы начертили окружность диаметром в шестнадцать миллиардов километров, чтобы охватить всю Солнечную систему. И допустим, вам понадобилось вычислить длину этой окружности (которая окажется чуть больше пятидесяти миллиардов километров), используя в качестве приблизительного значения π $^{355}/_{113}$. Вы ошибетесь меньше чем на пять тысяч километров.

Но предположим, что вы — такой дотошный человек, что сочтете ошибку в пять тысяч километров недопустимой. Тогда вы можете воспользоваться числом Лудольфа, где π найдено до тридцать пятой цифры после запятой. Тогда вы ошибетесь на расстояние, которое будет равно миллионной доле диаметра протона.

Или давайте начертим по-настоящему большую окружность, скажем, охватывающую всю известную Вселенную. Большие радиотелескопы, которые сейчас создаются, должны получать сигналы с расстояний, равных 40 000 000 000 световых лет. Окружность вокруг Вселенной, имеющей такой радиус, будет иметь длину приблизительно 300 000 000 000 000 000 000 000 (300 секстиллионов) километров. Если бы длину этой окружности вычисляли с использованием числа Лудольфа, то ошибка составила бы около двух миллионных сантиметра.

Тогда что же и говорить о значении π, которое Шарп вычислил до семьдесят второго знака после запятой?

Очевидно, что значение π, известное к тому моменту, когда была доказана его иррациональность, уже намного превышало ту точность, которая может понадобиться науке — как сейчас, так и в будущем.

И все же, хотя значение π ученым больше не нужно было определять — далее того, которое уже имелось, — люди продолжали вычисления в течение всей первой половины XIX века.

Человек по имени Георг Вега получил π до 140-го знака после запятой, еще один, Захарий Дейз — до 200-го, а некто по имени Речер — до 500-го.

Наконец, в 1873 году Уильям Шэнкс сообщил величину π до 707-го знака после запятой, и это оставалось рекордом вплоть до 1949 года — что неудивительно. Шэнксу понадобилось пятнадцать лет, чтобы проделать свои вычисления, и, как бы то ни было, никаких признаков упорядоченности (рациональности) так и не появилось.

Можно только гадать, какие мотивы подвигли его на то, чтобы пятнадцать лет заниматься таким делом. Возможно, это — тот же внутренний настрой, который заставляет человека сидеть на флагштоке или глотать золотых рыбок, чтобы «поставить рекорд». Или Шэнкс видел в этом для себя единственный путь к славе?

Если так, то он ее добился. В истории математики — рядом с описаниями работ таких ученых, как Архимед, Ферма, Ньютон, Эйлер и Гаусс, — находится место и для строчки, в которой сказано, что Уильям Шэнкс за годы, предшествовавшие 1873, вычислил значение π до 707-го знака после запятой. И потому, возможно, он чувствовал, что жизнь им прожита не зря.

В 1949 году начали появляться гигантские компьютеры, и иногда управлявшие ими молодые люди, полные жизнелюбия, веселья и пива, находили время с ними поиграть.

И вот однажды они ввели бесконечный ряд в машину под названием ENIAC и велели ей вычислять значение π. Они заставили ее работать семьдесят часов и в конце концов получили число (трепещи, призрак Шэнкса!) до 2035-го знака после запятой[1].

И что самое печальное для бедняги Шэнкса и его пятнадцати загубленных лет: в пятьсот какой-то цифре была обнаружена ошибка, так что все цифры после нее — намного больше ста — оказались неверными!

И конечно, если вы успели усомниться — а вам не следовало! — значения, найденные компьютером, также не дали никаких признаков повторов.

Глава 5
РАБОЧИЕ ИНСТРУМЕНТЫ

В предыдущей главе история π не закончена. Как говорилось в названии, это был лишь кусок π. Давайте же пойдем дальше.

Вклад греков в геометрию состоял в ее идеализации и абстрагировании. Египтяне и вавилоняне решали конкретные задачи конкретными методами, но не пытались установить общие правила.

Однако греки стремились к обобщениям и считали, что математические числа имеют некие присущие им свойства, которые являются вечными и

---

[1] К 1955 году более быстрый компьютер вычислил его до 10 017 знаков за тридцать три часа, и на самом деле изучение различных значений π содержит интересные моменты для математиков.

неизменными. Они также считали, что рассмотрение природы и соотношений этих свойств позволяют человеку ближе всего подойти к ощущению сути красоты и божественности. (Если мне будет позволено на мгновение отойти от естественных наук и вторгнуться в священные области наук гуманитарных, я могу указать, что именно такую идею выразила Эдна Сент-Винсент Милле в знаменитой строчке, которая звучит так: «Один Евклид взирал на Красоту нагую».)

Итак, для того, чтобы добраться до полной наготы Красоты, необходимо найти безупречные, идеализированные фигуры, состоящие из безупречных идеализированных частей. Например, идеальная линия состоит из длины — и ничего более. У нее нет ни толщины, ни ширины — ничего, кроме длины. Две идеальные линии, идеально и безупречно прямые, пересекались в идеальной и безупречной точке, которая вообще не имела измерений, только положение. Окружность была линией, которая изгибалась идеально одинаково во всех точках; каждая точка на этой кривой идеально равноудалена от определенной точки, названной центром окружности.

К несчастью, хотя такие абстракции возможно себе представить, невозможно передать их в виде одних только абстракций. Для того чтобы объяснить свойства таких фигур (и даже для того, чтобы самому их исследовать) полезно — на самом деле почти необходимо — рисовать примитивные, грубые и неловкие приближения на воске, глине, на доске или на бумаге, используя острую палочку, мел, карандаш или ручку. (Увы, красоту приходится облекать в ткань и в математике, а не только в жизни.)

Более того, чтобы доказать некоторые из невыразимо прекрасных свойств различных геометрических фигур, обычно бывает необходимо использовать больше линий, нежели существовало в фигуре самой по себе. Может понадобиться провести лишнюю линию через точку и сделать ее параллельной или, возможно, перпендикулярной второй линии. Может понадобиться разделить линию на равные части или удвоить размер угла.

Чтобы выполнять эти рисунки как можно аккуратнее и точнее, необходимо было использовать инструменты. Из этого — если вы примете греческий образ мысли — естественно, на мой взгляд, вытекает, что чем меньше инструментов вы будете для этого использовать и чем проще будут эти инструменты, тем ближе к идеалу.

В конце концов количество инструментов свели к изящному минимуму из двух. Один — линейка для черчения прямых линий. Это не та линейка, учтите, на которой размечены дюймы или сантиметры. Это — чистый кусок дерева (или металла, или пластмассы, если уж на то пошло), который просто ведет маркирующее устройство по прямой линии.

Второй инструмент — это циркуль, который при самом простом употреблении рисует круги, но также служит для разметки равных отрезков на линии и чертит пересекающиеся дуги, отмечающие точку, равноудаленную от двух других точек, и так далее.

Я полагаю, что большинство из вас проходили планиметрию и использовали эти инструменты для построения одной линии, перпендикулярной к другой, для деления угла, для описания окружности вокруг треугольника и прочего. Все эти задачи — и бесчисленное количество других — могут быть решены с помощью линейки и циркуля при ограниченном количестве операций.

Конечно, ко времени Платона было известно, что использование более сложных инструментов упрощает построение определенных фигур и позволяет сделать некоторые построения, которые нельзя было выполнить с помощью одних только линейки и циркуля. Это для греческих геометров было чем-то вроде стрельбы по лисицам или сидящим уткам, ловли рыбы на червяка или поиска ответов на задачу в конце учебника. Это давало результаты, но это было не по-джентльменски. Линейка и циркуль считались в геометрии единственными «правильными» инструментами.

И никто не думал, что использование исключительно линейки и циркуля как-то ограничивает геометра. Порой становилось скучно придерживаться основных инструментов и возможно проще было бы пойти кратким путем и использовать другие приспособления, но, однако, линейка и циркуль могли справиться со всем, если только у вас хватало упорства и изобретательности.

Например, если вам давали отрезок определенной длины, который приравнивался к числу 1, с помощью циркуля и линейки можно было построить еще один отрезок ровно вдвое длиннее, который представлял бы число 2, или еще один отрезок, представляющий 3, или 5, или 500, или $^1/_2$, или $^1/_3$, или $^1/_5$, или $^3/_5$, или $2^3/_5$, или $27^{16}/_{23}$. На самом деле, используя только циркуль и линейку, любое рациональное число (то есть любое целое число или дробь) могло быть продублировано геометрически. Вы даже могли воспользоваться достаточно простым приемом (чего греки, увы, так и не сделали), чтобы стало возможно представлять как положительные, так и отрицательные рациональные числа.

Когда были открыты иррациональные числа, числа, которые невозможно записать в виде дроби, могло показаться, что циркуль и линейка потерпят поражение — но даже и тогда этого не произошло.

Например, корень квадратный из двух имеет величину 1,414214... и так далее без конца. И как же вы можете построить отрезок, который был бы в 1,414214... раз длиннее другого, когда вы точно не знаете, насколько же длиннее он должен быть?

На самом деле это легко. Представьте себе отрезок от точки *A* до точки *B*. (Как мне кажется, я могу сделать это без чертежа, но, если вам это покажется нужным, чертите отрезки во время чтения. Это будет просто.) Пусть этот отрезок, *AB*, представляет 1. Теперь проведите линию из *B* перпендикулярно *AB*. Теперь у вас есть два отрезка, образующие прямой угол. С помощью циркуля начертите окружность с центром *B*, где встречаются оба отрезка, так чтобы она проходила через *A*. Окружность пересечет начерченный вами перпендикуляр в точке, которую мы обозначим как *C*. Благодаря хорошо известным свойствам окружности отрезок *BC* точно равен отрезку *AB* и тоже представляет 1.

Наконец, соедините точки *A* и *C* третьей прямой.

Этот отрезок, *AC*, как можно доказать геометрически, ровно в $\sqrt{2}$ раз длиннее, чем *AB* и *BC*, и, следовательно, представляет иррациональное число $\sqrt{2}$.

Не думайте, конечно, будто теперь достаточно только измерить *AC* относительно *AB*, чтобы получить точное значение $\sqrt{2}$. Этот чертеж сделан с помощью неидеальных инструментов руками неидеального человека и является всего лишь грубой аппроксимацией идеальных фигур, которые они представляют. Число $\sqrt{2}$ — это идеальный отрезок *AC*, а не реальная линия.

Подобным образом с помощью линейки и циркуля можно представить бесконечное количество других иррациональных чисел.

Действительно, у греков не было оснований сомневаться в том, что любое мыслимое число можно представить в виде отрезка, который будет построен с помощью одних только линейки и циркуля за конечное количество операций. Поскольку любое построение сводилось к построению неких отрезков, представляющих определенные линии, то считалось, что все, что можно сделать с помощью любого приспособления, осуществимо и с одними только линейкой и циркулем. Иногда оставалось неясно, как это сделать, но греки не сомневались, что при должном хитроумии, проницательности, уме, интуиции и удаче способ откроется.

Например, греки так и не научились делить окружность на семнадцать равных частей с помощью одних только линейки и циркуля. Однако это сделать можно. Способ оставался неизвестен до 1801 года, когда немецкому математику Карлу Фридриху Гауссу, которому в тот момент было всего двадцать четыре года, удалось это сделать. Разделив окружность на семнадцать частей, он смог соединить точки деления линейкой, образовав правильный многоугольник с семнадцатью сторонами (септендекагон). Тот же метод можно использовать для построения правильного многоугольника с 257 сторонами и бесконечное количество других многоугольников с еще большим количеством сторон. Число сторон можно рассчитать по формуле, которую я здесь не стану приводить.

Если построение такой простой фигуры как правильный септендекагон могло ускользнуть от греческих геометров и все же в конце концов оказаться вполне разрешимой задачей, то почему бы в конце концов не оказаться разрешимой и задаче любого мыслимого построения, каким бы загадочным оно ни представлялось?

В качестве примера — задача, которая завораживала древних греков: имея круг, постройте квадрат с той же площадью.

Это называется «квадратура круга».

Существует несколько способов это сделать. Вот один из них. Измерьте радиус круга самым точным измерительным устройством, которое вы имеете. Допустим, для забавы, что длина этого радиуса окажется ровно один сантиметр. (Этот способ работает для радиуса любой длины, так почему бы нам не насладиться простотой.) Возведите этот радиус в квадрат, получив по-прежнему 1, поскольку 1 × 1, слава богу, 1, и умножьте это число на наилучшее значение π, которым вы располагаете. (А вы гадали, когда я вернусь к π?) Если вы возьмете π, равное 3,1415926, то площадь круга окажется 3,1415926 квадратного сантиметра.

Теперь найдите квадратный корень из этого числа — он составит 1,7724539 — и отмерьте прямой отрезок длиной ровно 1,7724539 сантиметра, используя ваше измерительное приспособление. Постройте перпендикуляры на обоих концах отрезка, отметьте на каждом из них 1,7724539 сантиметра и соедините эти две точки.

Ну вот! У вас получился квадрат, площадь которого равна площади данного круга. Конечно, вы можете испытывать смущение. Ваше измерительное устройство не бесконечно точное, как неточно и значение π, которым вы воспользовались. Значит ли это, что квадратура круга только приблизительная, а не точная?

Да, но важны не детали, а сам принцип. Мы можем *считать* измерительное приспособление безупречным, а значение π, использованное при расчете, — точным до бесконечного знака после запятой. В конце концов, это не менее оправданно, чем принятие конкретных начертаний за воплощение идеальных линий или представление о нашей линейке как идеально ровной, а нашего циркуля — как обладающего двумя идеальными остриями. В принципе мы совершенно точно нашли квадратуру круга.

Да, но мы использовали измерительное приспособление — а оно не входит в число двух рабочих инструментов, допустимых для благородного геометра. Это — признаки подлеца и самозванца, так что вас исключают из клуба.

Вот еще один способ нахождения квадратуры круга. Что вам нужно — при условии, что радиус вашего круга принимается за 1, это еще одна прямая, представляющая $\sqrt{\pi}$. Квадрат, построенный на таком отрезке, будет иметь ту же площадь, что и круг с «единичным» радиусом. Как получить такой отрезок? Ну, если бы вы могли построить отрезок, равный π раз длине радиуса, то существуют способы, с помощью которых, используя только линейку и циркуль, можно построить отрезок, равный корню квадратному из длины этого отрезка — и, следовательно, представляющий $\sqrt{\pi}$, который нам нужен.

Но совсем не трудно получить отрезок, который равен π, умноженному на радиус. Согласно хорошо известной формуле, длина окружности равна двум радиусам, умноженным на π. Так что давайте представим себе круг, лежащий на прямой, и давайте сделаем крошечную отметину в точке, где круг соприкасается с линией. Теперь медленно поворачивайте круг, чтобы он двигался вдоль линии (не проскальзывая), пока отмеченная вами точка не сделает полный оборот и снова не соприкоснется с линией. Сделайте еще одну отметку там, где произошло второе соприкосновение. Таким образом, вы отмерили на прямой длину окружности и расстояние между двумя метками равно двум π.

Разделите отмеченный отрезок пополам с помощью обычных методов геометрии линейки и циркуля, и вы получаете отрезок, представляющий π. Постройте корень квадратный этой линии — и вы будете иметь $\sqrt{\pi}$.

Вот и все! С помощью этих действий вы практически нашли квадратуру круга.

Но нет. Боюсь, что вас все равно не приняли бы в клуб. Вы воспользовались катящимся кругом с отметкой на нем, а это подпадает под определение инструмента, отличного от линейки и циркуля.

Дело в том, что существует множество способов нахождения квадратуры круга, но грекам не удалось найти такой, чтобы можно было сделать это исключительно с помощью линейки и циркуля за конечное количество операций. (Они потратили я не знаю сколько человеко-часов на поиски такого способа, и, глядя назад, это можно счесть бесплодными усилиями — но это не так. Во время этих поисков они наткнулись на всевозможные новые кривые, такие как конические сечения, и новые теоремы, которые оказались гораздо более полезными, чем было бы нахождение квадратуры круга.)

Хотя грекам не удалось найти такой способ, поиск продолжался и продолжался. Люди все пытались, пытались и пытались...

А теперь давайте ненадолго сменим тему.

Рассмотрим простое уравнение типа $2x - 1 = 0$. Вы можете увидеть, что принятие $x = {}^1/_2$ сделает его верным утверждением, потому что $2({}^1/_2) - 1$ действительно равно нулю. Никакого другого числа вместо x подставить нельзя, чтобы это уравнение осталось верным.

Меняя цифры в уравнении (их называют «коэффициентами»), x можно сделать равным другим конкретным числам. Например, в $3x - 4 = 0$ x равно ${}^4/_3$, а в $7x + 2 = 0$ x равно $-{}^2/_7$. На самом деле, правильно подбирая коэффициенты, вы можете получить в качестве x любое положительное или отрицательное целое число или дробь.

Но в таком «уравнении первой степени» вы можете получить для x только рациональные значения. Вы не можете составить уравнение в виде $Ax + B = 0$, где A и B являются рациональными, а x при этом стал бы равен, например, $\sqrt{2}$.

Для этого следует взять более сложный вид уравнений. Предположим, вы проверите $x^2 - 2 = 0$, которое является «уравнением второй степени», поскольку в него входит квадрат. Если вы решите его относительно x, то найдете ответ, $\sqrt{2}$, который, будучи подставлен вместо x, даст верное утверждение. На самом деле здесь есть даже два возможных ответа, потому что подстановка $-\sqrt{2}$ вместо x также даст верное утверждение.

Вы можете составить уравнения третьей степени, такие как $Ax^3 + Bx^2 + Cx + D = 0$, или четвертой степени (мне не надо приводить другие примеры, правда?), или более высокой степени. Нахождение x каждый раз становится все более трудным, но дает вам ответы, включающие корни кубические, корни четвертой степени и так далее.

В любом уравнении такого типа (полиномиальном или алгебраическом) значение x может быть найдено манипуляциями с коэффициентами. Возьмем в качестве примера самый простой случай, уравнение первой степени: $Ax + B = 0$, значение x равно $-{}^{B}/_{A}$. В общем уравнении второй степени, $Ax^2 + Bx + C = 0$, имеется два решения. Одно — это

$$\frac{-B+\sqrt{B^2-4AC}}{2A}, \text{ а другое } \frac{-B-\sqrt{B^2-4AC}}{2A}.$$

Решения становятся все более сложными и в конце концов, для уравнений пятой степени и более высоких, общего решения дать уже нельзя, хотя конкретные решения по-прежнему находить можно. Однако принцип остается: во всех полиномиальных уравнениях значение x может быть выражено с помощью конечного количества чисел, участвующих в конечном количестве операций, причем эти операции состоят из сложения, вычитания, умножения, деления, возведения в степень (инволюции) и нахождения корней (эволюции).

Эти операции — единственные, используемые в обычной алгебре, и потому называются «алгебраическими операциями». Любое число, которое можно получить из целых чисел с помощью конечного количества алгебраических операций в любом сочетании, называется «алгебраическим числом». Если сказать это в обратном порядке, любое алгебраическое число является возможным решением какого-то полиномиального уравнения.

Оказывается, что геометрический эквивалент любой алгебраической операции, за исключением извлечения корней более высокой степени, чем корень квадратный, можно выполнить с помощью одних только линейки и циркуля. Если данный отрезок представляет 1, то из этого следует, что линия, представляющая любое алгебраическое число, для которого не требуется корень со степенью выше двух, может быть построено линейкой и циркулем за конечное количество операций.

Поскольку π вроде бы не содержит корней кубических (или еще каких-то похуже), то не значит ли это, что его можно построить с помощью линейки и циркуля? Это было бы так, если бы алгебраические числа включали в себя *все* числа. Но так ли это? Существуют ли числа, которые не могут быть решением каких-то полиномиальных уравнений и, следовательно, не являются алгебраическими?

Начнем с того, что все возможные рациональные числа могут быть решением уравнений первой степени, так что все рациональные числа являются алгебраическими. Затем, конечно, некоторые иррациональные числа являются алгебраическими, потому что легко написать уравнения, для которых ответами был бы $\sqrt{2}$ или $\sqrt[3]{15} - 3$.

Но могут ли существовать такие иррациональные числа, которые не служили бы ответом ни для одного из бесчисленного числа различных полиномиальных уравнений со всеми бесконечными возможными степенями?

В 1844 году французский математик Лиувилль наконец нашел способ показать, что такие неалгебраические числа действительно существуют. (Нет, я не знаю, как он это сделал, но если кто-то из читателей считает, будто я в состоянии понять этот способ — а я должен его предупредить, чтобы он меня не переоценивал, — то пусть присылает его мне.)

Однако, доказав существование неалгебраических чисел, Лиувилль все-таки не смог найти ни одного конкретного примера. Ближе всего он подошел к нему, показав, что число, представленное символом *e*, не может служить корнем ни одного мыслимого уравнения второй степени.

(В этот момент я испытываю соблазн приняться за обсуждение числа *e*, потому что, как я сказал в самом начале предыдущей главы, существует знаменитое уравнение $e^{\pi i} = -1$. Но я справлюсь с этим соблазном. Я скажу только, что *e* — это иррациональное число, значение которого к настоящему времени установлено до шестидесяти тысяч знаков, где первые двадцать пять знаков после запятой таковы: 2,7182818284590452353602874.)

Затем, в 1873 году, французский математик Шарль Эрмит придумал метод анализа, который показал, что *e* не может быть корнем никакого мыслимого уравнения любой мыслимой степени и, следовательно, не является алгебраическим числом. На самом деле оно оказалось трансцендентным числом (от слова «transcend» — «выходить за пределы»), запредельным для алгебраических операций, и потому его невозможно получить из рациональных чисел с помощью любого конечного количества таких операций. (То есть $\sqrt{2}$ — иррациональное число, но может быть получено одной алгебраической операцией, извлечением корня квадратного из 2. Напротив, величина e может быть вычислена только с использованием бесконечного ряда, подразумевающего бесконечное количество сложений, делений, вычитаний и так далее.)

С помощью метода, созданного Эрмитом, немецкий математик Фердинанд Линдеманн в 1882 году доказал, что π также является трансцендентным числом.

Это чрезвычайно важно для моей книги, поскольку означает, что отрезок, равный π, не может быть построен с помощью одних только линейки и циркуля при конечном количестве операций. *Квадратура круга не может быть построена с помощью только линейки и циркуля.* Это так же невозможно сделать, как найти точную величину $\sqrt{2}$ или отыскать нечетное число, которое было бы кратно 4.

У трансцендентных чисел есть одна странность.

Их было трудно найти, но после того, как они были найдены, оказалось, что они имеются в огромных количествах. Практически любое выражение, включающее либо e, либо π, является трансцендентным при условии, что оно не составлено так, что e или π сокращаются. Практически любое выражение с логарифмами (которые включают e) и практически все выражения, включающие тригонометрические функции (которые включают π), являются трансцендентными. Выражения, включающие числа, возведенные в иррациональную степень, такие как $x^{\sqrt{2}}$ являются трансцендентными.

На самом деле если вы вернетесь к главе 3, то поймете меня, если я скажу: было доказано, что алгебраические числа можно привести в однозначное соответствие с целыми числами, а трансцендентные числа — нельзя.

Это значит, что множество алгебраических чисел хотя и является бесконечным, но имеет низшую трансфинитную мощность, $\aleph_0$, тогда как множество трансцендентных чисел имеет уже следующую мощность, $\aleph_1$. Таким образом, трансцендентных чисел бесконечно больше, чем алгебраических.

Конечно, тот факт, что трансцендентность π к настоящему моменту полностью установлена и что так обстоит дело уже почти сто лет, не останавливает рьяных квадратурокругистов, которые продолжают отчаянно работать линейкой и циркулем и регулярно докладывать о решениях.

Так что, если вы знаете способ получить квадратуру круга с помощью одних только линейки и циркуля, я вас поздравляю, но в вашем доказательстве где-то имеется ошибка. И незачем посылать свои решения мне, потому что я — отвратительный математик и не смогу найти погрешность. Однако я все равно вам заявляю: она там есть.

Глава 6

МНИМОЕ, КОТОРОЕ НЕ МНИМОЕ

Когда я был еще совсем юным и посещал колледж, у меня был друг, с которым мы каждый день встречались за ленчем. У него в одиннадцать часов была социология, которую я решительно отказывался учить, так что нам приходилось расставаться в одиннадцать, чтобы снова встретиться в двенадцать.

И так уж сложилось, что его профессором социологии был человек, который любил покрасоваться и после занятия собирал вокруг себя почитателей. Самые рьяные студенты подходили ближе и слушали, как он рассуждал еще минут пятнадцать, пока они подбрасывали поленья в виде вопросов, чтобы питать пламя его красноречия.

В результате этого, когда моя математическая лекция заканчивалась, мне приходилось заходить в аудиторию социологии и терпеливо дожидаться окончания приема.

Как-то раз я вошел, когда профессор расписывал на доске свою классификацию, согласно которой человечество делилось на две группы — мистиков и реалистов, и в разряд мистиков вместе с поэтами и богословами он включил математиков. Один из студентов захотел узнать, почему это было сделано.

— Математики, — сказал профессор, — являются мистиками потому, что они верят в числа, которые не имеют реальности.

Обычно я, не будучи членом его группы, садился в уголке и молча страдал от скуки, но на этот раз я судорожно поднялся и спросил:

— Какие это числа?

Профессор посмотрел в мою сторону и сказал:

— Квадратный корень из минус единицы. Его не существует. Математики называют его мнимым. Но они верят, что это число каким-то мистическим образом существует.

— Тут нет ничего мистического, — гневно заявил я. — Квадратный корень из минус единицы так же реален, как и любое другое число.

Профессор улыбнулся, почувствовав, что заполучил подопытного кролика, на котором он теперь сможет продемонстрировать превосходство своего интеллекта. (С тех пор я сам преподавал и прекрасно знаю, что именно он при этом чувствовал.) Он ласково проговорил:

— У нас тут присутствует юный математик, который хочет доказать реальность квадратного корня из минус единицы. Ну же, молодой человек, дайте мне квадратный корень из минус единицы куска мела!

Я покраснел:

— Ну нет, постойте...

— Вот и все! — объявил он, взмахивая рукой.

Он воображал, что дело сделано — быстро и ловко.

Но я возвысил голос:

— Я это сделаю. Я это сделаю! Я вручу вам квадратный корень из минус единицы куска мела, если вы дадите мне одну вторую мела.

Профессор снова улыбнулся и сказал:

— Отлично.

Он сломал целую палочку мела и вручил мне одну из половинок:

— А теперь выполняйте свое обещание.

— Но постойте, — сказал я, — вы еще не выполнили своего. Вы дали мне кусок мела, а не одну вторую. — Я продемонстрировал его окружающим. — Разве вы не сказали бы, что это — один кусок мела? Это определенно не два и не три.

Теперь профессор уже не улыбался.

— Однако один кусок мела — это кусок стандартной длины. А у вас кусок в половину стандартной длины.

Я сказал:

— А теперь вы навязываете мне произвольное решение. Но даже если я его приму, вы готовы утверждать, что это именно одна вторая куска, а не 0,48 куска или не 0,52? И можете ли вы считать себя достаточно квалифицированным, чтобы обсуждать квадратный корень из минус единицы, когда вы не слишком четко понимаете значение одной второй?

К этому моменту профессор уже лишился своего добродушия, и его последний аргумент был неоспоримым. Он сказал:

— Убирайтесь отсюда к черту!

Я ушел (со смехом) и с тех пор дожидался своего друга в коридоре.

Минуло уже двадцать лет, и, наверное, мне следует завершить спор.

Давайте начнем с простого алгебраического уравнения, такого как $x + 3 = 5$. X представляет собой некое число, которое, будучи подставлено вместо x, делает равенство справедливым. В данном конкретном случае x должен равняться 2, так как $2 + 3 = 5$, так что мы решили уравнение относительно x.

В этом решении интересно то, что оно — единственное. Кроме 2 не существует числа, которое дало бы 5 при сложении с 3.

Это верно для уравнений такого вида, которые называются «линейными уравнениями» (потому что в геометрии их можно представить в виде прямой), или «полиномиальными уравнениями первой степени». Ни одно полиномиальное уравнение первой степени не может иметь более одного значения для x.

Однако существуют иные уравнения, которые могут иметь более одного решения. Вот пример: $x^2 - 5x + 6 = 0$, где x^2 (икс в квадрате) представляет собой x, умноженный на x. Такое уравнение называется квадратным, потому что в нем присутствует икс в квадрате. Оно также называется полиномиальным уравнением второй степени из-за показателя ^{2} в x^2. Что до самого x, то его можно было бы записать как x^1 — только показатель ^{1} всегда опускается и принимается как сам собой разумеющийся — и именно поэтому $x + 3 = 5$ называется уравнением первой степени.

Если мы возьмем уравнение $x^2 - 5x + 6 = 0$ и подставим 2 вместо x, тогда x^2 будет 4, а $5x$ будет 10, так что уравнение превратится в $4 - 10 + 6 = 0$, что верно, так что 2 становится решением уравнения.

Однако, если мы подставим 3 вместо x, тогда x^2 будет 6, а $5x$ будет 15, так что уравнение принимает вид $9 - 15 + 6 = 0$, что также верно, так что 3 становится вторым решением уравнения.

Не было найдено ни одного уравнения второй степени, которое имело бы больше двух решений, но как насчет полиномиальных уравнений третьей степени? Это — уравнения, содержащие x^3 (икс в кубе), которые поэтому называются «кубическими уравнениями». Выражение x^3 представляет x, умноженное на x умноженное на x.

Уравнение $x^3 - 6x^2 + 11x - 6 = 0$ имеет три решения, так как вы можете подставить в это уравнение вместо x 1, 2 и 3 и в каждом случае иметь справедливое равенство. Однако не было найдено ни одного кубического уравнения с более чем тремя решениями.

Аналогичным образом могут быть составлены полиномиальные уравнения четвертой степени, которые имеют четыре решения, но не больше; полиномиальные уравнения пятой степени, которые имеют пять решений, но не больше, и так далее. Значит, вы могли бы сказать, что полиномиальное уравнение n-ной степени может иметь вплоть до n решений, но никогда не больше, чем n.

Математики жаждали чего-то еще более красивого, чем это, и примерно к 1800 году нашли. В то время немецкий математик Карл Фридрих Гаусс показал, что любое уравнение n-й степени имеет ровно n решений — не только не больше, но и не меньше.

Однако для того, чтобы эта основная теорема была верной, наше понимание того, что представляет собой решение алгебраического уравнения, должно быть существенно расширено.

Вначале люди принимали только «натуральные числа»: 1, 2, 3 и так далее. Этого достаточно, чтобы пересчитывать объекты, которые принято считать целыми. У вас может быть 2 ребенка, 5 коров или 8 кастрюль, тогда как наличие $2^1/_2$ ребенка, $5^1/_4$ коровы или $8^1/_3$ кастрюли довольно бессмысленно.

Однако при измерении непрерывных величин — таких, как расстояние или вес — стали необходимы дроби. Египтяне и вавилоняне сумели создать способы работы с дробями, хотя по нашим меркам они и не были очень удачными, и, несомненно, консервативные ученые из их числа насмехались над мистиками-математиками, которые верили в число $5^1/_2$, которое не было ни 5, ни 6.

Такие дроби на самом деле являются отношениями целых чисел. Сказать, что доска имеет длину $2^5/_8$ метра, — значит сказать, что длина доски относится к длине стандартного метра, как 21 к 8. Однако греки обнаружили, что существуют определенные величины, которые нельзя выразить через соотношения целых чисел. Первым был открыт корень квадратный из 2, обычно записываемый как $\sqrt{2}$. Это — число, которое при умножении на себя дает 2. Такое число существует, но оно не может быть выражено через соотношение, и потому это иррациональное число.

Понятие числа до нового времени простиралось только до этих пор. Так, древние греки не принимали чисел меньше ноля. Как может быть что-то меньшее, чем ничто? Следовательно, для них уравнение $x + 5 = 3$ не имело решения. Как можно прибавить 5 к какому-то числу и в результате получить 3? Даже если бы вы прибавили 5 к самому малому числу (то есть к нолю), вы получили бы в качестве суммы 5, а при прибавлении 5 к любому другому числу (которое должно было быть больше ноля) вы получили бы сумму большую 5.

Первым математиком, нарушившим это табу и начавшим последовательно использовать числа меньше ноля, был итальянец Джироламо Кардано. На самом деле ведь может существовать нечто меньшее, чем ничто. Долг — меньше, чем ничто.

Если все, чем вы владеете в мире, — это долг в два доллара, то у вас на два доллара меньше, чем ничего. Если вы затем получите пять долларов, то у вас останется три собственных доллара (предполагая, что вы человек чести и отдаете долги). Следовательно, x в уравнении $x + 5 = 3$ может быть равен -2, где знак минус показывает число меньшее ноля.

Такие числа называются «отрицательными числами», так что в самом названии содержится воспоминание о том, что греки отказывались признавать существование таких чисел. Числа большие ноля это «положительные числа», и их можно записывать $+1$, $+2$, $+3$ и так далее.

С практической точки зрения расширение системы чисел и включение в нее отрицательных упрощает всяческие подсчеты, например в бухгалтерском деле.

С точки зрения теории использование отрицательных чисел означает, что любое уравнение первой степени имеет ровно одно решение. Не больше и не меньше.

Если мы перейдем к уравнениям второй степени, то обнаружим, что греки согласились бы с нами относительно того, что уравнение $x^2 - 5x + 6 = 0$

имеет два решения, 2 и 3. Однако они сказали бы, что у уравнения $x^2 + 4x - 5 = 0$ всего одно решение, 1. Подставьте 1 вместо x, и x^2 будет равняться 1, а $4x$ равняется 4, так что это уравнение становится $1 + 4 - 5 = 0$. Никакое другое число не может служить ответом, покуда вы ограничиваете себя положительными числами.

Однако число −5 также является решением, если мы примем те немногочисленные правила, которые были созданы для умножения отрицательных чисел. Для того чтобы получать непротиворечивые результаты, математики решили, что умножение отрицательного числа на положительное дает отрицательное произведение, тогда как умножение отрицательного числа на отрицательное дает положительное произведение.

Если в уравнение $x^2 + 4x - 5 = 0$ подставить −5, то x^2 будет равняться −5 на −5, то есть +25, тогда как $4x$ станет +4, умноженное на −5, или −20. Уравнение превратится в $25 - 20 - 5$, что верно. Тогда мы бы сказали, что у этого уравнения два решения: +1 и −5.

Иногда действительно кажется, что у квадратного уравнения имеется всего один корень, как, например, в $x^2 - 6x + 9 = 0$, что будет равенством только в том случае, если вместо x подставить число +3. Однако техника решения уравнения показывает, что на самом деле решений два, просто они оказались одинаковыми. Так, $x^2 - 6x + 9 = 0$ можно превратить в $(x - 3)(x - 3) = 0$, и каждое $(x - 3)$ дает решение. Следовательно, два решения этого уравнения представляют собой +3 и + 3.

Допуская изредка встречающиеся дублирующие друг друга решения, готовы ли мы сказать, что возможно доказать, что у всех уравнений второй степени есть ровно два решения, если в систему чисел включить отрицательные числа?

Увы, нет! Как, например, насчет уравнения $x^2 + 1 = 0$? Начать с того, что x^2 должно равняться -1: это превращает уравнение в $-1 + 1 = 0$, что верно.

Но если x^2 равно -1, тогда x должно быть пресловутым корнем квадратным из минус единицы ($\sqrt{-1}$), который вызвал ту стычку между мною и профессором социологии. Корень квадратный из минус единицы — число, которое при умножении на само себя даст -1. Но в последовательностях положительных и отрицательных чисел такого числа нет, и именно поэтому профессор социологии отнесся к нему столь презрительно. Во-первых, $+1$, умноженное на $+1$, равно $+1$, и, во-вторых, -1, умноженное на -1, равно $+1$.

Чтобы допустить существование решения для уравнения $x^2 + 1 = 0$, не говоря уже о двух решениях, необходимо преодолеть это препятствие. Если не подходит ни одно положительное число и ни одно отрицательное число, то совершенно необходимо определить число совершенно нового типа — мнимое число, если хотите, — квадрат которого будет равен -1.

Можно было бы придать этому новому числу особый знак. Плюс означает положительность, минус — отрицательность, так что мы могли бы использовать для этого нового числа звездочку и сказать, что *1 (звезда один) умножить на *1 (звезду один) равняется -1.

Однако этого делать не стали. Вместо этого швейцарский математик Леонард Эйлер в 1777 году ввел символ i (от *«imaginary»* — воображаемый, мнимый), и этот символ стал общепринятым. Так что мы можем записать $i = \sqrt{-1}$, или $i^2 = -1$.

Определив таким образом i, мы можем выразить квадратный корень любого отрицательного числа. Например, $\sqrt{-4}$ можно записать как $\sqrt{4}$, умноженный на $\sqrt{-1}$, то есть $2i$. И вообще, любой квадратный корень из отрицательного числа, $\sqrt{-n}$, может быть записан как квадратный корень соответствующего положительного числа, умноженный на корень квадратный из минус единицы, то есть $\sqrt{-n} = \sqrt{n}\,i$.

Таким образом мы можем представить себе целую последовательность мнимых чисел, полностью аналогичную последовательности обычных или «вещественных» чисел. Вместо 1, 2, 3, 4... мы будем иметь i, $2i$, $3i$, $4i$... Сюда будут включены и дроби, потому что $^2/_3$ будет соответствовать $^{2i}/_3$, $^{15}/_{17}$ будет соответствовать $^{15i}/_{17}$ и так далее. Это включит в себя и иррациональные числа, потому что $\sqrt{2}$ будет соответствовать $\sqrt{2}\,i$, и даже у числа типа π будет соответствие в виде πi.

Это все были сравнения положительных чисел с мнимыми. А как насчет отрицательных чисел? Что ж, почему бы не существовать также и отрицательным мнимым числам? Для -1, -2, -3, -4... и это будут $-i$, $-2i$, $-3i$, $-4i$...

Итак, теперь мы имеем четыре класса чисел: 1) положительные действительные числа, 2) отрицательные действительные числа, 3) положительные мнимые числа, 4) отрицательные мнимые числа. (Когда отрицательное мнимое число умножается на отрицательное мнимое число, произведение является отрицательным.)

Используя эту расширенную систему чисел, мы можем найти необходимые два решения уравнения $x^2 + 1 = 0$. Эти решения $+i$ и $-i$. Во-первых, $+i$, умноженное на $+i$, равно -1, и, во-вторых, $-i$, умноженное на $-i$, равно -1, так что в обоих случаях уравнение превращается в $-1 + 1 = 0$, что является верным.

На самом деле вы можете воспользоваться этим же расширением системы чисел, чтобы найти все четыре решения для такого уравнения, как $x^4 - 1 = 0$. Решениями будут $+1$, -1, $+i$ и $-i$. Чтобы показать это, мы должны помнить, что любое число, возведенное в четвертую степень, равно квадрату этого числа, умноженному на самого себя. То есть n^4 равно n^2, умноженному на n^2.

Теперь давайте подставим каждое из предложенных решений в уравнение, так что x^4 последовательно станет $(+1)^4$, $(-1)^4$, $(+i)^4$ и $(-i)^4$.

Во-первых, $(+i)^4$ равно $(+1)^2$, умноженному на $(+1)^2$, а поскольку $(+1)^2$ равно $+1$, это превращается в $+1$, умноженное на $+1$, что равно $+1$.

Во-вторых, $(-1)^4$ равно $(-1)^2$, умноженному на $(-1)^2$, а так как $(-1)^2$ также равно $+1$, выражение опять дает $+1$.

В-третьих, $(+i)^4$ равно $(+i)^2$, умноженному на $(+i)^2$, а мы определили $(+i)^2$ как -1, так что получается: -1 умножить на -1, то есть $+1$.

В-четвертых, $(-i)^4$ равно $(-i)^2$, умноженному на $(-i)^2$, что также даст: -1 умножить на -1, или $+1$.

Все четыре предложенных решения при подстановке в уравнение $x^4 - 1 = 0$ дадут выражение $+1 - 1 = 0$, что справедливо.

Может показаться, что все эти разговоры о мнимых числах хороши только для математика. Покуда некая получившая определение величина может стать предметом манипуляций, которые не противоречат остальной математической системе, математик доволен. Ему нет дела до того, какой у этого «смысл».

Однако обычных людей это интересует — и вот откуда проистекает обвинение в мистицизме, выдвинутое моим профессором социологии против математиков.

И все же не представляет никакого труда придать так называемым «мнимым» числам совершенно реальный и конкретный смысл. Просто представьте себе горизонтальную линию, которую пересекает вертикальная линия, и назовите точку пересечения нолем. Теперь у вас есть четыре отрезка, выходящие под прямым углом из ноля. Вы можете приравнять эти отрезки к четырем видам чисел.

Если отрезок, уходящий направо, разметить через равные интервалы, то метки можно пронумеровать +1, +2, +3, +4... и так далее, сколько пожелаем, если только сделать отрезок достаточно длинным. Между метками окажутся все дроби и иррациональные числа. В действительности можно показать, что каждой точке на этом отрезке соответствует одно и только одно положительное действительное число, а для каждого положительного действительного числа существует одна и только одна точка на отрезке.

Отрезок, отходящий налево, можно точно так же разметить отрицательными действительными числами, так что горизонтальная линия может считаться «осью действительных чисел», включая как положительные, так и отрицательные.

Точно так же отрезок, отходящий вверх, может быть размечен положительными мнимыми числами, а отходящий вниз — отрицательными мнимыми числами. Тогда вертикальная линия будет осью мнимых чисел.

Предположим, что мы разметим различные числа не с помощью обычных знаков и символов, а с помощью направлений, на которые указывают отрезки. Правый отрезок положительных действительных чисел может быть назван Востоком, потому что именно таким будет его направление на традиционной карте. Левый отрезок отрицательных действительных чисел станет Западом, уходящий вверх отрезок положительных мнимых чисел будет Севером, а направленный вниз отрезок отрицательных мнимых чисел станет Югом.

Теперь, если мы согласимся, что +1, умноженное на +1, равно +1, и сосредоточимся на знаках компаса, как я их определил, то мы скажем, что Восток (*E*), умноженный на Восток, равняется Востоку. Опять же, поскольку −1, умноженное на −1, равно +1, то Запад (*W*), умноженный на Запад, равняется Востоку. Затем, так как $+i$, умноженное на $+i$, равняется −1, и то же относится к $-i$, умноженному на $-i$, то Север (*N*), умноженный на Север, равняется Западу, как и Юг (*S*), умноженный на Юг.

Мы можем также составить другие комбинации, такие как −1, умноженное на $+i$, что равно $-i$ (так как плюс, умноженный на минус, дает отрицательное произведение, даже когда в умножение вовлечены мнимые числа), так что Запад, умноженный на Север, равняется Югу. Если мы запишем все возможные комбинации в виде направлений компаса, сократив их до первых латинских букв, то сможем составить следующую систему:

E × E = E	E × S = S	E × W = W	E × N = N
S × E = S	S × S = W	S × W = N	S × N = E
W × E = W	W × S = N	W × W = E	W × N = S
N × E = N	N × S = E	N × W = S	N × N = W

Здесь получается очень последовательная картина. Любой отрезок на осях, умноженный на Восток, остается неизменным, так что Восток как сомножитель обозначает поворот на 0°. Но любой отрезок, умноженный на Запад, поворачивается на 180°. Север и Юг представляют повороты под прямым углом. Умножение на Юг приводит к повороту на 90° по часовой стрелке (направо), тогда как умножение на Север дает поворот на 90° против часовой стрелки (налево).

Теперь получается так, что неизменное направление — это самое простое устройство, так что Восток (положительные действительные числа) проще всего в обращении и утешает душу больше, чем все остальные. Запад (отрицательные действительные числа), который дает поворот «кругом», но хотя бы оставляет человека на той же линии, не так утешителен, но и не слишком плох. Север и Юг (мнимые числа), которые отправляют вас в совершенно другом направлении, гораздо менее удобны.

Но если рассматривать числа как стороны света, вы увидите, что ни одна из последовательностей чисел не является более «мнимой» или, если уж на то пошло, более «действительной», чем любая другая.

А теперь подумайте, насколько полезным может оказаться существование двух осей чисел. Покуда мы имеем дело только с действительными числами, мы можем двигаться только по оси действительных чисел, вперед и назад, в одном измерении. То же было бы верным, если бы мы использовали только ось мнимых чисел.

Используя обе, мы можем определить некую точку как находящуюся на сколько-то далеко справа или слева по оси действительных чисел и на сколько-то далеко внизу или вверху по оси мнимых чисел. Это заставит точку оказаться где-то в одном из квадрантов, образованных двумя осями. Именно так точки определяются на поверхности Земли с помощью долготы и широты.

Мы можем говорить о неком числе $+5 +5i$, представляющем точку, которая будет достигнута, когда вы отмерите пять единиц на Восток, а затем 5 единиц на Север. Или вы можете иметь $-7 +6i$, или $+0{,}5432 -9{,}115i$, или $+\sqrt{2} + \sqrt{3}\,i$.

Такие числа, объединяющие действительные и мнимые единицы, называются «комплексными числами».

С помощью двух осей любая точка на плоскости (а не только на линии) может быть соотнесена с одним и только одним комплексным числом. И каждое возможное комплексное число может быть соотнесено с одной и только одной точкой на плоскости.

На самом деле действительные числа — это только особый случай комплексных чисел, как, впрочем, и мнимые числа. Если вы представите комплексные числа как все числа, имеющие вид $+a+bi$, тогда действительные числа — это такие комплексные числа, в которых b равно нолю. А мнимые числа — это комплексные числа, в которых a равно нолю.

Использование плоскости комплексных чисел вместо линии одних только действительных чисел принесло математике неоценимую пользу.

Например, количество решений полиномиальных уравнений равно его степени только в том случае, если в качестве решений рассматриваются комплексные числа, а не только действительные и мнимые. Например, двумя решениями уравнения $x^2 - 1 = 0$ являются $+1$ и -1, что можно записать как $+1 + 0i$ и $-1 + 0i$. Два решения $x^2 + 1 = 0$ — это $+i$ и $-i$, или $0 + i$ и $0 - i$. А четырьмя решениями уравнения $x^4 - 1 = 0$ являются все четыре указанных здесь комплексных числа.

Во всех этих очень простых примерах комплексные числа содержат ноли и сводятся либо к действительным числам, либо к мнимым числам. Однако это не всегда так. В уравнении $x^3 - 1 = 0$ одним из решений является, конечно $+1 + 0i$ (что можно записать просто как $+1$), но два другие решения — это: $^1/_2 + {}^1/_2 \sqrt{3}\, i$ и $-^1/_2 - {}^1/_2 \sqrt{3}\, i$.

Любезный читатель, которому свойственно честолюбие, может теперь вычислить куб любого из этих выражений (если не забыл, как алгебраически умножаются многочлены) и самостоятельно убедиться, что в результате получится $+1$.

Комплексные числа имеют и практическое применение.

Многие привычные измерения включают «скалярные величины», которые различаются только по численному значению. Один объем больше или меньше другого, одна масса больше или меньше другой, одна плотность больше или меньше другой. Если уж на то пошло, то один долг больше или меньше другого. Для всех этих измерений достаточно действительных чисел, положительных или отрицательных.

Однако существуют также «векторные величины», которые обладают как численным значением, так и направлением. Это касается сил, ускорений и так далее.

Для таких векторных величин математические действия возможны только с использованием комплексных чисел, так как комплексные числа включают в себя как величину, так и направление (именно поэтому я и провел аналогию между четырьмя видами чисел и направлениями компаса).

Итак, когда мой профессор социологии требовал «корень квадратный из минус одного куска мела», он говорил о скалярном явлении, для которого достаточно действительных чисел.

Напротив, если бы он спросил меня, как добраться из его класса до определенного места на территории университета, он, наверное, разгневался бы, если бы я сказал: «Пройдите двести метров». Он очень язвительно осведомился бы: «В какую сторону?»

На этот раз, как вы понимаете, он имел бы дело с векторной величиной, для которой действительных чисел недостаточно. Я мог бы удовлетворить его, сказав: «Пройдите двести метров на северо-восток», что эквивалентно словам: «Пройдите $100\sqrt{2}$ плюс $100\sqrt{2}\,i$ метров».

Право, нелепо считать корень квадратный из минус единицы «мнимым» только потому, что его нельзя использовать для счета кусков мела, — так же глупо, как считать «мнимым» число 200, потому что оно само по себе не может выразить расположение одной точки по отношению к другой.

Глава 7
ЧТО-ТО ПРИСТАВИМ

Я иду по жизни, получая поддержку и опору от множества мифов — как делают это все люди. Одно из моих самых дорогих убеждений — это то, что не существует никаких аргументов против метрической системы и что иные традиционные единицы измерения составляют полную чепуху, за которую можно цепляться исключительно из упрямства.

Теперь представьте себе, насколько отрезвляюще на меня подействовало полученное мною недавно письмо от некого британского джентльмена, который гневно разоблачал метрическую систему как искусственную, бесплодную и не приспособленную к потребностям людей. Например, он говорил в том роде, что если человеку хочется выпить пива, то пинта — это то, что нужно. Литр пива — это слишком много, а пол-литра — слишком мало, а вот пинта — это как раз то, что нужно[1].

Насколько я могу судить, этот джентльмен был совершенно серьезен в своем провинциализме, считая то, к чему он привык, законом природы. Это напоминает мне об одной набожной женщине, которая решительно отвергала изучение иностранных языков и, подняв Библию, заявила: «Если английский язык устраивал пророка Исаию и апостола Павла, то он и меня устраивает».

---

[1] Британская пинта составляет 0,57 л.

Но прежде всего это напомнило мне о том, что мне хотелось написать о метрической системе.

Чтобы это сделать, я хочу прежде всего объяснить, что достоинства этой системы заключаются не в конкретном размере основных единиц. Ее ценность в том, что это — логическая *система*. Ее единицы разумно связаны друг с другом.

Все остальные наборы единиц измерения, с которыми я знаком, используют отдельные названия для каждой единицы, относящейся к данному типу величин. Измеряя расстояния, мы используем мили, футы, дюймы, роды, фарлонги и так далее. Для объемов мы имеем пеки, бушели, пинты, драхмы. Для веса у нас есть унции, фунты, тонны, граны. Это похоже на эскимосов, у которых вроде бы существует неизвестно сколько десятков слов для снега — различные слова, когда он падает, когда он лег, когда он рыхлый или уже слежавшийся, мокрый или сухой, свежевыпавший или давний и так далее.

Мы сами видим преимущество использования сочетаний прилагательного и существительного. Тогда у нас есть существительное как общий термин для любых видов снега и прилагательное, характеризующее специфическую разновидность: мокрый снег, сухой снег, жесткий снег, мягкий снег и так далее. В чем это преимущество? Во-первых, мы видим обобщение, которого прежде не видели. Во-вторых, мы можем использовать те же прилагательные для других существительных, так что у нас появится жесткий бетон, жесткое мясо, жесткий ответ, и, следовательно, мы увидим новое обобщенное понятие — жесткость.

Насколько мне известно, метрическая система — это единственная система измерений, которая поднялась до этой ступени.

Начнем с произвольно выбранной единицы длины — метра (от латинского *metrum* или греческого *metron*, оба слова означают «измерять»). Оставим его в качестве общего термина длины, так что все единицы длины будут метрами. Дифференцируем единицы длины с помощью прилагательных. Это, по моему мнению, будет правильным способом.

Конечно, прилагательные в метрической системе (наверное, чтобы они случайно не потерялись) крепко присоединены к общему слову и превратились в префиксы — приставки. (Да, любезный читатель, проделывая это с метрической системой, определения к единицам приставляли.)

Префиксы были получены из греческого и латыни в соответствии со следующей табличкой:

Русский	Греческий	Латынь
тысяча	хилиои	милле
сто	гекатон	сентум
десять	дека	децем

Теперь, если мы оставим греческие слова для крупных единиц, а латинские — для мелких, то получим:

1 километр[1]	равен	10^3	метрам
1 гектометр	равен	10^2	метрам
1 декаметр	равен	10	метрам
1 метр	равен	1	метру
1 дециметр	равен	10^{-1}	метрам
1 сантиметр	равен	10^{-2}	метрам
1 миллиметр	равен	10^{-3}	метрам

Не важно, какой длины метр: все остальные единицы длины определены. Если вы — это дело случая — знаете длину метра или в ярдах, или в

[1] В греческом слове был звук «х». У французов, которые изобрели эту систему, такого звука нет, и в качестве ближайшего похожего звука они взяли «к». Вот почему «хилиои» превратилось в «кило».

длине световой волны, или располагая двумя метками на палке, вы автоматически знаете длины всех остальных единиц. Более того, благодаря тому что все остальные единицы различаются как степени десяти, становится легко (поскольку мы пользуемся десятичной системой счисления) превращать одни единицы в другие. Например, я могу сразу же сказать вам, что в километре содержится ровно один миллион миллиметров. А попробуйте-ка быстро ответить мне, сколько дюймов в миле!

И опять же, если вы запомнили все префиксы, они годятся для любого вида измерений. Если вам скажут, что *пуаз* — это мера вязкости, то совершенно не важно, насколько велика эта единица, или как она связана со всяческими другими единицами, или даже что такое, в сущности, вязкость. Ничего обо всем этом не зная, вы все равно знаете, что сантипуаз равен одной сотой пуаза, что гектар — это сто аров, что децибел — это одна десятая бела и даже что «ки́лобакс» — это тысяча долларов[1].

На мой взгляд, французские ученые, создавшие метрическую систему в 1795 году, в одном отношении оказались близорукими. В своей системе префиксов они не пошли за отметку в тысячу.

Возможно, им казалось, что если установить основную единицу для некой измеряемой величины, то единица в тысячу раз большая окажется вполне достаточной для применения, а единица в тысячу раз меньшая — самой малой из необходимых. Или на них подействовало то, что у древних не нашлось готовых слов для числа большего тысячи. (Слова типа «миллион» и «миллиард» были изобретены в конце Средневековья — начале Нового времени.)

---

[1] А если вам захочется назвать тысячелистник килолистником и говорить, что он равен десяти десятилистникам, то — извольте, но я этого слушать не стану.

Правда, в конце Античности греки использовали слово «myrias» для обозначения десяти тысяч, так что можно было бы назвать десять тысяч метров «мириаметром», но это обозначение практически не используется. Вместо этого люди говорят «десять километров».

Итак, общим результатом является то, что первоначально созданная метрическая система давала префиксы, которые охватывали всего шесть порядков величин. Самая большая единица, «кило-», в один миллион (10^6) раз больше, чем самая маленькая единица, «милли-», так как порядки величин определяет именно степенной показатель, 6.

Однако ученые не могли остановиться на этом. Шесть порядков величин могло хватить для повседневного обихода, но, так как развитие аппаратуры продвигало науку к самому крупному и самому мелкому практически во всех областях измерений, систему просто необходимо было расширить.

Для единиц выше «кило-» и ниже «милли-» стали возникать неофициальные префиксы, и, конечно, это несло опасность несогласованности (что плохо для научного языка). Например, американская единица «БэВ» (биллион электрон-вольт) в Британии называется «ГэВ» (гигаэлектрон-вольт).

И поэтому в 1958 году Международный комитет мер и весов в Париже принял расширенную систему префиксов с интервалом в три порядка. Вот они, с добавлением пары более старых, оставленных для сохранения связи.

Величина	Префикс	Греческий корень
триллион (10^{12})	тера-	teras (чудовище)
биллион (миллиард, 10^9)	гига-	gigas (гигант)
миллион (10^6)	мега-	megas (огромный)
тысяча (10^3)	кило-	
единица (10^0)		

Величина	Префикс	Греческий корень
тысячные (10^{-3})	милли-	
миллионные (10^{-6})	микро-	mikros (маленький)
миллиардные (10^{-9})	нано-	nanos (карлик)
триллионные (10^{-12})	пико-	

Префикс пико- не имеет греческого корня.

Итак, у нас есть «пикометр» — одна триллионная метра, «нанограмм» — одна миллиардная грамма, «гигасекунда» — миллиард секунд, и «терадина» — триллион дин. Так как самая большая единица, тера-, в 10^{24} раз больше самой малой единицы, пико-, метрическая система теперь охватывает не 6, а целых 24 порядка величин.

В 1962 году добавили префиксы фемто- для квадриллионных (10^{-15}) и атто- для квинтиллионных (10^{-18}) долей (обе префикса не имеют античных корней). Это расширило метрическую систему до 30 порядков величин.

Не слишком ли это много? Не перестарались ли мы? Ну что ж, давайте посмотрим.

Метрическая единица длины — это метр. Я не стану вдаваться в историю и рассказывать, как именно была установлена его точная длина, но в переводе на традиционные английские единицы она составляет 1,093611 ярда или 39,37 дюйма.

Километр, естественно, в тысячу раз больше и равен 1093,6 ярда, что составляет 0,62137 мили. Можно приравнять один километр к $^5/_8$ мили. Иногда говорят, что миля равна «двадцати городским кварталам», то есть в Нью-Йорке это будет расстояние между Пятьдесят девятой и Семьдесят девятой улицами Манхэттена.

Чтобы получить мегаметр, мы увеличиваем единицу на три порядка — и она составит 621,37 мили. Это — удобная единица для измерения расстояния в масштабе планеты. Расстояние от Бостона (штат Массачусетс) до Сан-Франциско (штат Калифорния) по воздуху составляет около $4^1/_3$ мегаметра. Диаметр Земли равен $12^3/_4$ мегаметра, а длина окружности Земли — примерно 40 мегаметрам. И наконец, расстояние от Луны до Земли — 380 мегаметров.

При переходе к гигаметру мы получаем единицу длиной 621 370 миль, это удобное мерило для не слишком отдаленных объектов Солнечной системы. Венера в ее ближайшем к Земле положении отстоит от нее на 42 гигаметра, Марс может приблизиться к нам до 58 гигаметров. От Солнца до Земли 145 гигаметров. А Юпитер при наибольшем приближении отстоит от нас на 640, а при наибольшем удалении — на 930 гигаметров.

И наконец, дойдя до предела новейшего расширения метрической системы, мы получим тераметр, равный $62137 \cdot 10^4$ милям. Эта единица позволит нам легко охватить всю Солнечную систему. Например, самая дальняя точка орбиты Плутона немного не достигает 12 тераметров.

Однако Солнечная система — всего лишь песчинка в Галактике. Для измерения расстояний до звезд две наиболее употребительные единицы — это световой год и парсек, и обе они находятся вне метрической системы. Более того, даже новое расширение системы не может с ними сравняться. Световой год — это расстояние, которое свет проходит за один год. Оно составляет примерно 9450 тераметров. Парсек — это расстояние, находящаяся на котором звезда будет иметь для нас параллакс в одну секунду дуги (**параллакс-секунда**, понимаете?), и это расстояние равно 3,26 светового года или примерно $3 \cdot 10^4$ тераметрам.

Даже эти неметрические единицы немного маловаты. Если нарисовать вокруг Солнечной системы сферу с радиусом в один парсек, то внутри этой сферы не окажется ни одной из известных звезд. Ближайшие звезды — система альфа Центавра — находятся примерно в 1,3 парсека от нас. Из примерно ста миллиардов звезд нашей Галактики только тридцать три находятся от Солнца ближе четырех парсеков, и из них только семь видны невооруженным глазом.

Есть множество звезд, расположенных дальше — гораздо дальше. Галактика как целое в самом длинном своем участке имеет диаметр 30 000 парсеков. Конечно, мы могли бы воспользоваться метрическими префиксами и сказать, что диаметр Галактики равен 30 килопарсекам.

Но и наша Галактика — всего лишь песчинка во Вселенной. Самая близкая внегалактическая структура — это Магеллановы облака, которые удалены на 50 килопарсеков, тогда как ближайшая полномасштабная Галактика — это Андромеда, находящаяся в 700 килопарсеках от нашей. И существуют сотни миллиардов галактик, расположенных на расстоянии многих мегапарсеков.

Самые далекие галактики, которые удалось обнаружить, находятся на расстояниях, оцененных примерно в два миллиарда парсеков, то есть вся наблюдаемая нами на сегодня Вселенная имеет диаметр приблизительно 4 гигапарсека.

А теперь давайте рассмотрим единицы длины в другом направлении — в сторону самых малых.

Микрометр — удобная единица длины для объектов, видимых в обычный оптический микроскоп. Например, размеры клеток тела в среднем имеют диаметр 4 микрометра (микрометр часто называют «микроном»).

Перейдем к нанометру (часто называемому «миллимикроном») — и он может удобно использоваться для измерения длин волн видимого света.

Самая длинная волна на красном конце спектра — 760 нанометров, а самая короткая фиолетовая — 380 нанометров. Ультрафиолетовые лучи имеют длины волн от 380 нанометров до 1 нанометра.

Сократив метрическую систему до самых крошечных размеров, мы получим пикометр, или одну триллионную метра. Отдельные атомы имеют диаметр от 100 до 600 пикометров. А длина волн мягких гамма-лучей равна примерно 1 пикометру.

Однако диаметр субатомных частиц и длина волн жесткого гамма-излучения опускаются значительно ниже уровня пикометра, достигая приблизительно 1 фемтометра.

Полный диапазон расстояний, встречающихся в современной науке, начиная от диаметра открытой Вселенной и кончая диаметрами субатомных частиц, охватывает диапазон в 41 порядок величин. Другими словами, потребуется 10^{41} протонов, уложенных в ряд, чтобы растянуться на всю открытую Вселенную.

А как относительно массы?

Основная единица массы в метрической системе — это грамм, слово, произведенное от греческого *gramma*, означающего «буква»[1]. Это небольшая мера веса, равная $^1/_{28,35}$ унции. Килограмм, или тысяча граммов, равен 2,205 фунта, а мегаграмм, следовательно, равен 1000 килограммам или 2205 фунтам.

Мегаграмм часто называют метрической тонной или просто тонной.

Гигаграмм — это 1000 метрических тонн, а тераграмм — 10^6 тонн, а это достаточно много по коммерческим стандартам. Однако эта цифра все еще

---

[1] Греки обозначали небольшие гирьки буквами алфавита, указывающими на их вес, поскольку буквы у них служили также и цифрами.

бесполезна для астрономии. Даже относительно небольшое небесное тело вроде Луны имеет массу, равную 73 триллионам тераграммов. Земля в 81 раз массивнее — почти 6 квадриллионов тераграммов. А Солнце — всего лишь среднего размера звезда — имеет массу в $33 \cdot 10^4$ раз большую, чем Земля.

Конечно, мы могли бы использовать Солнце в качестве меры веса. Например, общая масса нашей Галактики в 15^{10} раз больше массы Солнца, и таким образом мы могли бы сказать, что Галактика равна 150 гигасолнцам. Поскольку по оценкам в известной Вселенной имеется, как минимум, 10^{11} галактик, тогда, приняв массу нашей за среднюю, мы можем сказать, что минимальная общая масса наблюдаемой Вселенной равна $15 \cdot 10^9$ терасолнц или 100 гигагалактикам.

А теперь давайте двигаться в обратном направлении.

Миллиграмм, или тысячная часть грамма, представляет собой количество вещества, легко различимое невооруженным глазом. Капля воды будет весить примерно 50 миллиграммов.

Опустимся до микрограмма, или миллионной грамма, и мы перейдем на микроскопический уровень. Амеба будет весить около пяти микрограммов.

Клетки нашего тела значительно меньше, и для них мы опускаемся к нанограмму, миллионной доле грамма. Обычная клетка печени имеет вес около двух нанограммов.

Меньше клеток — вирусы, но даже если мы перейдем к пикограмму, триллионной доле грамма, мы не достигнем этой области. Например, вирус *мозаичной болезни* табака весит всего 66 аттограммов.

И это еще не приближается к нижнему краю диапазона. Существуют молекулы, которые гораздо меньше самого маленького вируса, а потом —

атомы, из которых состоят молекулы, и частицы, составляющие атомы. Посмотрите на эту таблицу:

	Вес в аттограммах
Молекула гемоглобина	0,1
Атом урана	$4 \cdot 10^{-4}$
Протон	$166 \cdot 10^{-8}$
Электрон	$9 \cdot 10^{-10}$

В целом диапазон масс от электрона до минимальной общей массы известной Вселенной охватывает 83 порядка величин. Другими словами, чтобы получить гору с массой Вселенной, понадобится 10^{83} электронов.

В каком-то отношении время (третий вид измерений, который я собираюсь рассмотреть) имеет самые знакомые единицы, потому что это — единственная область, где метрическая система не ввела никаких изменений. Мы по-прежнему используем секунду, минуту, час, день, год и так далее.

Но это привело к тому, что только при измерении времени ученые используют систему единиц, в которой отсутствует иерархия префиксов. В результате этого вы не можете моментально назвать количество секунд в неделе, или количество минут в году, или количество дней в пятнадцати годах. И ученые тоже не могут.

Основная единица времени — это секунда, и мы могли бы, если бы захотели, прибавить к ней метрические префиксы, получив следующее:

1 секунда	равна	1	секунде
1 килосекунда	равна	$16^2/_3$	минуты
1 мегасекунда	равна	$11^2/_3$	дня
1 гигасекунда	равна	32	годам
1 терасекунда	равна	$32 \cdot 10^3$	годам

Ужасно отрезвляющая мысль: я прожил чуть больше $1\,^{1}/_{4}$ гигасекунды, цивилизация существует самое большее 250 гигасекунд, а человекоподобные существа — не больше 18 терасекунд. Однако это не касается и краешка геологического времени, не говоря уже о времени астрономическом.

Возраст Солнечной системы примерно $15 \cdot 10^4$ терасекунд, и она вполне может просуществовать еще $5 \cdot 10^4$ терасекунд, не претерпев крупных изменений. Чем меньше звезда, тем более рачительно она расходует свой запас топлива, так что красный карлик может просуществовать без особых изменений целых $3 \cdot 10^6$ терасекунды. А что до общего возраста Вселенной, прошлого и будущего, то тут я вообще ничего говорить не стану. Нет способов его измерения, а сторонники теории *непрерывного создания* считают срок ее жизни бесконечным.

Однако я могу сделать одно предложение относительно астрономического времени (думаю, тут я не буду особенно оригинальным). Солнце, согласно вполне убедительным оценкам, делает один оборот вокруг центра Галактики за $2 \cdot 10^9$ года. Этот срок мы могли бы назвать галактическим годом — или, еще лучше, «галгодом». (Уродливое слово, но пусть!) Один галгод равен 6250 терасекундам. С другой стороны, «пикогалгод» равен 1 часу и 45 минутам.

Тогда все окаменелости исчисляются максимум 3 галгодами, общее время жизни Солнечной системы к настоящему моменту составило всего 25 галгодов, а срок, отпущенный красному карлику, — примерно 500 галгодов.

Но теперь мне следует попытаться пройти в другом направлении и посмотреть, что происходит с малыми единицами времени. Здесь у нас хотя бы нет привычных единиц, которые бы нас путали. Поэтому ученые смогли свободно пользоваться миллисекундой и микросекундой, а теперь к ним стало возможно присоединить и наносекунду, пикосекунду, фемтосекунду и аттосекунду.

Малые единицы времени не особенно нужны в макромире. Когда Гагарин или Гленн облетали Землю со скоростью 5 километров в секунду, они пролетали меньше 9 метров за миллисекунду и меньше сантиметра — за микросекунду. Сама Земля, двигаясь со скоростью 298 километров в секунду, проходит за микросекунду всего около трех сантиметров.

Другими словами, на уровне микросекунды обычное движение застывает. Однако движение света намного быстрее любого обычного движения, а скорость субатомных частиц почти равна скорости света. Поэтому давайте рассмотрим меньшие единицы времени относительно света.

	Расстояние, пройденное светом	
1 секунда	297800	километров
1 миллисекунда	297,8	километра
1 микросекунда	328	метров
1 наносекунда	0,3	метра
1 пикосекунда	0,04	сантиметра

Вы можете решить, что на уровне пикосекунд субатомное движение и даже распространение света «застывают». В конце концов, я же отмахнулся от движения Земли, когда она перемещалась всего на сантиметр. Казалось бы, это тем более верно, если речь идет о тысячных долях сантиметра.

Однако тут есть разница. Когда Земля смещается на сантиметр, она проходит $^1/_{1\,000\,000\,000}$ своего диаметра. Субатомная частица, двигающаяся со скоростью, близкой к скорости света, при перемещении на 0,004 сантиметра проходит расстояние, равное $12 \cdot 10^{10}$ ее собственного диаметра. Чтобы пройти сто двадцать миллиардов своих диаметров, Земля должна была бы двигаться в течение $15 \cdot 10^6$ лет. Чтобы Гагарин или Гленн пролетели расстояние, равное ста двадцати миллиардам их диаметров, им пришлось бы оставаться на орбите целый год.

Значит, субатомная частица, пролетающая 0,04 сантиметра, отнюдь не «застыла на месте»: она успевает совершить невероятное количество столкновений с другими субатомными частицами или претерпеть внутренние изменения. Например, нейтральные пионы распадаются всего за 0,1 фемтосекунду после своего образования.

Более того, омега-мезон распадается примерно за 10^{-4} аттосекунду — или, приблизительно, за время, которое требуется свету, чтобы пересечь диаметр атомного ядра.

Значит, весь диапазон времени, начиная со времени жизни омега-мезона и кончая красным карликом, охватывает диапазон в 40 порядков величин. Другими словами, за время жизни красного карлика около 10^{40} омега-мезонов успеют образоваться и разрушиться один за другим.

Подведем итог: измеримое расстояние охватывает 41 порядок величин, измеримая масса — 83 порядка величин, а измеримое время — 40 порядков величин. Очевидно, мы не переборщили, расширив метрическую систему с 6 до 30 порядков величин, определяемых одним словом.

Часть вторая

ФИЗИКА

Глава 8
ТВЕРДЫЙ ВАКУУМ

Наверное, одна из самых больших проблем, стоящих перед человеком, который собрался писать масштабное произведение в жанре научной фантастики — и который при этом является человеком ответственным, — это согласование существования межгалактического общества с тем фактом, что передвижение со скоростью, превышающей скорость света в вакууме (299792 километра в секунду), считается невозможным.

Однако существует несколько выходов, и я назову три из них. Самым честный состоит в том, чтобы признать это ограничение и вместо этого предположить, что путешественники испытывают растяжение времени. То есть, с их точки зрения, путь занимает две недели, тогда как, с точки зрения оставшихся дома, он может занять двадцать лет. Это, конечно, создает трудности для создания сюжета и поэтому не пользуется популярностью у писателей.

Самым смелым и любопытным решением был «безынерционный движитель» Э.Э. Смита, при котором масса освобождалась от инерции. (Впрочем, насколько нам известно, это невозможно.) Материя без инерции может получить любое ускорение за счет приложения любой силы, даже самой маленькой. Смит решил, что тогда материя станет способна приобрести любую скорость, даже намного превышающую скорость света.

На самом деле такое кажется маловероятным. Фотоны и нейтрино имеют нулевую массу и, следовательно, нулевую инерцию, однако движутся не быстрее скорости света. Следовательно, безынерционная тяга — это не выход.

Тут есть и еще один недостаток. Сопротивление даже очень разжиженного газа и пыли в межзвездном пространстве становится значительным по мере повышения скорости. В конце концов будет достигнут некий предел скорости, при превышении которого можно будет ожидать, что корабль расплавится, а его обитатели — изжарятся.

Самое прозаическое решение — это то, которым пользуюсь я сам: оно состоит в том, чтобы говорить о «гиперпространстве». Это требует дополнительных измерений, и при этом обычно используются сравнения с тем, как прокалывают лист бумаги, чтобы попасть на его оборотную сторону, вместо того чтобы путешествовать к его дальнему краю.

В отличие от столь хорошо проработанной проблемы межзвездных путешествий очень мало внимания уделяется проблеме межзвездной связи. Согласно релятивистской точке зрения на Вселенную не только материя не может перемещаться со скоростями, большими скорости света в вакууме: это относится к любому виду значимых сигналов.

Тогда предположите, что вам не хочется отправляться на Сириус, чтобы увидеться с подружкой: вы просто хотите позвонить и поговорить с ней. Как сделать это, не дожидаясь шестнадцать лет, пока сигнал проделает путь в оба конца?

Насколько я знаю, когда рассматривается этот аспект проблемы, его отметают с помощью слова «субэфирный» (по крайней мере, так это делаю я). И это, наконец, подводит меня к существу дела. Я хочу объяснить, что писатель-фантаст подразумевает под словом «субэфирный», но подойти к этому по-своему — то есть окольным путем.

Слово «эфир» имеет долгую и блестящую историю начиная с того момента, когда его примерно в 350 году до н. э. изобрел Аристотель.

Согласно Аристотелю, способ движения объекта диктовался его природой. Земные материалы падали, а огненные поднимались, потому что земным материалам была присуща тенденция падать, а огненным частицам была присуща тенденция подниматься. Следовательно, поскольку небесные объекты двигались в манере, характерной именно для них (они двигались по кругу, оборот за оборотом, вместо того чтобы двигаться вертикально, вверх или вниз), они должны были состоять из субстанции, которая полностью отличалась от любой, которую мы встречаем внизу.

Невозможно было достичь небес и изучить эту таинственную субстанцию, но ей можно было хотя бы дать название. (Греки хорошо умели давать названия, вот откуда пошла поговорка: «В греческом было такое слово».) Единственное свойство небесных объектов, которое можно было наблюдать, если не считать их странного движения, было их яркое свечение. Солнце, Луна, звезды, кометы и метеоры испускали свет. Греческое слово «сиять», переданное нашими буквами, звучало как «эйфейн». И Аристотель назвал небесную материю *aither*, имея в виду «то, что сияет». Во времена Аристотеля это слово произносилось как «ифер» с долгим «и».

Римляне взяли себе это греческое слово, потому что для римлян греческий был языком науки и типичные римские педанты старались использовать как можно больше греческих слов — точно так же, как наши современные педанты стараются максимально латинизироваться, а будущие педанты будут стремиться использовать как можно больше старинного английского. Римляне изменили написание этого слова на *aether*, потому что дифтонг *ae* был ближе всего к греческому произношению и давал звук [*ai*].

Британцы сохранили латинское написание *aether*, но латынь (как, впрочем, и греческий) претерпела изменения в произношении после Античности, так что ко времени Средневековья *ae* уже давало долгое [*i:*]. Но уж если произносить [*i:*], то почему не избавиться от лишнего «*a*» и не писать это слово как *ether*? Американцы именно так и делают. (Греческое слово «кровь» — это *haima*, и теперь вы можете догадаться, почему американцы пишут *hemoglobin*, а британцы — *haemoglobin*.)

Аристотелево значение слова «эфир» по-прежнему с нами, когда мы говорим о чем-то небесном, неуловимом, утонченном, лишенном всех материальных свойств и так далее, называя это нечто «эфирным».

К 1700 году греческая картина мира разбилась вдребезги. Солнце, а не Земля, стало центром планетарной системы, а Земля вращалась вокруг Солнца, как и другие планеты. Движения небесных тел, включая Землю, диктовались исключительно силой тяжести, а сила тяжести действовала и на обычные предметы. Законы движения были одинаковыми для всей материи и нисколько не зависели от природы движущегося объекта. Кажущиеся различия были результатом вмешательства дополнительных эффектов: плавучести, трения и так далее.

Однако при общем крушении Аристотелевой физики одна вещь сохранилась: эфир.

Видите ли, если мы отметем мнение, будто объекты движутся за счет какого-то внутреннего побуждения, тогда они должны будут двигаться в соответствии с каким-то побуждением, приложенным к ним извне. Например, такое внешнее воздействие, как сила тяжести, привязывает Землю к Солнцу. Но если задуматься, каким образом?

Если вы хотите приложить силу к чему-то — толкнуть или потянуть что-то, — вы должны войти с ним в контакт. Если вы не войдете с ним в прямой контакт, тогда он должен быть опосредованным: вы толкнете его палкой, которую держите в руке, или потянете крюком. Или вы можете бросить палку (или бумеранг), и сила, которую вы сообщите палке, будет физически перенесена к предмету, на который вы хотели воздействовать. Даже если вы разрушите карточный домик, взмахнув рукой на некотором удалении от него, все равно вы, так сказать, бросаете в сторону карт воздух, который и переносит силу к картам.

Короче, нечто физически должно соединить объект, прилагающий силу, с объектом, на который оказывается воздействие. В отсутствие этого у вас получится «воздействие на расстоянии», которое трудно понять и которое теоретики науки не спешат принять, если у них есть возможность найти какой-то другой выход из положения.

Но похоже, что гравитация связана с воздействием на расстоянии. Между Солнцем и Землей или между Землей и Луной находится огромное пространство пустоты — там нет даже воздуха. Сила гравитации дает о себе знать через вакуум, следовательно, она через него передается. Возникает вопрос: что осуществляет эту передачу? Что переносит силу от Солнца к Земле?

Ответом опять служило слово Аристотеля: эфир. Однако этот новый эфир не был чем-то, из чего состояли небесные тела. Ученые XVII века уже подозревали, что небесные тела состоят из обычной земной материи. Вместо этого эфир теперь рассматривался как нечто, из чего состоит то якобы пустое пространство, через которое движутся все эти материальные тела. Короче, эфир создавал пространство: он был, так сказать, самой тканью пространства.

Свойства эфира невозможно было выявить с помощью прямых наблюдений, потому что его невозможно было наблюдать непосредственно. Это не материя и не энергия, потому что, когда присутствовал только эфир, нашим чувствам и измерительным устройствам представлялось, что имеется только вакуум — пустота. В то же время эфир (чем бы он ни был) можно было обнаружить не только в пустом пространстве — он пронизывал и всю материю, потому что передаче гравитации материя, похоже, нисколько не препятствовала. Если, как во время солнечного затмения, Луна проходила между Солнцем и Землей, движение Земли не менялось ни на волос. Гравитационные силы явно проходили — не изменяясь и не уменьшаясь — сквозь три с половиной километра материи. Следовательно, эфир пронизывал Луну, и, как вполне разумно можно было заключить, он пронизывал и всю материю вообще.

Более того, эфир не мешал движению планет. Планеты двигались через эфир так, словно его не было. Значит, материя и эфир просто не взаимодействовали друг с другом. Эфир мог передавать силы, но сам их воздействию не подвергался.

Это означало, что эфир не движется. Ведь он мог бы двигаться только в том случае, если бы к нему была приложена какая-то сила, а как такая сила могла быть приложена, если материя с ним не взаимодействует? Или, иначе говоря, эфир неотличим от вакуума, а разве возможно представить себе способ воздействия на вакуум (не на сосуд, в котором может быть заключен вакуум, а на сам вакуум), которое привело бы его в движение?

Это был важный момент. Пока астрономы были уверены в том, что Земля является неподвижным центром Вселенной (даже если она вращалась, то *центр* Земли оставался неподвижным), можно было с уверенностью создавать законы движения. Движение было понятием, которое что-то означало. Однако если Земля вращалась вокруг Солнца, то, пока вы создавали законы движения относительно Земли, вас донимали бы сомнения, остались бы эти законы в силе, если на них посмотреть относительно, например, Марса.

Действительно, если бы можно было найти нечто, находящееся в покое, и сопоставлять с ним движение, тогда законы движения по-прежнему сохраняли бы смысл, потому что движение Земли по отношению к этому чему-то неподвижному можно было бы вычесть из движения объекта по отношению к этому же чему-то, что дало бы движение объекта относительно Земли. Законы движения по-прежнему работали бы, и вам не надо было бы беспокоиться насчет отношения к Марсу, альфе Центавра или чему угодно.

И вот тут-то и появлялся эфир. Эфир не мог двигаться: движение было чужеродно самому понятию эфира, так что можно было считать его находящимся в состоянии Абсолютного Покоя. Это означало, что существует и Абсолютное Движение, поскольку любое движение в принципе возможно было соотнести с эфиром. А время и пространство в системе этой абсолютности покоя и движения можно было бы назвать Абсолютным Пространством и Абсолютным Временем.

Спустя век после Ньютона эфир снова призвали на помощь. Ведь гравитация оказалась не единственным явлением, которое проникало сквозь пустое пространство: еще одним таким явлением был свет.

Однако свет поначалу не вызвал такого беспокойства, какое вызвала гравитация, потому что он вел себя по-другому. Во-первых, свет можно было заслонить. Когда Луна вставала между нами и Солнцем, свет прерывался, хотя гравитация оставалась. Тонкие слои материи могли полностью отрезать даже сильный свет, так что, похоже, свет не мог проводиться эфиром, который пронизывал всю материю.

Более того, направление, в котором двигался луч света, можно было изменить (преломить) за счет перехода из одной среды в другую, как, например, из воздуха в воду, хотя эфир пронизывал обе эти среды в равной мере. Направление, в котором действовала сила тяжести, изменить никаким из известных методов не удавалось.

Из этого Ньютон вывел, что свет состоит из крошечных частиц, движущихся с большими скоростями. Таким образом, свету не требовался эфир, и в то же время он не оказывал воздействия на расстоянии: влияние переносилось через вакуум физически, движущимися объектами. И корпускулярная теория могла быть легко развита дальше, чтобы объяснить прямолинейное движение света и его способность отражаться и преломляться.

Во времена Ньютона существовало противоположное мнение — что свет представляет собой волны, но оно не приобрело большой популярности. Известные к тому времени виды волн (например, морские или звуковые волны) не двигались по прямой, а легко огибали объекты. Свет вел себя совсем иначе, и, следовательно, свет не мог быть разновидностью волн.

Однако в 1801 году английский врач Томас Янг показал, что можно соединить два луча света таким образом, что получались чередующиеся полосы света и темноты (полосы интерференции). Это казалось труднообъяснимым, если свет состоял из частиц (потому что как могли две частицы соединиться так, чтобы частиц не стало?), но зато очень легко объяснялось, если свет считался волнами. Предположим, волна одного луча света поднимается, а волна второго — опускается. Два явления аннулируют друг друга, движение будет отсутствовать — и будет темнота.

Более того, можно было показать, что волна будет огибать препятствия, размеры которых будут сопоставимы с длиной самой волны. Более крупные преграды станут все более эффективными в плане отражения волны. Там, где речь будет идти о преградах во много раз более крупных, чем длина волны, создастся впечатление, что волна движется по прямой и может отбрасывать резкие тени.

Конечно, обычные звуковые волны имеют длины, измеряемые в дециметрах и метрах. Однако Янгу удалось установить длину волны по ширине полос интерференции: оказалось, что она равна примерно одной стотысячной сантиметра. И относительно преград обычного размера свет двигался по прямой и отбрасывал резкие тени, хотя и имел волновую природу.

Но эта новая точка зрения не была принята без возражений. Она поставила серьезные философские вопросы. Один из них напрашивается моментально: если свет состоит из волн, то что же волнуется? В случае волн на воде молекулы воды движутся вверх и вниз. В случае звуковых волн в воздухе происходит движение молекул воздуха. Но световые волны?..

Ответ был физикам навязан. Свет может двигаться через вакуум легче всего, а вакуум не содержит ничего, кроме эфира. Если свет — это вид волн, то, следовательно, он должен состоять из эфирных волн.

Но тогда как объяснить тот факт, что свет может отражаться, преломляться и поглощаться, тогда как гравитация, переносимая тем же эфиром, на это не способна? Могут ли существовать два эфира с различными свойствами: один для переноса гравитации, а второй — для переноса света? На этот вопрос ответить не удавалось, но в течение XIX века свет был гораздо более важен для развития теоретической физики, нежели гравитация, и поэтому постоянно обсуждали именно тот эфир, который переносил свет. Физики называли его «светоносным эфиром».

Но со светоносным эфиром вскоре возникли проблемы, которых не было с эфиром, переносившим гравитацию. Видите ли, существует два вида волн...

В воде, хотя само движение волн идет вперед — скажем, справа налево, отдельные молекулы воды перемещаются вверх и вниз. Движение колеблющихся частей идет под прямым углом к движению самой волны. Этот вид волны, напоминающей извивающуюся змею, называется поперечной волной.

В звуковых волнах отдельные молекулы двигаются туда и обратно в том же направлении, в каком распространяется звуковая волна. Такой вид волны (который представить себе немного труднее) называется продольной волной.

Ну а какой тогда вид имеет световая волна: продольный или поперечный? Сначала все голосовали за продольные волны, даже Янг. Причины этого я вскоре изложу.

К сожалению, тут мешал один досадный факт. Во времена Ньютона некий голландский физик, Эразм Бартолин, обнаружил, что луч света при входе в кристалл минерала, называемого исландским шпатом, расщеплялся на два луча. Это разделение происходило из-за того, что исходный луч отклонялся на два разных угла. Все, на что смотрят сквозь исландский шпат, кажется двойным, и это явление назвали «двойным преломлением».

Чтобы луч света при попадании в исландский шпат отклонялся под двумя разными углами, должны существовать две разновидности составляющих света, или, если она всего одна, у этой разновидности должна иметься некая асимметрия.

Ньютон попытался уточнить корпускулярную теорию света, чтобы она объясняла и это явление, и предпринял поистине героические усилия. Благодаря чистой интуиции он на два века раньше ухватил отблеск нашего современного взгляда на свет как представляющий собой одновременно частицы и волны. Однако после смерти Ньютона менее выдающиеся умы, последовавшие за ним, придумали гораздо лучший способ объяснения двойного преломления. Они его игнорировали.

А как насчет волновой теории? Никому не удалось придумать, каким образом продольная волна могла давать двойное преломление, а вот поперечные волны — это совсем другое дело.

Представьте себе, будто ваш глаз — это кусок исландского шпата, а луч света падает прямо на него. Эфир, как предполагалось в то время, колеблется под прямым углом к направлению движения, но существует бесконечное число направлений, которые находятся под прямым углом к направлению движения. Пока свет движется по направлению к вам, эфир может двигаться вверх и вниз, или направо и налево, или диагонально (с поворотом по часовой стрелки или против нее), в любой степени.

Каждое диагональное колебание можно разделить на две составляющие, вертикальную и горизонтальную, так что в конечном итоге мы можем сказать, что световой луч, приближающийся к нам, состоит из вертикальных и горизонтальных колебаний. А исландский шпат может выбирать между ними. Вертикальные колебания могут отклоняться в одной степени, а горизонтальные — в другой, и там, где входит один луч, выходят два.

Разумно спросить, почему исландский шпат это делает, а стекло — нет, но этот вопрос не имеет отношения к нашей теме, и я отложу его до другого раза и другой статьи. Важно только то, что с помощью продольных волн двойное преломление объяснить было нельзя, а с помощью поперечных — можно, и вывод таков, что свет состоит из поперечных волн. Теория света как некого вида поперечных волн была разработана в 20-х годах XVIII века французским физиком Огюстеном Жаном Френелем.

Это вызвало настоящий фурор, поскольку в распространении продольных и поперечных волн имеются важные различия. Продольные волны могут проводиться веществом в любом состоянии — газообразном, жидком или твердом. Так, звуковые волны легко распространяются по воздуху, по воде и по железу. Если бы свет имел форму продольных волн, тогда светоносный эфир можно было рассматривать как чрезвычайно тонкий газ, настолько тонкий, что он неотличим от вакуума.

В принципе он все равно сохранит способность проводить свет.

Поперечные волны более привередливы. Они не способны распространяться сквозь толщу газа или жидкости. (Морские волны возмущают поверхность воды, но не способны проходить сквозь саму воду.) Поперечные волны могут распространяться исключительно через твердые вещества. Это значит, что, если светоносный эфир проводит свет, а свет — это поперечная волна, тогда светоносный эфир должен обладать свойствами твердого вещества!

А дальше было еще хуже. Чтобы атомы или молекулы участвовали в периодическом движении (а чтобы создать волну, они должны это делать), им нужно обладать упругостью. Они должны возвращаться в свое положение, если они от него отклонились, проходить дальше его, снова возвращаться, опять проходить дальше и так далее. Скорость, с которой атом или молекула возвращается в прежнее положение, зависит от твердости материала. Чем материал тверже, тем быстрее возврат, а значит, быстрее колебания, быстрее распространение волны. Так, звук распространяется в воде быстрее, чем в воздухе, а в стали — быстрее, чем в воде.

Это рассуждение применимо и в обратном направлении. Если мы знаем скорость, с которой волна движется в какой-либо среде, мы можем рассчитать, насколько она твердая.

Ну и какова скорость света в вакууме — то есть в эфире? Она составляет 299,6 километра в секунду (это число известно как *время Френеля*). Чтобы поперечные волны двигались с такой скоростью, проводящая среда должна быть действительно очень твердой — тверже стали.

Таково складывалось представление о светоносном эфире: материя, неотличимая от вакуума, но при этом более твердая, чем сталь. Твердый вакуум! Не стоит удивляться, что физики рвали на себе волосы.

Целое поколение математиков создавало теории, которые бы объяснили это слияние двух взаимоисключающих понятий и ухитрились охватить непредставимость твердого вакуума с помощью бойкой убедительности. Что до конкретного физического образа светоносного эфира, то наилучшим предположением было то, что это вещество чем-то напоминает современный пластилин. Оно свободно поддается, если усилие прилагается относительно медленно (например, когда планета проходит около трех — тридцати километров в секунду), но жестко сопротивляется усилию, приложенному быстро (как свету, движущемуся со скоростью 299,6 км/сек).

И тем не менее физики, несомненно, в отчаянии отказались бы от эфира, не будь он столь полезен в качестве единственного способа избежать объяснения воздействия на расстоянии. И вместо того чтобы становиться все менее нужным, он становился все более «полезным» — во многом благодаря трудам шотландского математика Джеймса Кларка Максвелла. Это было так.

Задолго до того, как Ньютон создал свою теорию гравитации, было известно два вида сил, действующих на расстоянии: магнетизм и статическое электричество. Они притягивали предметы даже через вакуум и являлись разновидностью силы и, следовательно, должны были проводиться эфиром. (До того как была сформулирована теория гравитации, такие ученые, как Галилей и Кеплер, предполагали, что планеты к Солнцу должны привязывать именно магнитные силы.)

Но опять-таки: существовал ли отдельный эфир для магнетизма и отдельный — для электричества, помимо эфира для света и эфира для гравитации? Существовали ли в целом четыре эфира, каждый со своими собственными свойствами? Если так, то дела обостоят еще хуже, чем раньше. Это накопление четырех различных вакуумов, один из которых тверже стали, а три остальные вообще неизвестно что собой представляют, угрожало построением такой теоретической конструкции, которая рухнула бы под собственным весом и при этом погребла бы под обломками все здание физики.

К середине XIX века Максвелл подверг этот вопрос точному математическому анализу и показал, что он может создать непротиворечивую картину того, что было известно об электричестве и магнетизме, и при этом заявил, что эти две силы взаимосвязаны таким образом, что одна не может существовать без другой. Не существовало ни электричества, ни магнетизма, а был только электромагнетизм.

Более того, если электрически заряженная частица колебалась, то она испускала энергию в виде волны с частотой, равной количеству колебаний в единицу времени. Другими словами, если заряд совершал тысячу колебаний в секунду, то каждую секунду образовывалась тысяча волн. Скорость такой волны вычислялась по определенному уравнению, которое, будучи решено, дало почти точно скорость света.

Максвелл не поверил в то, что это — совпадение. Свет, настаивал он, это «электромагнитное излучение». (Свет имеет частоту несколько сот триллионов в секунду, и что же содержало электрический заряд и могло колебаться с такой скоростью? Максвелл не мог ответить на этот вопрос, но спустя одно поколение внутри атома были открыты электроны, и на этот вопрос был дан ответ.)

Такая теория была прелестна. Она объединяла электричество, магнетизм и свет в разные аспекты одного явления, так что для всех трех хватало бы одного эфира[1]. Это упростило теорию эфира, так что она стала объяснять гораздо большее число явлений, чем прежде. (В этот момент его, вероятно, следовало бы переименовать в «светоэлектромагнитноносный эфир», но этого не сделали.) Если бы теория Максвелла выдержала проверку, физикам стало бы гораздо комфортнее с понятием эфира. Но выдержит ли она проверку?

Одним из способов испытания теории являются предсказания, основанные на ее постулатах и затем находящие подтверждение. Максвеллу казалось, что если электрические заряды способны колебаться с любой частотой, то должно существовать целое семейство электромагнитных излучений с частотой, большей частоты света и меньшей частоты света, до любой степени.

Это предсказание было подтверждено в 1888 году (к сожалению, после слишком ранней смерти Максвелла), когда немецкий физик Генрих Герц сумел заставить электрический ток колебаться не очень быстро и затем обнаружил очень низкочастотное электромагнитное излучение. Это низкочастотное излучение, длинноволновое излучение является тем, что мы сегодня называем радиоволнами.

Радиоволны, будучи электромагнитным излучением, проходят через эфир со скоростью 299,6 ки-

---

[1] Это оставляет гравитацию в стороне, но все попытки соединить ее с электромагнетизмом в качестве четвертого аспекта (теория «единого поля») провалились. Эйнштейн посвятил этому половину своей жизни, но потерпел неудачу.

лометра в секунду. Это — предельная скорость связи с помощью любой формы электромагнитного излучения.

Но если мы примем понятие эфира, то можно вообразить некий «субэфир», который пронизывает сам эфир точно так же, как эфир пронизывает материю. И он может иметь все свойства эфира, только во много раз усиленные. Он будет еще более тонким и неразличимым и в то же время гораздо более твердым. Другими словами, это будет сверхтвердый супервакуум. Можно было бы даже предположить, что гравитационные силы, не охваченные теорией Максвелла, будут проводиться этим субэфиром.

В этом случае некие волны (наверное, гравитационные, а не электромагнитные) будут распространяться по нему со скоростями, гораздо более высокими, нежели скорость света. Тогда звезды галактической империи окажутся не слишком удаленными для быстрой связи.

И вот вам то самое слово «субэфирный».

Ну не интересная ли идея? Может быть, она даже вполне разумная? В конце концов, если принять идею эфира...

Да, но можно ли ее принять?

Видите ли, открытие Герцем волн, которые подтвердили электромагнитную теорию Максвелла и, казалось, навсегда установили понятие эфира, было сделано слишком поздно. Мало кто понял это в тот момент, но за год до открытия Герца идея эфира была безвозвратно разрушена.

Это было сделано с помощью небольшого эксперимента, который не получился.

И если вы прочтете следующую главу, то вы о нем узнаете.

Глава 9
НЕВЕРНЫЙ СВЕТ

Летом 1962 года симпатичная молодая особа из журнала «Ньюсуик» попросила разрешения взять у меня интервью. Можете не сомневаться: я сразу же согласился. Оказалось, что «Ньюсуик» собирался посвятить отдельный номер космической эре, и этой молодой особе было поручено собрать различные комментарии по этому вопросу у различных представителей научной фантастики.

Я эрудированно рассказывал ей о научной фантастике, заполнив полтора часа, каждая секунда которых была полна сведений, и только потом отвел свой сверкающий взор.

В конце концов специальный выпуск вышел, датированный 8 октября 1962 года, и там три четверти 104-й страницы были посвящены научной фантастике (и это были неплохие комментарии, тут у меня нет претензий). Мои многословные излияния опустили, но сохранилась фраза, которая звучала так: «Но н. ф. — это «тематическая сказка, в которой все научные эксперименты бывают успешными», как заметил Айзек Азимов».

С тех самых пор эта цитата не давала мне покоя. Да, я действительно так и сказал: мои слова не исказили. Просто вышло, будто я заявил, что ученым хочется ставить только успешные эксперименты, а это совсем не так.

При определенных обстоятельствах неудача, если она неожиданная и важная, может способствовать развитию науки гораздо больше, чем сотня рутинных успехов. И вправду, самый впечатляющий эксперимент за последние три с половиной века оказался полной неудачей столь ошеломляющего характера, что принес своему автору Нобелевскую премию. Какой счастливой была бы сказка для ученых, если бы все эксперименты так проваливались!

Это как раз связано с тем, что я говорил об эфире в предыдущей главе — остановился на том моменте, когда он, казалось, надежно утвердился в системе физики. И я сказал вам, что на самой вершине своего влияния и процветания эфир был свергнут со своего престола и уничтожен.

Человеком, который вызвал эти разрушения, стал американский физик по имени Альберт Авраам Майкельсон. Его подтолкнула на это своеобразная научная одержимость: Майкельсон получал наслаждение от измерений скорости света. Это измерение было его первым научным достижением. И последним тоже. А практически все, что он сделал в науке между этими двумя достижениями, проистекало из его постоянных стараний улучшить измерения.

И если вы рассчитываете на то, что я сделаю еще хоть шаг вперед, не вернувшись на три века назад, чтобы обсудить историю измерений скорости света, то вы меня просто не знаете.

В древние времена и в Средневековье скорость света считали бесконечной (по крайней мере, те, кто вообще над этим задумывался). Итальянский ученый Галилей был первым, кто в этом усомнился. Примерно в 1630 году он вознамерился измерить скорость света.

Он предложил, чтобы два человека встали на вершинах холмов, отстоящих друг от друга на милю. У обоих с собой должны быть закрытые фонари. Одному было предписано открыть фонарь. Второй, увидев свет, должен был тут же открыть свой собственный фонарь. Если первый человек измерит время, которое пройдет между его собственным действием и тем моментом, когда он увидит искру света со второго холма, то узнает, сколько времени понадобилось свету, чтобы пройти это расстояние в оба конца. По словам Галилея, он попробовал проделать такой эксперимент, но не добился убедительных результатов.

В свете позднейших знаний нетрудно понять, почему он потерпел неудачу. Свет движется настолько быстро, что промежуток времени между сигналом и его возвращением слишком короток, чтобы измерить его существовавшими тогда инструментами. Маленькая задержка, конечно, будет существовать, но она представит собой то время, которое потребуется на то, чтобы ассистент Галилея подумал: «Ага, а вот и сигнал старика!» — и открыл свой фонарь.

Единственное, что мог показать Галилей с помощью своего эксперимента (а в принципе он был правильным), — то, что если скорость света не является бесконечной, то она, по крайней мере, очень высока по обычным меркам. Однако даже это было полезно продемонстрировать. Следующий шаг был сделан почти полвека спустя.

В 1676 году датский астроном Оле Рёмер работал в Парижской обсерватории, наблюдая спутники Юпитера. Время их вращения было уже тщательно вычислено, так что казалось возможным предсказать, в какой момент каждый из них спрячется за Юпитером, — и это также было сделано. Однако, к изумлению Рёмера, оказалось, что спутники прячутся не в те моменты. В периоды сближений Земли и Юпитера затмения происходили все раньше и раньше, чем предполагало расписание, а в периоды отдалений они все больше запаздывали.

Рёмер рассудил, что видит затмение не тогда, когда оно происходит, а только тогда, когда конец прерванного луча доходит до него. Само затмение происходило в рассчитанное время, но, когда Земля была к Юпитеру ближе среднего, он *видел* затмение раньше, чем тогда, когда она оказывалась дальше среднего. Земля находилась ближе всего к Юпитеру в те моменты, когда обе планеты находились на одной линии по одну и ту же сторону от Солнца, и удалялась на максимальное расстояние тогда, когда планеты оказывались на одной линии на противоположных сторонах от Солнца. Различие в этих расстояниях в точности равнялось диаметру земной орбиты.

Разница между самым ранним и самым поздним затмением спутников должна была, следовательно, представлять то время, которое требовалось солнечному свету на прохождение орбиты Земли. Рёмер измерил это время, оказавшееся равным двадцати двум минутам, и, приняв наиболее точную на тот момент оценку диаметра земной орбиты, рассчитал, что свет движется со скоростью 222 000 километров в секунду. Это составляет всего три четверти принятого сейчас точного значения[1], однако попадает в правильный порядок величин, что для первой попытки просто великолепно.

Рёмер объявил о своих результатах и вызвал немалый интерес, однако возражений оказалось не меньше похвал, и об этом вопросе забыли еще на полвека.

---

[1] В соответствии с более поздними измерениями реальная максимальная разница между затмениями оказалась равной 16 минутам 36 секундам. Диаметр орбиты Земли равен приблизительно 298 500 000 километров, и я предоставляю вам, любезный читатель, возможность самостоятельно просчитать скорость света по этим данным.

В 20-х годах XVIII века английский астроном Джеймс Брэдли шел по следу параллакса звезд. Это стало одной из главных проблем астрономии после того, как Коперник ввел гелиоцентрическую теорию Солнечной системы. Если Земля действительно движется вокруг Солнца, говорили противники Коперника, тогда должно казаться, что ближайшие звезды смещаются относительно более далеких (параллактическое смещение). Поскольку этого не наблюдается, Коперник, должно быть, ошибается.

«Но даже ближайшие звезды настолько далеки, что параллактическое смещение слишком мало, чтобы его можно было измерить», — возражали сторонники Коперника.

Однако даже после того, как все астрономы приняли гелиоцентрическую теорию, вопрос о звездном параллаксе не давал им покоя. Рассуждения о слишком малой величине, чтобы ее измерить, слишком походили на уклонение от ответственности. Наблюдения следовало усовершенствовать до такой степени, чтобы ее можно было измерить. Это дало бы сразу двойной результат: показало, насколько далеко расположены ближайшие звезды, и окончательно доказало бы то, что Земля вращается вокруг Солнца.

Тщательные наблюдения Брэдли действительно выявили, что в течение года звезды показывают крошечное смещение. Однако это смещение оказалось не таким, какое объяснялось бы движением Земли. За него было ответственно нечто другое. И только в 1728 году Брэдли сумел найти подходящее объяснение.

Представим себе звездный свет, бомбардирующий Землю, похожим на капли дождя, падающие в полный штиль. Если бы человек стоял неподвижно под таким дождем, ему нужно было бы держать зонт вертикально над головой, чтобы защищаться от вертикально падающих капель. Однако если бы он пошел, то двигался бы наперерез дождю, и ему пришлось бы наклонить зонт вперед, иначе некоторые капли все равно попали бы на него. Чем быстрее он будет идти, тем больше угол, на который ему нужно наклонить зонт.

Точно так же, чтобы наблюдать свет с движущейся Земли, телескоп приходится чуть наклонять. Поскольку Земля изменяет направление движения, совершая оборот вокруг Солнца, небольшой угол телескопа необходимо постоянно менять, и создается впечатление, будто звезда прочерчивает крошечный эллипс на небе (относительно Солнца). Брэдли открыл явление, которое называется «аберрацией света».

Это не было параллактическим смещением и не помогло определить расстояние до каких-то звезд (для этого пришлось ждать еще век). Тем не менее наблюдения подтвердили, что Земля движется относительно звезд: если бы она оставалась неподвижной, телескоп вообще не нужно было бы наклонять — звезды не смещались бы.

Величина аберрации света зависела от двух факторов: скорости света и скорости движения Земли по орбите. Последняя была известна (приблизительно 29,8 километра в секунду), следовательно, можно было рассчитать первую. По оценке Брэдли, свет имел скорость приблизительно 303 400 километров в секунду. Это всего на 1,2 процента больше правильного значения.

Два независимых астрономических метода дали величины скорости света, а усовершенствование наблюдений показало, что оба метода дают весьма близкие цифры. Но существовал ли способ, с помощью которого скорость можно измерить на Земле, при условиях, которые экспериментатор мог бы контролировать?

Ответ был положительный, но миру пришлось ждать век с четвертью после открытия Брэдли, прежде чем такой способ был открыт. Его изобретателем стал французский физик Арман Ипполит Луи Физо, который вернулся к методу Галилея, но исключил человеческий фактор. Вместо того чтобы заставлять помощника отвечать на сигнал вторым лучом света, он заставил зеркало отразить первый луч.

В 1849 году Физо установил быстро вращающийся зубчатый диск на вершине одного холма и зеркало — на вершине другого, на расстоянии восьми километров. Свет проходил через один из промежутков между зубцами вращающегося диска и отражался зеркалом. Если диск вращался с должной скоростью, отраженный свет возвращался как раз в тот момент, когда на его пути оказывался следующий промежуток.

По скорости, с которой колесо приходилось вращать для того, чтобы возвращающийся свет был виден, можно было рассчитать время, требовавшееся для того, чтобы свет прошел расстояние в шестнадцать километров. Полученное таким образом значение было не таким точным, как то, которое дали лучшие астрономические измерения: оно имело ошибку в 5 процентов, но для первой лабораторной попытки — результат превосходный.

В 1850 году помощник Физо, Жан Бернар Леон Фуко, усовершенствовал метод, применив два зеркала, одно из которых быстро вращалось. Вращающееся зеркало отражало свет под углом, и по этому углу вычислялась скорость света. В 1862 году он получил значения в пределах 1 процента от точного.

Фуко пошел еще дальше. Он измерил скорость света в воде и других прозрачных средах (это можно было сделать лабораторными способами, но отнюдь не астрономическими). При этом он обнаружил, что в воде свет двигался медленнее, чем в воздухе.

Это было важно. Если верна корпускулярная теория, то свет должен двигаться в воде быстрее, чем в воздухе, а если верна волновая теория, то скорость распространения света в воде, естественно, меньше, чем в воздухе. Конечно, к середине XIX века большинство физиков и так приняли волновую теорию. Тем не менее опыт Фуко воспринимался как последний гвоздь, вбитый в крышку гроба корпускулярной теории.

И теперь мы возвращаемся к Майкельсону. Майкельсон родился в 1852 году в той части Польши, которая тогда находилась под германским правлением, а спустя два года его перевезли в Соединенные Штаты. Его семья не последовала обычному порядку, когда иммигранты селились в одном из крупных городов на Восточном побережье. Вместо этого Майкельсоны перебрались далеко на запад, в район, который в 1849 году был открыл для переселенцев. Майкельсоны добилось там успеха (как торговцы, а не как золотодобытчики), и юный Альберт в 1869 году подал заявление на поступление в Военно-морскую академию в Аннаполисе. Он прошел все необходимые испытания, но вместо него был принят сын ветерана войны (Гражданской войны, конечно). Понадобилось личное вмешательство президента Гранта (через посредничество конгрессмена от Невады, который указал на полезность такого жеста в отношении видного торговца-еврея нового запада), чтобы Альберта туда взяли.

Он окончил академию в 1873 году и до конца десятилетия проработал там в качестве преподавателя естественных наук. В 1878 году он заразился проблемой скорости света — и так и не выздоровел. Используя метод Фуко, к которому он прибавил несколько хитроумных усовершенствований, он опубликовал первое сообщение о скорости света, которую он определил как равную 300 155 километрам в секунду. Он завысил ее примерно на 500 километров в секунду, но это значение находилось в пределах одной шестой процента погрешности.

В 1882 году он повторил свою попытку, после того как несколько лет изучал оптику в Германии и Франции. На этот раз у него получилась цифра 299 853 километра в секунду, что было всего на 150 километров в секунду выше точного значения, то есть погрешность оставила всего одну пятнадцатую процента.

Тем временем Майкельсону пришло в голову, что с помощью движущегося света можно разгадать несколько главных загадок Вселенной.

Одной из краеугольных проблем в физике 1880-х годов был вопрос о природе светоносного эфира (см. предыдущую главу). Эфир считался неподвижным, находящимся в состоянии «абсолютного покоя», а если свет — это эфирные волны, тогда его скорость, измеренная достаточно точно и при должных условиях, могла дать величину абсолютной скорости движения Земли: не просто скорости относительно Солнца, но относительно самой материи мироздания. Такая величина была бы чрезвычайно важна, поскольку без нее невозможно иметь уверенность в законах механики, разработанных со времен Галилея.

Позвольте мне объяснить, что тут выходит. Предположим, самолет движется со скоростью

240 километров в час и встречается с ветром, движущимся со скоростью 200 километров в час. Если самолет летит в направлении ветра, то будет казаться, что он движется со скоростью 440 километров в час (если смотреть на него с земли). А если он летит против ветра, то будет двигаться относительно земли со скоростью всего в 40 километров в час. Если знать скорость самолета в безветренный день, тогда по разнице скоростей, вызванной ветром, можно вычислить скорость самого ветра.

А теперь предположим, что Земля движется через неподвижный эфир. С точки зрения механики это будет эквивалентно тому, что Земля остается неподвижной, тогда как мимо нее движется эфир. Давайте примем вторую точку зрения, потому что эфирный ветер можно легко себе представить.

Свет, представляющий (как тогда считалось) эфирные волны, будет двигаться относительно Земли вместе с эфиром: быстрее — в направлении эфирного ветра, медленнее — против этого направления и со средней скоростью в промежуточном направлении.

Очевидно, что скорость эфирного ветра не может быть очень высокой. Если бы он «двигался» со скоростью, представляющей собой немалую долю скорости света, тогда можно было бы наблюдать всевозможные странные явления. Например, свет распространялся бы по кривой в форме яйца, а не по кругу. Тот факт, что подобных явлений никогда не наблюдали, означал, что эффекты чрезвычайно малы и что абсолютная скорость Земли может составлять только малую долю скорости света.

Майкельсон сосредоточился на способах измерения этой малой доли.

В 1881 году Майкельсон создал интерферометр — устройство, которое было рассчитано на то, чтобы расщеплять луч света на два, направляя части под прямым углом друг к другу, а потом снова сводить его воедино.

В процессе движения туда и обратно два луча света проходили одно и то же расстояние и, следовательно, предположительно двигались в течение одинакового времени. По возвращении в исходную точку они снова соединятся в один луч, словно и не были расщеплены. И у слившихся лучей не будут проявляться такие свойства, каких не было у исходного луча.

И наоборот, если два луча двигались в течение различного времени, то волны двух лучей света перестанут совпадать и при слиянии они окажутся не в фазе. Появятся участки, на которых волны одного луча будут двигаться вверх, а волны другого — вниз. Произойдет взаимное уничтожение (интерференция), и в результате появится темнота. Области темноты будут возникать периодически и примут вид полос, как у зебры (интерференционные полосы).

Идея состояла в отладке прибора таким образом, чтобы — насколько это возможно — лучи света проходили одинаковое расстояние, и если они пройдут его за одно и то же время, то при слиянии совпадут и интерференционных полос не будет.

Однако это не учитывало эфирный ветер, который тогда считался существующим. Если один луч света будет двигаться в направлении ветра, то он будет возвращаться против ветра. А второй луч, направленный под прямым углом, пройдет тогда поперек ветра и вернется также поперек ветра. Можно продемонстрировать, что в этом случае время, которое потребуется одному лучу на то, чтобы двигаться по ветру, а затем возвращаться против ветра, будет чуть больше, чем то, которое потребуется второму лучу, двигавшемуся в обе стороны перпендикулярно к направлению ветра.

Чем сильнее эфирный ветер, тем больше это расхождение во времени, а чем больше расхождение во времени, тем шире интерференционные полосы. Значит, наблюдая интерференционные полосы, Майкельсон сможет измерить скорость эфирного ветра, и это даст ему абсолютную скорость Земли.

Майкельсон попробовал сначала провести эксперимент в Германии, закрепив свой интерферометр на скале, и чуть не сошел с ума, пытаясь удалить вибрации, вызванные городским транспортом. Когда он наконец отправил расщепленные лучи по их маршруту, то обнаружил, что они не принесли никакой информации. Свет изменил ему, подло изменил. Он ничего не принес — никаких интерференционных полос.

Что-то пошло не так, но Майкельсон не мог понять, что именно. Он оставил этот вопрос на несколько лет.

Он вернулся в Соединенные Штаты, вышел в отставку, поступил работать в Школу прикладных наук в Кливленде — и там познакомился с химиком, которого звали Эдвард Уильямс Морли. Морли мечтал быть пастором и согласился на место химика только при условии, что ему разрешат читать проповеди в часовне колледжа. Его научная одержимость заключалась в сравнении атомного веса кислорода и водорода.

Майкельсон и Морли обсудили эксперимент с интерферометром и, наконец, в 1886 году объединили усилия, чтобы поставить опыт еще раз, с предосторожностями поистине героических масштабов. Они докопались до скальной основы, чтобы закрепить прибор на неподвижном теле планеты. Они сложили кирпичное основание, верх которого залили цементом с углублением в виде пончика. В углубление они залили ртуть, а поверх ртути установили деревянный поплавок. На дереве находилась каменная основа, к которой прочно крепились детали интерферометра. Все было настолько тщательно сбалансировано, что при малейшем прикосновении интерферометр начинал плавно вращаться на ртутной основе.

Теперь они были готовы провести опыт, который станет известен как эксперимент Майкельсона—Морли. Луч света был расщеплен и отправлен в путь — и снова свет изменил им и не принес обратно ничего. Единственными интерференционными полосами были те крошечные, которые, очевидно, были порождены неизбежными погрешностями прибора.

Конечно, могло оказаться так, что лучи света были направлены не точно по ветру и против ветра, а в таких направлениях, где эфирный ветер не сказывался. Однако прибор можно было поворачивать. Майкельсон и Морли провели измерения под всеми углами: конечно же эфирный ветер должен был дуть в одном из направлений. Они пошли даже дальше. Они вели измерения целый год, пока сама Земля постоянно меняла направление движения, следуя по своей орбите вокруг Солнца.

Они провели тысячи наблюдений и к июлю 1887 года готовы были сделать сообщение. Результат оказался отрицательным. Они попытались измерить абсолютную скорость Земли и не смогли этого сделать. Вот и все.

Неудача должна была как-то объясняться, и на тот момент можно было выдвинуть не меньше пяти причин тому. Я их перечислю:

1. Эксперимент можно перечеркнуть. Возможно, были какие-то ошибки в оборудовании, проведении или рассуждениях, на которых он основывался. Такие люди, как английские ученые лорд Кельвин и Оливер Лодж, приняли именно эту точку зрения. Однако эта позиция оказалась несостоятельной. С 1887 года многочисленные ученые повторили эксперимент Майкельсона—Морли, добиваясь все большей точности. В 1960 году для этой цели были использованы мазеры (атомные часы) и была достигнута точность в одну триллионную. Но неизменно, вплоть до эксперимента 1960 года включительно, неудача Майкельсона и Морли повторялась. Никаких интерференционных полос не было. Световые лучи всегда шли одинаковое время в любом направлении, независимо от эфирного ветра.

2. Ну, значит, эксперимент был правильным и показал, что эфирного ветра нет по любой из четырех причин:

а) Земля не движется: она является неподвижным центром Вселенной. Это повлекло бы за собой так много других парадоксов и противоречило бы такой массе астрономических и физических фактов, собранных со времен Коперника, что никто всерьез не высказывал такой мысли. Однако один мой приятель указал, что единственным способом однозначно опровергнуть это предположение было бы проведение эксперимента Майкельсона—Морли где-то вне Земли. Если результат будет отрицательным (а я в этом не сомневаюсь!), то мы сможем уверенно заключить, что Земля и Луна одновременно не могут быть неподвижными. То, что одно из этих тел не движется, еще можно было бы вообразить, но что оба — нет;

б) Земля действительно движется, но при этом увлекает за собой окружающий ее эфир, так что он кажется неподвижным относительно эфира, который находится непосредственно на поверхности Земли. По этой причине интерференционных полос не возникает. Это предположение высказал английский физик Джордж Габриэль Стокс. Однако это подразумевает наличие трения между Землей и эфиром и ставит серьезный вопрос о том, почему движение небесных тел не замедляется при прохождении через эфир. Поверить в «эфирное сопротивление» так же трудно, как и в неподвижную Землю, так что идея Стокса быстро умерла. Однако два предположения остались существовать;

в) ирландский физик Джордж Фрэнсис Фитцджеральд предположил, что все объекты (и, следовательно, все измерительные приборы) укорачиваются в направлении движения в соответствии с формулой, которую легко вывести. Это называется «сокращением Фитцджеральда». Сокращение Фитцджеральда вводит фактор, который в точности нейтрализует разницу во времени, которая появляется во время движения двух лучей света, и этот фактор объясняет отсутствие интерференционных полос. И тем не менее сокращение Фитцджеральда походило на ухищрение. Объяснение работало, это правда, но почему какое-то сокращение вообще должно было существовать?

г) австрийский ученый Эрнст Мах высказался по существу вопроса. Он сказал, что интерференционных полос нет потому, что нет эфирного ветра — потому что нет эфира. Что может быть проще!

В этом заявлении Маха не было ничего странного. Он был бунтарем, который настаивал, что предметом научного исследования могут быть только наблюдаемые явления и что ученым не следует строить модели, которые сами по себе наблюдаться не могут, а потом верить в то, что такие модели действительно существуют. Мах даже отказался принять атомы, сочтя их просто удобной выдумкой. Естественно было ожидать, что он с готовностью перечеркнет эфир при первой же возможности.

Как это должно было быть соблазнительно! Эфир был такой нелепой и внутренне противоречивой субстанцией, что некоторые из величайших физиков-теоретиков XIX века измучились его объяснять. Почему бы не отбросить его, следуя раздраженному предложению Маха?

Проблема состояла вот в чем: как тогда объяснить тот факт, что свет способен двигаться через вакуум? Все признавали, что свет состоит из волн, а волны должны были быть волнами *чего-то*. Если существовал эфир, то свет состоял из эфирных волн. Но если эфира не существует, тогда свет состоит из волн *чего*?

Физики болтались между Сциллой эфира и Харибдой полного хаоса, и одному только Богу известно, что случилось бы, если бы два немецких физика, Макс Карл Эрнст Людвиг Планк в 1900 году и Альберт Эйнштейн в 1905-м не спасли положение.

А они его действительно спасли. Работы Планка и Эйнштейна показали, что в некоторых отношениях свет ведет себя как частицы, и потому для движения света через вакуум никакого эфира не нужно. Когда это было доказано, в эфире больше не было необходимости — и его с радостным криком отбросили. С тех пор эфир больше ни разу не понадобился. Сейчас его не существует — и на самом деле его никогда не существовало. (Работа Эйнштейна также позволила правильно посмотреть на сокращение Фитцджеральда.)

В результате неверный свет Майкельсона—Морли был признан самой успешной неудачей в истории науки, поскольку благодаря этому изменился взгляд физиков на Вселенную. В 1907 году Майкельсон получил Нобелевскую премию в области физики, став первым американцем, получившим это отличие в области естественных наук.

Глава 10
ФАНТАСТИЧЕСКИЙ СВЕТ

Когда я был маленьким, мы, дети, постоянно слушали то, что носило название «радио». Современное население почти от него отвыкло, но если вы представите себе телевизор с неработающим экраном, то вы поймете, о чем идет речь.

На радиоприемнике была ручка, которую можно было поворачивать, чтобы настроиться на различные станции, и шкала с разметкой от 55 до 160. И насколько я помню, никто понятия не имел о том, что означают эти цифры, — и не хотел иметь.

Некая радиостанция могла представляться как работающая на «880 килогерц», и в конце концов я догадался, что числа на шкале радиоприемника обозначают десятки килогерц, но, опять-таки, в детстве я не сталкивался с кем-то, кто бы знал, что такое килогерц, или кому это было бы интересно.

По правде говоря, оглядываясь назад, я вижу: я и сам этого не знал — и меня это не беспокоило. Я мог быстро и уверенно найти любую интересовавшую меня радиостанцию и помнил расписание наизусть. Чего еще мне было хотеть?

Однако если задуматься над радиоприемником и двигаться дальше путем свободных ассоциаций, то можно прийти к довольно удивительным вещам — что я и попытаюсь вам показать.

Я начну с радиоволн.

Самые важные волны во Вселенной образуются колеблющимися электрическими зарядами. Поскольку электрические заряды связаны с магнитными полями, волны, создавшиеся в результате такого движения, называются электромагнитными. Электромагнитные волны распространяются от точки возникновения, двигаясь со скоростью света, что неудивительно, поскольку и сам свет является электромагнитным излучением.

Каждое колебание электрического заряда туда и обратно дает одну волну, и, зная это, мы можем вычислить длину волны, которая при этом образуется. Длина волны обычно обозначается греческой буквой λ — лямбда.

А теперь предположим, что электрический заряд совершает одно колебание в секунду. К моменту образования волны по завершении колебания начало волны неслось в пространстве со скоростью света в течение целой секунды. Скорость света в этой главе я приму округленно — как $3 \cdot 10^5$ километра в секунду. Тогда если образование волны займет секунду, то начало волны опередит ее конец на $3 \cdot 10^5$ километра, и длина волны составит $3 \cdot 10^5$.

Предположим, что электрический заряд совершает два колебания в секунду. Тогда за секунду образуется две волны. Вместе они растянутся на $3 \cdot 10^5$ километра, и каждая волна будет иметь длину $15 \cdot 10^4$, то есть длина волны будет равна $15 \cdot 10^4$.

Если электрический заряд колеблется с частотой десять раз за секунду, то каждая волна будет иметь длину $3 \cdot 10^4$ км, если колебаний 50, то длина волны составляет $6 \cdot 10^3$ и так далее.

Число колебаний в секунду можно назвать частотой, и ее обычно обозначают через греческую букву ню — ν.

Как видите, для того, чтобы вычислить длину волны, я делил скорость света (обычно обозначаемую латинской буквой c) на частоту излучений. Если записать это в виде уравнения, то получится $\lambda = {}^{c}/_{\nu}$.

Если вы знаете длину волны и хотите найти частоту, то приведенное выше уравнение надо просто решить относительно ν, и вы получите $\nu = {}^{c}/_{\lambda}$. Таким образом, если длина волна равна 15 километрам, тогда частота составляет ${}^{300\,000}/_{15}$, то есть 20 000 колебаний в секунду.

Частота, равная одному колебанию в секунду, может быть названа одним герцем. Частота в тысячу колебаний в секунду — это один килогерц (префикс кило-, как я объяснил в главе 7, используется в метрической системе для обозначения тысячи). Значит, если станция WNBC в Нью-Йорке работает на волне 660 килогерц (или 66 на шкале), то это означает, что волна, которую она испускает, имеет чистоту $66 \cdot 10^4$ колебаний в секунду. Длина таких волн равна ${}^{300\,000}/_{660\,000}$, то есть 0,455 километра, что равно 455 метрам.

Точно так же можно рассчитать длины волн некоторых других нью-йоркских радиостанций:

	Килогерц	Длина волны (в метрах)
WOR	710	425
WABC	770	390
WNYC	830	360
WCBS	880	340
WNEW	1130	265
WQXR	1560	190

Обратите внимание на то, что длины волн укорачиваются с увеличением килогерц, вот почему если мы пройдем по шкале достаточно далеко, то попадем на «короткие волны». Одним из способов описания этого соотношения служат слова: «частота и длина волны обратно пропорциональны друг другу» — когда одна увеличивается, другая уменьшается.

Электромагнитное излучение может иметь любую длину волн: насколько мы знаем, заряженная частица может колебаться с любой частотой. Верхнего предела длины волны определенно не существует, поскольку колебания могут замедлиться до ноля, и в этом случае длина волны приблизится к бесконечности.

С другой стороны, человек может заставить электрические заряды колебаться миллионы раз в секунду. В сущности, атомы способны совершать триллионы колебаний в секунду. Электроны могут колебаться квадриллионы и даже квинтильоны раз в секунду. Другие частицы могут колебаться секстильоны и даже септильоны раз в секунду. Длины волн могут становиться все короче и короче, и, теоретически, нижнего предела нет.

Свойства электромагнитного излучения меняются в зависимости от частоты. Во-первых, излучение происходит в виде дискретных пучков, называемых квантами, и энергия одного кванта данного излучения находится в прямой зависимости от его частоты. По мере увеличения частоты (и уменьшения длины волн) излучение становится все более сильным и может взаимодействовать с материей всё более полно.

Коротковолновое излучение способно выбивать электроны из металлов, тогда как более длинные волны с меньшей энергией этого сделать не могут. Это явление называется фотоэлектрическим эффектом. (Эйнштейн изложил суть фотоэлектрического эффекта в 1905 году, в том же, в котором он впервые выдвинул свою теорию относительности. И когда в 1921 году он получил Нобелевскую премию, то она была ему присуждена за объяснение фотоэлектрического эффекта, а не за относительность.)

Опять же, коротковолновое излучение может вызывать определенные химические изменения, чего длинные волны не делают: вот почему можно проявлять обычные фотопленки при красном свете. Лучи красного цвета имеют слишком низкую энергию, чтобы воздействовать на негатив.

Определенные диапазоны излучения имеют достаточно энергии, чтобы воздействовать на сетчатку глаза и давать нам ощущения, которые мы называем светом. Излучение с меньшей энергией нам не видно, но эту энергию способна поглощать наша кожа, и она ощущается как тепло. Излучение с большей энергией тоже невидимо, но может повредить сетчатку и обжечь кожу.

Для удобства физики разделили весь диапазон электромагнитного излучения («электромагнитный спектр») на отрезки, и сделали это весьма своевольно. Воспроизвожу это деление в порядке возрастания частоты и энергии, то есть в порядке уменьшения длины волн.

1. *Микропульсации.* Они имеют частоту меньше одного герца и, следовательно, длины волн более $3 \cdot 10^5$ километров. Такое излучение определяется с частотами вплоть до 10^{-2} герца. Это значит, что одно колебание длится 100 секунд, а длина волны составляет $3 \cdot 10^7$ километра, или три четверти расстояния от Земли до Венеры в ее ближайшем положении — что неплохо для одной волны.

2. *Радиоволны.* В самом широком смысле к ним относятся любые колебания с частотами от 1 герца до миллиарда (10^9) герц и с длинами волн от $3 \cdot 10^5$ километров до 30 сантиметров. На самом деле длинноволновое радио пользуется частотами от $55 \cdot 10^4$ герц до $16 \cdot 10^5$ герц и длинами волн от 550 метров до 185 метров. Коротковолновое радио находится в 30-метровом диапазоне, а телевидение — в 3-метровом.

3. *Микроволны.* Их частоты от миллиарда (10^9) герц до 100 миллиардов (10^{11}) герц, а длина волн от 30 сантиметров до 3 миллиметров. Излучение, улавливаемое радиотелескопами, находится в этом диапазоне, а излучение нейтрального атома водорода (знаменитая «песня водорода») имеет длину волны 21 сантиметр. Этот же диапазон используют радары.

4. *Инфракрасные лучи.* Частоты находятся от 100 миллиардов (10^{11}) герц до почти квадриллиона (больше 10^{14}) герц, а длины волн — от 3 миллиметров до $76 \cdot 10^{-5}$ миллиметров. Длина волн инфракрасного излучения обычно измеряется в микронах, причем один микрон равен одной десятитысячной сантиметра, так что можно сказать, что диапазон инфракрасного излучения составляет от $3 \cdot 10^3$ микронов до 0,76 микрона.

5. *Видимый свет.* Это небольшой диапазон частот чуть меньше квадриллиона (до 10^{15}) с длинами волн от 0,76 микрона до 0,38 микрона. Длины световых волн обычно измеряются в ангстремах, причем один ангстрем равен одной десятитысячной микрона. Значит, длины волн видимого света лежат в диапазоне от 7600 ангстремов до 3800 ангстремов.

6. *Ультрафиолетовые лучи.* Сюда включены частоты от квадриллиона (10^{15}) герц и до почти ста квадриллионов (до 10^{17}) герц, а длина волн лежит

между 3800 ангстремов до приблизительно 100 ангстремов.

7. *Рентгеновские лучи.* Они включают в себя частоты от почти ста квадриллионов (от 10^{17}) до ста квинтиллионов (10^{20}) герц, а длина волн колеблется от 100 ангстремов до 0,1 ангстрема.

8. *Гамма-лучи.* Они имеют частоты выше ста квадрильонов (10^{20}) герц, а длину волн — менее 0,1 ангстрема.

На самом деле разделительные линии проведены не слишком четко, и особенно сильно перекрывают друг друга рентгеновские и гамма-лучи. Люди говорят о рентгеновском излучении, если его источником служит рентгеновская трубка, и о гамма-излучении, если это результат ядерной реакции. Может существовать мягкое гамма-излучение с длинами волн примерно в триста раз большими, чем самые жесткие рентгеновские лучи. Однако конкретная длина волны имеет конкретную энергию и конкретные свойства независимо от того, как вы ее назовете: рентгеновским лучом, гамма-лучом или селедкой. Проведя границу между рентгеновскими лучами и гамма-лучами на частоте сто квинтиллионов герц, я на самом деле разрезал зону перекрывания пополам и готов признать: такое разграничение сделано произвольно.

Это довольно путаный набор частот и длин волн, и я был бы не я, если бы не попытался найти более простой способ представить эту картину. Более легкий способ можно взять из обращения со звуковыми волнами. Природа звуковых волн не электромагнитная, но они также имеют длины волн и частоты.

Мы определяем различия в частоте звуковых волн — по крайней мере в диапазоне слышимости — по разнице тона. В нашей культуре принято записывать музыку с помощью последовательности нот с определенными частотами. Я начну с клавиши на фортепиано, которая называется «до средней октавы», дам ее частоту, а затем — частоты следующих нот при продвижении по клавиатуре вправо, «нажимая» только белые клавиши:

до	— 264	до	— 528	до	— 1056
ре	— 297	ре	— 594		
ми	— 330	ми	— 660		
фа	— 352	фа	— 704		
соль	— 396	соль	— 792		
ля	— 440	ля	— 880		
си	— 495	си	— 990		

Обратите внимание на то, что частота каждого до ровно вдвое больше частоты предыдущего. На самом деле можно начать с любой ноты на клавиатуре, пройти семь нот с повышающейся частотой — и прийти к восьмой ноте со вдвое большей частотой, чем у первой. Такое промежуток называется октавой, от латинского *octo*, означающего «восемь».

Применив эту систему к любым видам волн, можно назвать октавой любую непрерывную область от частоты x до частоты $2x$. Так как длина волны обратно пропорциональна частоте, то при каждом удвоении частоты длина волны уменьшается вдвое. Следовательно, каждая область от длины волны y до длины волны $^{y}/_{2}$ также является октавой.

И таким образом мы можем разбить электромагнитный спектр на октавы. Например, самая большая длина волны видимого света равна 7600 ангстремам, тогда как самая малая составляет 3800 ангстремов. Самые короткие волны составляют ровно половину самых длинных, так что диапазон, охваченный видимым светом, представляет собой одну октаву электромагнитного спектра.

Поскольку не существует верхнего и нижнего предела частот электромагнитного спектра, то количество октав теоретически является бесконечным. Однако давайте мы сочтем длину волны в $3 \cdot 10^7$ километра практическим максимумом, поскольку это — самая длинная из обнаруженных микропульсаций, а длину волны в 10^{-4} — практическим минимумом, поскольку дальше лежат области энергий космических лучей с их корпускулярной природой.

Делить пополам $3 \cdot 10^7$ километра, чтобы получить 10^{-4} ангстрема, нужно 81 раз. (Попробуйте и убедитесь сами, помня, что 1 километр равен 10^{13} ангстремам.) Следовательно, та часть электромагнитного спектра, которую я обозначил, равна 81-й октаве, и из нее ровно одну октаву мы видим невооруженным глазом.

А теперь давайте определим размеченные своевольными физиками области электромагнитного спектра в октавах, и картина станет намного яснее:

	Октавы
микропульсации	$6^1/_2$
радиоволны	30
микроволны	$6^1/_2$
инфракрасные лучи	12
видимый свет	1
ультрафиолетовые лучи	5
рентгеновские лучи	10
гамма-лучи	10
итого	81

Итак, две трети октав — это длинные волны и, следовательно, имеют энергию меньше видимого света. Фактически диапазон радиоволн — самый широкий и занимает треть октав спектра. Однако в действительности только около двенадцати октав используются для радио- и телевещания.

Тем не менее и они занимают около 15 процентов общего количества октав, а по мере роста потребностей связи с наступлением космической эпохи остается ли место для развития?

Отвечаю: очень много!

Чтобы убедиться в этом, давайте еще раз посмотрим на эти октавы.

В области звука слух воспринимает все октавы как одинаковые по внутренней мере. В каждой находится место для семи различных нот (плюс диезы и бемоли, конечно), и только потом начинается следующая октава. Однако в том, что касается связи с помощью электромагнитных волн, дело обстоит иначе. По мере движения по электромагнитному спектру в направлении увеличивающейся частоты в каждой октаве оказывается больше места, чем в предыдущей.

Каждый телевизионный канал имеет несущую волну, которую он модифицирует, и эти модификации преобразовываются в картинку и звук в телеприемнике. Чтобы два канала не накладывались друг на друга, они должны иметь частоты, которые будут не слишком близкими. Их нельзя расположить в такой близости, как, например, радиостанции, с которых я начал эту главу. Ширина стандартного телеканала имеет $4 \cdot 10^6$ герц (или 4 мегагерца, так как мегагерц равен миллиону герц).

Телевизионные каналы расположены в высокочастотной области диапазона радиоволн — от 10^9 герц (100 мегагерц) и длин волн порядка 3 метров.

Рассмотрим октаву в этой области частот — скажем, область спектра от 80 мегагерц до 160 мегагерц. В нее входит полоса 80 мегагерц, так что если расположить телеканалы через 4 мегагерца, то места хватит на двадцать каналов.

В более высокой по частотности октаве, от 160 до 320 мегагерц, места хватит уже для сорока каналов. В следующей за ней, от 320 до 640 мегагерц, — для восьмидесяти каналов.

Количество телеканалов на октаву электромагнитного излучения удваивается с каждой октавой по мере продвижения в коротковолновую сторону. На самом деле каждая следующая октава электромагнитного излучения содержит примерно столько места для телеканалов, сколько было во всех предыдущих октавах, вместе взятых.

Тогда как насчет видимого света? У видимого света всего одна октава, но она приблизительно на двадцать две октавы выше по частоте, чем та, которую используют для телевидения. Таким образом, в октаве света в 2^{22} раз больше места для телеканалов, чем в той октаве, которую обычно используют для телевидения. Цифра 2^{22} представляет собой двадцать две перемноженных двойки, а это дает больше четырех миллионов (можете не верить мне на слово и перемножить их самостоятельно).

Другими словами, каждому каналу, доступному в обычной области электромагнитного спектра, используемого для телевещания, соответствует около четырех миллионов каналов, расположенных в области видимого света.

Мы можем обсудить это подробнее. Видимый свет содержит ряд цветов, которые переходят один в другой по мере движения вверх или вниз по спектру. На самом деле глаз способен различать множество оттенков, так что резких границ не существует. Тем не менее принято делить видимый спектр на шесть цветов[1], которые в порядке

[1] Поскольку в английском языке синий и голубой цвета обозначаются одним словом blue, то традиционно англоговорящие люди различают в радуге шесть цветов, а не семь, выделяемых в русском цветообозначении. (*Примеч. пер.*)

возрастания частоты таковы: красный, оранжевый, желтый, зеленый, синий и фиолетовый. И считается, что каждый цвет занимает определенный диапазон частот. Это положение можно представить так:

	Диапазон частот (в ангстремах)	Диапазон длин волн (в мегагерцах)
красный	от 7600 до 6300	от $4 \cdot 10^8$ до $4{,}75 \cdot 10^8$
оранжевый	от 6300 до 5900	от $4{,}75 \cdot 10^8$ до $5{,}1 \cdot 10^8$
желтый	от 5900 до 5600	от $5{,}1 \cdot 10^8$ до $5{,}4 \cdot 10^8$
зеленый	от 5600 до 4900	от $5{,}4 \cdot 10^8$ до $6{,}15 \cdot 10^8$
синий	от 4900 до 4500	от $6{,}15 \cdot 10^8$ до $6{,}7 \cdot 10^8$
фиолетовый	от 4500 до 3800	от $6{,}7 \cdot 10^8$ до $8 \cdot 10^8$

Помня, что ширина стандартного телеканала составляет всего 4 мегагерца, мы можем составить следующую таблицу:

	Полоса частот (в мегагерцах)	Число возможных телеканалов
красный	$75 \cdot 10^6$	$19 \cdot 10^6$
оранжевый	$35 \cdot 10^6$	$9 \cdot 10^6$
желтый	$30 \cdot 10^6$	$7 \cdot 10^6$
зеленый	$75 \cdot 10^6$	$19 \cdot 10^6$
синий	$55 \cdot 10^6$	$14 \cdot 10^6$
фиолетовый	$130 \cdot 10^6$	$32 \cdot 10^6$
		Итого 10^8

Так почему бы не использовать световые волны в качестве носителя телепрограмм?

Сравнительно недавно это предложение имело бы исключительно абстрактный характер. Для обычной радио- и телесвязи требуется идеальная фазировка несущих волн. Однако световые волны невозможно сделать синфазными — по крайней мере, это невозможно было до 60-х годов XX века. Непрактично пытаться вызвать колебания электрического контура с частотой триллион раз в секунду — а именно это потребовалось бы, чтобы послать луч видимого света. Для таких колебаний приходится рассчитывать на электроны внутри атома. К ним поступает тепло, которое освобождается в виде электромагнитного излучения, причем его немалая часть (из-за присущей им частоты колебаний) проявляется как видимый свет. Другими словами, можно произвести свет, разжигая огонь.

Единственная проблема состоит в том, что различные нагретые атомы испускают излучение посвоему, так что длина волны не фиксирована, а может меняться в довольно большом диапазоне, а квант испускается в любом направлении. Таким образом, эмитированные световые волны настольно не в фазе, что большая часть их энергии погашается и превращается в тепло. Они распределяются во всех направлениях и охватывают широкую полосу спектра. Короче, произведенный свет достаточно хорош для освещения, но недостаточно хорош, чтобы служить носящей волной для телевидения.

Однако в 1960 году были изобретены устройства, в которые можно было закачать энергию, а потом, при введении искры света, вся энергия превращалась в свет той же длины волны, синфазный. И устройство можно было сконструировать таким образом, чтобы весь свет при этом выходил в одном направлении.

Мощный луч света, созданный в таком устройстве, — плотный (когерентный), и его составляющие очень мало отличаются по длине волны (он будет монохромным). Процесс, с помощью которого искра света запускает превращение энергии в массу света, назван light amplification by stimulated emission of radiation (усиление света путем генерации излучения), а из выделенных букв было составлено название устройства — лазер. (Если вам интересно, слово, составленное по первым буквам фразы, называется *акронимом.*)

Конечно, даже и в этом случае использование света для телетрансляций представляет сложности. Волны того диапазона, который традиционно использовался для телевещания, могут проникать сквозь здания и обычные препятствия. Видимый свет на это не способен. Чтобы принимать такие передачи, нужно было бы, чтобы телестанция находилась в зоне прямой видимости.

Однако свет можно передавать по специальным оптиковолоконным кабелям, откуда он попадал бы к каждому телеприемнику в данном районе, однако прокладка таких кабелей тоже сопряжена с определенными проблемами (придется разрывать улицы или прикреплять их к телеграфным столбам и т. д.).

Лазерное телевидение, однако, идеально подходит для космоса, где корабль будет связываться с другим кораблем или космической станцией через межпланетное пространство — каждый корабль сможет иметь собственный канал связи. Должно пройти немало времени, прежде чем в космосе станет толпиться больше ста миллионов наших кораблей, так что тесноты не предвидится. И потом, даже если у вас заполнится весь диапазон видимого света, ультрафиолетовая часть спектра вместит еще примерно шесть миллиардов каналов.

Конечно, есть еще одна проблема...

Сейчас когда я смотрю у себя дома телевизор, то могу выбирать из ограниченного количества каналов, которые у меня принимаются достаточно четко. Однако даже при таком умеренном количестве телемагнаты ухитряются подсунуть мне массу чепухи.

Представляете себе, что сделали бы умные головы нашей индустрии развлечений, если бы вдруг в их распоряжении оказалось сто миллионов каналов, в которые они могли бы сливать невообразимое количество глупостей?

Может быть, стоит остановиться на достигнутом?

Часть третья

ХИМИЯ

Глава 11
МЕДЛЕННОЕ ГОРЕНИЕ

Я уже много лет являюсь заядлым поклонником сэра Исаака Ньютона. Ведь можно привести немало доводов в пользу того, что он был величайшим ученым за всю историю человечества.

К тому же меня ничуть не огорчает, что его звали Исааком, то есть в англоязычном варианте Айзеком. Конечно, меня назвали не в его честь, а в честь моего деда, однако принцип не меняется: у нас с ним есть нечто общее. И к тому же пригород Бостона, в котором я живу, носит название Ньютон: как вам это?

Так что вы видите: у меня масса причин быть поклонником Исаака Ньютона, и потому мне больно признаваться, что в блестящем образе, который он собой представляет, имеются недостатки. В физике и астрономии он был непревзойденным гением. В математике он был выдающимся первооткрывателем. Однако химиком он оказался просто никудышным. Он зря потратил время в бесплодных попытках создать золото, собирая рецепты по всей Европе, проверяя каждый — и постоянно разочаровываясь.

Это наглядно показывает, что Ньютон оказался на переломной точке истории естественных наук. В 80-х годах XVII века, когда он провозгласил свои законы движения и теорию гравитации, с рождения современной физики (благодаря Галилею) прошло всего одно столетие, а до рождения современной химии (благодаря Лавуазье) оставался еще один век.

Историю рождения физики рассказывали многократно. Мы все знаем (или должны были бы знать) об экспериментах Галилея с падающими телами, которые решительно перечеркнули Аристотелеву физику и придали науке ее современную форму. В популярных легендах это сконцентрировано в одном-единственном опыте — бросании тяжелого и легкого шаров с падающей Пизанской башни, когда наблюдался их одновременный удар о землю. (На самом деле точно известно, что Галилей этого опыта не проводил.)

С другой стороны, рождение химии не ознаменовалось каким-то ключевым экспериментом. Не существует химического эквивалента бросанию тяжестей с падающей Пизанской башни — какого-то одного классического подвига, который был бы прославлен на все времена как разрушение старого и начало нового. По крайней мере, я не обнаружил его в прочитанных мною книгах на эту тему — ни одного эксперимента, который обозначался бы как «тот самый».

Но мне кажется, что я такой нашел. И думаю, что смогу убедительно доказать существование одного простого эксперимента, который разрушил старую химию и положил начало новой. Он не менее впечатляющ и убедителен, хотя, возможно, и не настолько красив, как опыт на падающей Пизанской башне, если не считать того, что:

1) решающий химический эксперимент действительно был поставлен, а не является легендой, и 2) в нем участвовал безумный ученый, что должно вызвать приятную ностальгию у всех истинных поклонников научной фантастики.

Итак, о любезный читатель, с вашего разрешения (или, если уж не то пошло, и без него) я расскажу историю рождения Современной Химии, какой я ее вижу.

Во времена Ньютона теория химии во многом продолжала базироваться на том, что за два тысячелетия до этого придумали греческие философы. Четыре «мировые стихии» (то есть основные вещества, из которых состоит Вселенная) — это земля, вода, воздух и огонь.

Греческие философы считали, что реальные объекты состоят из четырех стихий, присутствующих в определенных соотношениях. Тогда нетрудно представить в принципе, что стихии одного объекта можно разделить, а затем соединить снова, в другой пропорции, получив новый объект иного рода. Так можно превратить один металл в другой (если бы только удалось определить нужную процедуру), и, в частности, — свинец в золото.

В течение примерно полутора тысяч лет алхимики пытались найти нужный рецепт для такой «трансмутации». В процессе этого арабы создали теорию, согласно которой у различных твердых тел, с коими они работали, имелись два особых начала. Существовало металлическое начало — ртуть и горючее начало — сера.

Это не помогло им получить золото, и ко времени жизни Ньютона химия отчаянно нуждалась в новых идеях. Более того, новые идеи, которые появлялись, должны были относиться к горению. Уголь начал активно использоваться в качестве топлива. Люди начали экспериментировать с паром, получающимся за счет тепла от сгорающего топлива. В целом вопрос горения носился в воздухе и был в 1700 году таким же захватывающе интересным, каким стало электричество в 1800-м, радиоактивность в 1900-м или ракеты в 1950-м.

И тут на сцену вышел немецкий ученый, которого звали Георг Эрнст Шталь. Когда ему еще не исполнилось тридцати, он получил место придворного лекаря герцога Веймарского. Позже ему предстояло быть врачом еще более высокопоставленного человека — прусского короля Фридриха-Вильгельма I. Лекции по медицине, которые Шталь читал в университете города Галле, были знамениты и собирали много слушателей.

В 1700 году этот человек выдвинул теорию горения, которая казалась разумнее всех предшествовавших построеий. Он во многом базировался на алхимии — и, в частности, на горючем начале, сере. Он дал этому началу новое имя и подробнее описал его поведение.

Это начало он назвал «флогистон», от греческого слова, означающего «поджечь», поскольку считал, что все горючие объекты содержат флогистон, который и позволяет им гореть.

По словам Шталя, в процессе горения материал терял свой флогистон, который изливался в воздух и принимался им. То, что оставалось после горения, было полностью лишено флогистона и больше не могло гореть. Например, дерево и уголь богаты флогистоном, а в остававшейся после них золе флогистона нет вовсе.

Главным вкладом Шталя в химическое мышление было предположение, что процесс окисления металлов в принципе аналогичен процессу горения дерева. Металл, такой как железо, богат флогистоном. При коррозии он отдает флогистон воздуху, а остается только ржавчина.

Значит, основное различие между сжиганием дерева и ржавлением железа состоит всего лишь в скорости. Дерево теряет флогистон так стремительно, что скорость его утечки делает его видимым в форме пламени. Железо теряет флогистон так медленно, что этот процесс невидим. Горение, с точки зрения Шталя, является быстрым ржавлением, а ржавление — медленным горением.

В этом Шталь был совершенно прав, но ему не отдают должное. Изучающих химию чуть ли не первым делом учат смеяться над теорией флогистона, так что Шталя либо забывают, либо осуждают, а я считаю это несправедливым.

На самом деле теория флогистона объясняла очень многое из того, что до того оставалось необъяснимым, — прежде всего, принципы металлургии. Например, в течение тысячелетий было известно, что, если металлическую руду сильно нагреть в контакте с горящим деревом или древесным углем, можно получить свободный металл. А вот *почему* это происходит, никто ответить не мог.

То есть — до Шталя. А по теории флогистона легко понять, что металлическая руда — это вид природной ржавчины, которая совершенно свободна от флогистона и потому не проявляет свойств металла. При нагревании в присутствии богатого флогистоном древесного угля флогистон переходит из угля в руду. Приобретая флогистон, руда превращается в металл. А теряющий флогистон древесный уголь становится золой.

Ну не славно ли?

К сожалению, у этой теории был один большой изъян. Ржавея, металл набирал вес! Один фунт железа давал примерно полтора фунта ржавчины. Если превращение было результатом потери флогистона, а не приобретением чего-то, то откуда появлялся лишний вес?

Некоторые химики беспокоились из-за этого и пытались объяснить, что флогистон имеет отрицательный вес! Вместо того чтобы притягиваться гравитацией, флогистон отталкивается левитацией. Тогда можно посчитать, что фунт железа содержит минус полфунта флогистона, а когда флогистон уходит, то получавшаяся в результате ржавчина весит полтора фунта.

Это предположение было принято без всякого энтузиазма. Во-первых, никаких примеров левитации помимо флогистона в природе не обнаруживалось, а во-вторых, когда горело дерево, оно теряло вес. Оставшаяся зола была намного легче исходного дерева. Если дерево потеряло флогистон, а флогистон оказывал силу левитации, то почему зола не была тяжелее дерева, подобно тому как ржавчина тяжелее железа?

На это ответа не было, и обычный химик того времени просто пожимал плечами. В конце концов, в химии не существовало традиции точных измерений. В течение тысячелетий люди работали в химической промышленности на основе искусства, а не на основе точной науки. Алхимики занимались исключительно описательными наблюдениями. Они отмечали выпадение осадка, испускание паров или изменение цвета — но такие вещи, как вес и объем, не учитывались.

В течение двух поколений ситуация не менялась, а затем, в 70-х годах XVIII века, произошло сразу несколько важных событий.

Во-первых, химики начали интересоваться воздухом.

Для древних греков воздух был стихией, единой материей. Однако в начале 1770-х годов шотландский химик Джозеф Блэк зажег свечу в закрытом сосуде с воздухом — и обнаружил, что в конце концов свеча гаснет. Когда это происходило, в сосуде еще оставалось много воздуха, — так *почему* она гасла?

Он занялся другими вопросами, а эту задачу перепоручил своему ученику, которого звали Дэниэль Резерфорд (между прочим, этот Резерфорд приходился дядей поэту и романисту сэру Вальтеру Скотту).

В 1772 году Резерфорд повторил эксперименты Блэка — и пошел дальше. Новые свечи, зажженные и помещенные в воздух, оставшийся после догорания первой свечи, моментально гасли. Мыши, помещенные в такой воздух, погибали.

Резерфорд проанализировал эти наблюдения с точки зрения теории флогистона. Когда свеча горела в ограниченном объеме воздуха, она отдавала флогистон воздуху, но похоже, что определенный объем воздуха мог вместить только некое количество флогистона — и не больше. Когда воздух наполнялся флогистоном, свеча гасла — и в таком воздухе гореть уже ничего не могло. Живое существо, которое в процессе дыхания постоянно отдает флогистон (еще со времен древних римлян существовали предположения, что дыхание аналогично горению), не могло делать это в воздухе, наполненном флогистоном, — и погибало. Резерфорд назвал этот удушающий газ флогистицированным воздухом.

Теперь действие переходит на юг Англии, где пастор унитарной церкви Джозеф Пристли заинтересовался наукой после встречи с американским ученым и государственным деятелем Бенджамином Франклином, состоявшейся в 1766 году.

Важное открытие Пристли стало результатом опытов с ртутью, проведенных в 1774 году. Он начал с того, что нагрел ртуть с помощью солнечного света, сфокусированного через большое увеличительное стекло. Под действием высокой температуры блестящая поверхность ртути покрывалась красноватым порошком. Пристли снял порошок и нагрел его до еще более высокой температуры. Порошок испарился, образовав два газа. Один из них оказался газообразной ртутью — в более холодной верхней части сосуда он сконденсировался в капельки ртути. Второй газ остался невидимым паром.

Но откуда Пристли узнал, что этот газ там был? Дело в том, что он обладал странными свойствами, которые были не похожи на свойства обычного воздуха. Тлеющая деревянная щепка, засунутая в емкость, где нагревался красный порошок от ртути, вспыхивала ярким пламенем. Пристли собрал испарения и обнаружил, что свеча горит в нем с неестественной яркостью, а мыши, помещенные в испарения, начинают весело прыгать. Он даже сам вдохнул немного этого газа и отметил, что почувствовал себя очень «легко и непринужденно».

Пристли истолковал все это в свете теории флогистона. При нагревании ртуть отдавала часть флогистона воздуху, становясь красным порошком, который не имел флогистона и мог считаться ртутной ржавчиной. Если он сильно нагревал эту ртутную ржавчину, она поглощала флогистон из воздуха и снова становилась ртутью. Тем временем воздух, находящийся рядом, терял свой флогистон и становился дефлогистицированным воздухом. Естественно, такой дефлогистицированный воздух необычайно жаждал флогистона. Он стремительно высасывал флогистон из тлеющей лучины, и скорость этой реакции проявлялась как вспышка пламени. По той же причине свечи горели ярче обычного, а мыши были более активными в этом дефлогистицированном воздухе по сравнению с воздухом обычным.

Казалось, что эксперименты Пристли и Резерфорда, объединенные между собой, демонстрировали, что воздух является единым материальным веществом, свойства которого могут меняться в зависимости от количества содержащейся в нем таинственной жидкости, флогистона.

Обычный воздух содержит некоторое количество флогистона, но не насыщен им. Он может получать флогистон, когда что-то горит в нем, или он может терять флогистон, когда нагретая в нем ржавчина становится металлом. Когда он приобретает максимально возможное количество флогистона, то больше не может поддерживать горение или жизнь и становится газом Резерфорда. Если он теряет весь содержащийся в нем флогистон, тогда он очень охотно поддерживает горение и обеспечивает жизнь, став газом Пристли.

Теперь мы переместимся еще дальше на юг. В Париж, где блестящий молодой химик Лавуазье усердно работает, поглощенный одной идеей: измерения в химии играют столь же важную роль, как и та, которую продемонстрировал для физики Галилей. Качественных наблюдений недостаточно — нужно переходить к количественным.

Например, когда вода, даже самая чистая, медленно упаривалась в стеклянном сосуде, обязательно оставался какой-то осадок. Алхимики часто это делали и указывали на этот осадок как на пример того, как стихия воды может быть превращена в другую стихию, землю (из этого они, конечно, заключали, что трансмутация возможна и что свинец можно превратить в золото).

Примерно в 1770 году Лавуазье решил повторить этот эксперимент, но на этот раз количественно. Он начал с того, что тщательно взвесил чистую фляжку и налил туда тщательно взвешенное количество воды. Затем он кипятил эту воду в специальных условиях, так что поднимающийся водяной пар охлаждался, снова конденсировался в воду и был вынужден снова стекать в продолжавшее кипеть содержимое фляжки. Он проделывал это в течение сто одного дня, тем самым дав воде достаточно времени, чтобы превратиться в землю. После этого он прекратил нагрев и дал всей воде остыть.

Действительно, когда вода охладилась, образовался осадок. Лавуазье вылил воду, отфильтровал осадок и взвесил то и другое раздельно. Вес воды совершенно не изменился. Тогда он взвесил фляжку. Фляжка потеряла в весе, и эта потеря веса оказалась в точности равна весу осадка. Вода не превратилась в землю: она просто растворила часть материала, из которого была изготовлена фляжка.

Так он продемонстрировал, что один вывод, сделанный на основе некого эксперимента, может смениться другим, гораздо более убедительным выводом, просто став количественным.

В более поздних экспериментах Лавуазье клал немного олова в сосуд, который после этого закрывал. Затем он тщательно взвешивал все это. А потом он нагревал сосуд. На олове образовывался белый налет. Было известно, что такой продукт коррозии неизменно тяжелее исходного металла, однако когда Лавуазье взвесил всю систему, то обнаружил, что вес ее совершенно не изменился. Если налет оказался тяжелее олова, то этот лишний вес должен был равняться точно такой же потере веса чего-то, находившегося внутри сосуда. Если бы вес терялся из содержавшегося там воздуха, то тогда в сосуде должен был возникнуть частичный вакуум. И действительно: когда Лавуазье открыл сосуд, туда ворвался воздух, и тогда вес системы увеличился. Увеличение оказалось равно лишнему весу налета.

В результате Лавуазье предположил следующее: горение (или коррозия) было вызвано не потерей флогистона, а соединением топлива или металла с воздухом. Флогистон не имел к этому никакого отношения. Флогистона просто не существует.

Слабым местом этого нового предположения поначалу было то, что не весь воздух был в этом задействован. Лавуазье обнаружил, что при горении свеча использовала примерно одну пятую воздуха. В оставшихся четырех пятых она гореть отказывалась.

Озарение пришло, когда Пристли посетил Францию и имел беседу с Лавуазье. Конечно! Лавуазье снова принялся работать. Если флогистона не существует, тогда воздух не станет менять свои свойства при получении или потере флогистона. Если кажется, будто существует два вида воздуха с различными свойствами, то это потому, что воздух содержит два различных вещества.

Та одна пятая воздуха, которую использовала горящая свеча, была дефлогистицированным воздухом Пристли, который Лавуазье теперь называл «оксигеном», что по-гречески значит «производящий кислоту», то есть «кислород». (Лавуазье решил, что кислород — обязательный компонент кислот. Это не так, но название теперь уже не изменят.) Что до оставшихся четырех пятых воздуха, той части, в которой свечи не горели, а мыши не могли жить, то это флогистицированный воздух Резерфорда, и Лавуазье назвал его «азотом», что по-гречески означало «безжизненный».

Итак, воздух, по теории Лавуазье, представлял собой одну пятую кислорода и четыре пятых азота. Горение и коррозия вызывались соединением материалов только с кислородом. Некоторые соединения (или оксиды, окислы), такие как двуокись углерода (углекислый газ), были парами и полностью уходили с места горения, вот почему уголь, дерево и свечи так сильно теряли в весе после сгорания. Другие окислы являлись твердыми веществами и оставались на месте, вот почему ржавчина была тяжелее железа — она становилась тяжелее за счет добавившегося кислорода.

Чтобы новая теория сменила старую, привычную, новая должна оказаться *очевидно* лучше, а теория кислорода такой не была, по крайней мере вначале. Большинству химиков кислород представлялся просто флогистоном наоборот. Вместо того чтобы дерево теряло флогистон при горении, оно получало кислород. А железо, вместо того чтобы получить флогистон при выплавке, теряло кислород.

Лавуазье мог убедить других, только доказав, что вопрос веса является определяющим, потому что кислородная теория объясняла изменение веса при горении и коррозии, тогда как теория флогистона этого не делала — и сделать не могла.

Лавуазье попытался подчеркнуть важность веса и сделать этот вопрос основным для химии, заявляя, что изменения веса не происходит при любой химической реакции в *закрытой* системе, когда пары не могут уходить, а воздух из окружающий среды не может добавляться. Это — «закон сохранения массы». Иными словами, материю невозможно ни создать, ни уничтожить — а если это так, то теория флогистона ошибочна, потому что в ней добавочный вес ржавчины возникает из ниоткуда, то есть при этом создается материя.

К сожалению, поначалу Лавуазье не удавалось сделать закон сохранения массы незыблемым. В нем имелся изъян. Лавуазье пытался измерить количество кислорода, поглощаемое человеком при дыхании, и сопоставить его с выдыхаемым углекислым газом. Когда он это делал, всегда оказывалось, что часть кислорода исчезает. Выдыхаемый углекислый газ никогда не уравновешивал весь поглощенный кислород. А если закон сохранения массы не верен, тогда нет удобного оружия, которое убило бы теорию флогистона.

А теперь давайте вернемся в Англию и обратимся, как я обещал, к безумному ученому, Генри Кавендишу.

Видите ли, Кавендиш был патологически застенчивым и невероятно рассеянным. Он с огромным трудом мог разговаривать даже с одним человеком, а говорить с несколькими для него было практически невозможно. Хотя он регулярно посещал обеды Королевского научного общества, нарядившись в неопрятный старомодный костюм, он ел в полном молчании, устремив взгляд в тарелку.

Он был женоненавистником (или, может быть, просто испытывал к женщинам страх) до такой степени, что ему невыносимо было даже смотреть на них. Он общался со своей женской прислугой с помощью записок и всех тех, кто случайно показывался ему на глаза у него дома, моментально увольнял.

Он устроил в своем доме отдельный вход, чтобы приходить и уходить одному. В конце концов он даже настоял на том, чтобы умереть одному.

Он был родом из аристократической семьи и в сорок лет унаследовал большое состояние, но на это особого внимания не обратил. Деньги действительно его не интересовали, и слава — тоже. Многие из своих важных открытий он даже не потрудился опубликовать, так что о них стало известно только благодаря оставленным им записям.

Однако о некоторых открытиях он все-таки объявлял. В 1766 году, например, он открыл горючий газ, который получался при воздействии кислот на металлы. Это делалось и раньше, но Кавендиш первым исследовал этот газ систематически, так что честь открытия принадлежит ему.

У этого газа Кавендиш нашел одну особенность: он был чрезвычайно легким — гораздо легче воздуха, легче любого материального объекта, который был известен на тот момент (или был открыт с тех пор). Помня о «левитации», которую некоторые считали одним из свойств флогистона, Кавендиш заподозрил, что натолкнулся на нечто такое, что состояло по большей части — или даже полностью — из флогистона. Возможно, он получил сам флогистон.

В конце концов, когда газ выходил из металла под действием кислот, металл образовывал окисел с поразительной быстротой. Более того, этот газ был очень горючим — просто-таки взрывоопасным, а ведь именно этого и следовало ожидать от флогистона.

Когда в течение следующих десяти лет Резерфорд изолировал свой флогистицированный воздух, а Пристли — дефлогистицированный воздух, Кавендишу пришло в голову, что он может провести решающий эксперимент. Он может добавить свой флогистон к образцу дефлогистицированного воздуха и превратить его сначала в обычный воздух, а затем — во флогистицированный воздух. Если он это сделает, то получит убедительное доказательство того, что его горючий газ действительно является флогистоном и, более того, это станет общим доказательством истинности теории флогистона.

И вот, в 1781 году Кавендиш провел тот самый решающий эксперимент химии — он был предельно простым. Ученый просто залил металл кислотой таким образом, чтобы струя его флогистона уходила в стеклянную трубку. Эту струю флогистона можно было поджечь с помощью искры и дать ей сгореть внутри сосуда, наполненного дефлогистицированным воздухом. Вот и все.

Но когда он это сделал, то, к своему глубокому изумлению, обнаружил, что у него вовсе не получился флогистицированный воздух. Вместо этого внутренние стенки сосуда усеивали капельки жидкости, которая выглядела как вода, напоминала воду вкусом и на ощупь, имела все химические свойства воды — и, следовательно, *была* водой.

Кавендиш вовсе не доказал теорию флогистона. На самом деле — как это сразу же понял Лавуазье — эксперимент Кавендиша одним махом прикончил флогистон.

Как только Лавуазье узнал о работе Кавендиша, он ухватился за нее с восторженным воплем. Он повторил этот эксперимент, несколько его усовершенствовав, и назвал газ Кавендиша «гидрогеном», что по-гречески означает «порождающий воду» — то есть «водород».

И вот что сделал этот один-единственный простой эксперимент Кавендиша.

1. Он доказал, что вода — это оксид: оксид водорода. Это стало последним, решающим ударом по теории «четырех стихий» древних греков, потому что вода оказалась не основной субстанцией.

2. Он развеял заблуждение, в результате которого воздух считался единым веществом со свойствами, изменяющимися в соответствии с содержанием в нем флогистона. Если бы это было так, тогда водород плюс кислород давали бы азот (чего, по правде говоря, и ожидал Кавендиш, который, однако, пользовался терминологией XVIII века и говорил о флогистицированном воздухе, дефлогистицированном воздухе и так далее). Но если воздух — это не одно вещество, тогда единственным способом объяснить эксперименты 1770-х годов было предположение, что он представляет собой смесь двух веществ.

3. Лавуазье понял, что продукты питания, подвергающиеся горению в организме, содержали как углерод, так и водород. Тогда, в свете экспериментов Кавендиша, не следовало удивляться тому, что углекислого газа, выделяемого организмом, меньше, чем соответствовало бы поглощенному кислороду. Часть кислорода уходила на соединение с водородом, образуя воду, а выдыхаемый воздух был богат не только углекислым газом, но и водой. Очевидный изъян закона сохранения массы был устранен. Тем самым была доказана важность количественных измерений в химии — и с тех пор она сомнению не подвергалась.

Итак, коротко говоря, вся современная химия прямо и безошибочно, словно стрела к луку, восходит к горящей струе водорода в опыте Кавендиша.

Однако к этой истории есть иронический постскриптум. У достойного во всех остальных отношениях Лавуазье был один недостаток — склонность к захвату заслуг, которые ему не принадлежали. Например, выдвигая свою теорию горения, он ни разу не упомянул об экспериментах Пристли и ничем не показал, что обсуждал их с самим Пристли. На самом деле он попытался создать впечатление, будто он сам и открыл кислород. Точно так же, повторяя эксперимент Кавендиша с горящим водородом, он попытался создать впечатление — не говоря об этом прямо, — что идея этого эксперимента принадлежала ему самому.

Лавуазье эти шуточки не прошли, но потомки простили ему все его тщеславие, потому что того, что он действительно сделал (включая и много других вещей, о которых я здесь не упоминаю), хватило бы на сотню обычных химиков.

Однако очень вероятно, что ни Пристли, ни Кавендиш в результате этого не испытывали к Лавуазье особого расположения. По крайней мере, они отказались принять новую химию Лавуазье. Оба ученых не пожелали отказаться от флогистона и до конца жизни оставались упрямыми поклонниками старой химии.

И, полагаю, это еще раз доказывает, что ученые — тоже люди. Как металлы, с которыми они работают, они могут испытывать результаты медленного горения.

Глава 12

ВЫ ТОЖЕ МОЖЕТЕ ГОВОРИТЬ НА ГЭЛЬСКОМ

Трудно доказать непосвященному, что вы — химик. По крайней мере, если вы химик вроде меня (исключительно теоретически).

Столкнувшись с каким-то пятном на одежде, оставленным непонятной смесью, я совершенно беспомощен. Я говорю: «А в химчистку обращаться не пробовали?» — и мои интонации моментально лишают окружающих всяких иллюзий. Я не могу посмотреть на пасту сомнительного состава и, просто понюхав ее, сказать, на что она годится. И я понятия не имею, что может входить в состав лекарства, определенного только коммерческим названием.

Короче, очень скоро люди начинают выразительно выгибать брови, многозначительно улыбаться и хрипло перешептываться: «Тоже мне химик! Интересно, в какой дыре он учился?»

Остается только выжидать. Рано или поздно на какой-нибудь коробке с хлопьями для завтрака, или коробочке с пилюлями, или бутылочке с лосьоном появится название химического соединения, состоящее из восемнадцати слогов. Тогда, дождавшись секундной тишины, я небрежно брошу: «А, конечно!» — и оттараторю его, словно из пулемета, так, что все, кто находится на расстоянии ближайшего километра, будут повергнуты в полное изумление.

Потому что, видите ли, каким бы беспомощным я ни был в практических аспектах химии, я бегло говорю на ее языке.

Но, увы: я должен сделать одно признание. Говорить по-химически несложно. Это только кажется трудным, потому что органическая химия (та область химии, которая обладает самым богатым запасом зубодробительных названий) в XIX веке была практически монополией Германии. Немцы по какой-то причине, известной только им самим, сращивают слова вместе, уничтожая все следы швов между ними. То, что мы выразили бы с помощью словосочетания или фразы, они рассматривают как одно бесконечное слово. Они проделали это с названиями органических соединений, а остальные языки рабски переняли это, почти ничего не изменяя.

Итак, именно поэтому вы можете наткнуться на какое-то совершенно добропорядочное соединение, которое, казалось бы, просто лежало и никого не трогало, и обнаружить, что оно имеет название вроде парадиметиламинобензальдегид (и это еще довольно короткое название).

Простому человеку, привыкшему к словам пристойного размера, это скопление букв кажется мерзким и раздражающим, но на самом деле, если взяться за него с начала и постепенно продвигаться к концу, все окажется не так уж плохо. Произносите его так: ПА-ра-ди-МЕ-тил-а-МИ-но-бен-ЗАЛЬ-де-гид. Если вы поставите ударения на выделенных слогах, то увидите, что спустя какое-то время сможете произнести его быстро и без труда — и произведете на своих друзей немалое впечатление.

Более того, теперь, когда вы произнесли это слово, вы сможете оценить то, что произошло как-то со мной. Несколько лет назад меня познакомили с неким соединением, потому что, будучи растворенным в соляной кислоте, оно может использоваться для определения соединения, называемого глюкозамин, а именно это мне в тот момент очень хотелось сделать.

И вот я подошел к полке с реактивами и спросил кого-то: «У вас нет парадиметиламинобензальдегида?

А он ответил: «Вы хотели сказать ПА-ра-ди-МЕ-тил-а-МИ-но-бен-ЗАЛЬ-де-гида!» — И он пропел это на мотив «Ирландской прачки».

Если вам незнаком мотив «Ирландской прачки», то могу только сказать, что это — ирландская джига. Более того — это *та самая* ирландская джига. Если вы ее слышали, вы ее не забудете. Я позволю себе заявить, что если вы знаете всего одну ирландскую джигу или если вы попробуете придумать ирландскую джигу, то это будет именно она.

Это звучит так: ТРАМ-там-там-ТРАМ-там-там-ТРАМ-там-там-ТРАМ-там-там и так далее до бесконечности.

На мгновение я впал в шок, а потом, осознав всю чудовищность того, что кто-то пытается шутить, находясь рядом со мной, сказал: «Конечно! Это — четырехстопный дактиль!» — «Чего?» — вопросил он.

Я объяснил. Дактиль — это стихотворный размер из трех слогов, в котором первый — ударный, а следующие два — нет. И стихотворная строка является четырехстопным дактилем, если в нее входит четыре таких набора слогов. Все, что имеет ритм дактиля, можно напеть на мотив «Ирландской прачки». Например, на нее ложится практически вся «Эвангелина» Лонгфелло. И я быстро привел ему пример.

К этому моменту он уже уходил от меня, но я последовал за ним почти бегом. На самом деле, продолжил я, все, что написано ямбом, можно пропеть на мотив «Юморески» Дворжака. (Вы ее знаете: там-ТАМ-там-ТАМ-там-ТАМ-там-ТАМ и так далее без конца.)

Например, сказал я, на мотив «Юморески» можно пропеть монолог Порции из «Венецианского купца» Шекспира.

Тут он от меня улизнул и несколько дней не показывался на работе. Так ему и надо.

Однако я и сам не остался безнаказанным. Не думайте. Меня несколько недель преследовали эти четкие дактили. «ПА-ра-ди-МЕ-тил-а-МИ-но-бен-ЗАЛЬ-де-гид. ПА-ра-ди-МЕ-тил-а-МИ-но-...» — крутилось в моей голове снова и снова. У меня путались мысли, я плохо спал и впал в ворчливое полубезумие, потому что бродил, яростно бормоча эти слова себе под нос и пугая ни в чем не повинных близких.

Наконец этот демон был изгнан — и вот как это случилось. Я стоял у столика секретаря в приемной и ждал возможности назваться, чтобы получить возможность зайти и с кем-то поговорить. Это была очень симпатичная секретарша-ирландка, и поэтому я не спешил, поскольку увидеться мне предстояло с мужчиной, а я предпочитаю общество женщин. Так что я терпеливо ждал и улыбался ей — а потом ее ирландский говорок разбудил у меня в голове ту ритмичную мелодию, так что я тихо запел (сам не замечая, что делаю): «ПА-ра-ди-МЕ-тил-а-МИ-но-бен-ЗАЛЬ-де-гид», несколько раз повторив быстрые куплеты.

А секретарша захлопала в ладоши и радостно вскричала: «О боже, вы знаете ее на оригинальном языке, гэльском!»

Что мне оставалось делать? Я скромно улыбнулся и попросил ее представить меня как Айзека О'Азимова.

С того дня я больше ни разу это не пел, если не считать сегодняшнего рассказа. Навязчивая мелодия ушла, потому что, друзья, я-то знал, что не знаю по-гэльски ни слова.

Но что это за слоги, что звучат так по-гэльски? Давайте проследим их до их берлоги, один за другим, и постараемся понять их смысл, если это возможно. Может быть, вы тогда обнаружите, что тоже можете говорить на гэльском.

Давайте начнем с некого дерева Юго-Восточной Азии, которое растет преимущественно на Суматре и Яве. Оно источает красновато-коричневую смолу, которая при сжигании имеет приятный запах. В Средние века арабские торговцы проникли в Индийский океан и на различные его берега и привезли оттуда смолу, которую называли «благовонием яванским». Конечно, они делали это на арабском, так что эти слова звучали как «лубан джави».

Когда европейцы брали это вещество у арабских купцов, арабское название было для них просто сочетанием бессмысленных слогов. Первый слог «лу» показался им похожим на определенный артикль (у итальянцов это lo, у французов — le и la и так далее). Следовательно, европейские торговцы воспринимали это название как «банджави»

Это слово также не имело смысла, и его стали изменять дальше, превращая то в «бенджамин», то в «бенджойн», и, наконец, около 1650 года оно стало называться «бензойной смолой».

Около 1608 года из смолы было выделено кислое вещество, которое позже стало называться «бензойной кислотой». Затем, в 1834 году немецкий химик Эйльхард Мичерлих превратил бензойную кислоту (в молекуле которой содержалось два атома кислорода) в соединение, которое вообще не содержит кислородных атомов, а только атомы углерода и водорода. Он назвал новое соединение «бензин», так что первый его слог указывал на его происхождение.

Другой немецкий химик, Юстус Либих, отверг суффикс *-ин*, который, как он сказал, используется только для соединений, содержащих атомы азота, которых не было в «бензине» Мичерлиха. В этом Либих был прав. Однако он предложил суффикс *-ол*, восходящий к немецкому слову со значением «масло», потому что это соединение смешивалось с маслами, а не с водой. Однако это оказалось ничем не лучше *-ин*, потому что, как я вскоре объясню, суффикс *-ол* используется химиками для других целей. Однако это название прижилось, так что это вещество во многих языках по-прежнему называют «бензолом».

В 1845 году еще один немецкий химик (я ведь сказал вам, что в XIX веке у немцев была монополия на органическую химию), Август Вильгельм фон Гофман, предложил правильное название «бензен» (benzene), каковое и используется почти во всем мире, включая Соединенные Штаты. Я сказал «правильное», потому что окончание *-ен* регулярно используется для обозначения многих молекул, содержащих исключительно атомы водорода и углерода (углеводородов), и поэтому это — правильное окончание и правильное название.

Молекула бензола состоит из шести атомов углерода и шести атомов водорода. Атомы углерода расположены шестиугольником, и к каждому прикреплен один атом водорода. Если мы помним правильное строение, то можем удовлетвориться тем, что скажем: формула бензола — это C_6H_6.

Наверное, вы заметили, что во время долгого и сложного пути с острова Ява до молекулы бензола буквы из названия острова полностью потерялись. В слове «бензол» не осталось ни «я», ни «в», ни «а».

Тем не менее мы к чему-то пришли. Если вы вернетесь к соединению из «Ирландской прачки», парадиметиламинобензальдегиду, то вы не сможете не заметить слога «бенз». Теперь вы знаете, откуда он взялся.

Пройдя столь длинный путь, давайте пойдем в совсем другом направлении.

Женщины, в силу своей природы (трижды ура в их честь!), в течение многих веков подкрашивали свои ресницы, веки и уголки глаз, чтобы вышеупомянутые глаза казались большими, темными, таинственными и манящими. В древности они использовали для этого какой-нибудь темный краситель (часто это было соединение, содержащее сурьму), который растирали в мелкий порошок. Конечно, такой порошок должен был быть *очень* мелким, потому что комковатая подкраска выглядела бы отвратительно.

Арабы, с достойной восхищения прямотой, называли этот косметический порошок «тонко разделенной пудрой». Только, опять-таки, они говорили по-арабски, и это звучало как «ал-кухль», где «ал» было арабским определенным артиклем, вроде английского *the*.

Арабы были великими алхимиками раннего Средневековья, и, когда в позднем Средневековье за алхимию взялись европейцы, они усвоили много арабских терминов. Арабы начали употреблять ал-кухль как обозначение любого тонко помолотого порошка, уже не имея в виду его косметическое применение, — и то же самое стали делать европейцы. Однако они произносили это слово и записывали его самыми разными способами, которые завершились формой «алкоголь».

Дело в том, что алхимики никогда не чувствовали себя непринужденно в отношении газов или паров. Они не знали, как к ним относиться. Почему-то им казалось, что пары не вполне материальны в том смысле, в каком материальны жидкости и твердые вещества, и потому называли пары «душами» (спиритус). Их особенно впечатляли вещества, которые испускали «души» даже при нормальных температурах (а не только при нагревании), и самым важным из них в Средние века было вино. Так что алхимики называли летучий компонент вина «душой вина» (*spiritus vini*, спиритус вини, и потому мы сейчас называем напитки, содержащие алкоголь, спиртными).

И потом, когда какая-то жидкость испаряется, она словно истирается в порошок до полного уничтожения, и потому спирты получили также название «алкоголь», и алхимики говорили об «алкоголе вина». К XVII веку слово «алкоголь» уже обозначало пары, испускаемые вином.

В начале XIX века была определена молекулярная структура этих паров. Оказалось, что молекула состоит из двух атомов углерода и атома кислорода, выстроившихся в прямую линию. К первому атому углерода присоединялись три атома водорода, ко второму — два атома углерода, а к кислороду был присоединен один атом водорода. Таким образом, формулу можно было записать как CH_3CH_2OH.

Группа из водорода и кислорода (-OH) сокращенно называется гидроксильной группой. Химики начали открывать многочисленные соединения, в которых гидроксильная группа прикреплялась к атому углерода, как она это делает в винном спирте. Все эти соединения начали называться общим названием «спирты», и каждое получало свое собственное наименование.

Например, винный спирт содержит группу из двух атомов углерода, к которым прикреплено в общей сложности пять атомов водорода. Такое же сочетание было обнаружено в соединении, которое впервые было выделено в 1540 году. Это соединение испаряется еще быстрее, чем спирт, так что жидкость исчезает настолько стремительно, что, кажется, изо всех сил спешит подняться к себе домой, в небеса. Аристотель называл вещество, из которого состоят небеса, эфиром (см. главу 8), так что в 1730 году это легко испаряющееся вещество получило название *spiritus aethereus*, то есть «эфирный спирт». Впоследствии это было сокращено до «эфир».

Группа атомов «два углерода и пять водорода» из эфира (таких в каждой его молекуле эфира две), естественно, получила название этиловой группы, а так как винный спирт содержал эту группу, то примерно в 1850 году его начали называть этиловым спиртом или этиловым алкоголем.

И так получилось, что химики сочли возможным добавлять суффикс *-ол* к названию вещества, чтобы сказать, что оно является спиртом и содержит гидроксильную группу. Вот почему есть возражения против того, чтобы соединение C_6H_6 называлось бензолом: в нем нет гидроксильной группы и это не спирт, вот почему его следует называть «бензен», а не «бензол». Слышите?

От спирта можно отделить два атома водорода, оторвав один атом, который прикреплен к кислороду, и один из тех, что прикреплены к соседнему атому углерода. Вместо молекулы CH_3CH_2OH вы получите молекулу CH_3CHO.

Либих (тот человек, который предложил неудачное слово «бензол») сумел это сделать в 1835 году и стал первым, кому удалось получить CH_3CHO. Так как отделение атомов водорода является, естественно, «дегидрогенизацией», то полученное Либихом вещество было дегидрогенизированным алкоголем, и именно так он его назвал. Однако поскольку он использовал латынь, то это звучало как *alcohol dehydrogenatus*.

Это — довольно длинное название для простого соединения, и химики, будучи такими же людьми, как и все остальные (правда-правда!), стремятся сократить длинные названия, опуская слоги. Возьмите первый слог слова «алкоголь» и первые два слога от слова «дегидрогенизированный» — и вы получите «альдегид».

Так, группа из атомов углерода, водорода и кислорода (-CHO), которая образует столь заметную часть молекулы дегидрогенизированного алкоголя, стала называться альдегидной группой (как правило, современные химики называют ее карбонильной), а любое соединение, которое ее содержало, стало называться альдегидом.

Например, если мы вернемся к бензолу, C_6H_6 и представим себе, что у него отняли один из атомов водорода, а вместо него присоединили группу -CHO, то мы получим C_6H_5CHO, и это соединение будет «бензолальдегидом», или, если использовать сокращенную форму, которую обычно и применяют, то название станет звучать как «бензальдегид».

А теперь давайте еще раз вернемся в прошлое — к древним египтянам. Бог, который покровительствовал египетскому городу Фивы на Верхнем Ниле, назывался Аменом или Амоном. Когда Фивы обрели главенство над Египтом — что произошло во времена 18-й и 19-й династий, когда военная мощь Египта была самой большой, — Амон, естественно, обрел главенство над всеми египетскими богами. Ему посвящалось много храмов, включая и тот, что находился в неком оазисе в пустыне на севере Африки, далеко к западу от главного центра египетской культуры. Он был хорошо известен древним грекам, а позднее — римлянам, которые писали имя этого бога как Аммон.

В любой пустыне трудно бывает найти топливо. Одним из горючих материалов, имеющихся в Северной Африке, является помет верблюдов. В саже, образовывавшейся после сжигания верблюжьего помета и оседавшей на стенах и потолке этого храма, содержались белые кристаллы, походившие на соль. Римляне называли их *sal ammoniac*, то есть «соль Аммона». Это название, salammoniac, до сих пор используется фармацевтами наряду с названием «нашатырь», но химики называют это вещество хлоридом аммония.

В 1774 году английский химик Джозеф Пристли обнаружил, что при нагреве нашатыря образуются пары с резким запахом, а в 1782 году шведский химик Торберн Улаф Бергман предложил называть эти пары аммонием (сейчас это вещество называют аммиаком). Три года спустя французский химик Клод Луи Бертолле выяснил строение молекулы аммиака. Она состояла из атома азота, к которому присоединялись три атома водорода, так что ее можно записать как NH_3.

Время шло — и химики, изучавшие органические соединения (то есть вещества, в которых содержатся атомы углерода), обнаружили, что зачастую группа из атома азота и двух атомов водорода ($-NH_2$) присоединяется к одному из атомов углерода в молекуле органического вещества. Сходство такой комбинации с молекулой аммония было очевидным, и к 1860 году группа $-NH_2$ стала называться аминогруппой, чтобы подчеркнуть это сходство.

Итак, если мы вернемся к нашему бензальдегиду, C_6H_5CHO, и представим себе, что из исходного бензола удален второй атом водорода, а на его место поставлена аминогруппа, то у нас будет $C_6H_4(CHO)(NH_2)$, а это будет аминобензальдегид.

Ранее я говорил о винном спирте, CH_3CH_2OH, и сказал, что это — «этиловый спирт». Его также можно назвать (и часто называют) хлебным вином, потому что его получают путем ферментации зерна. Но, как я уже намекал, этот спирт — не единственный. Отнюдь не единственный. Уже в 1661 году английский химик Роберт Бойль обнаружил, что при нагревании дерева в отсутствие воздуха получаются пары, часть которых конденсируется в прозрачную жидкость.

В этой жидкости он обнаружил вещество, которое было довольно похоже на обычный спирт, но все-таки от него отличалось. (Оно испаряется быстрее обычного спирта и является гораздо более ядовитым, если называть два наиболее заметных отличия.) Этот новый спирт назвали древесным спиртом.

Однако для того, чтобы название звучало в науке достаточно внушительно, необходимо нечто греческое или латинское. По-гречески вино — это *methy*, а дерево — *yli*. Чтобы получить «вино из дерева» (то есть древесный спирт), склейте два греческих слова — и получите «метил». Первым это сделал шведский химик Йенс Якоб Берцелиус примерно в 1835 году, и с тех самых пор для химиков древесный спирт стал метиловым спиртом.

Формула метилового спирта была открыта в 1834 году французским химиком Жаном Баптистом Андре Дюма (не состоявшим в родстве со знаменитым романистом, насколько я знаю). Она оказалась более простой, чем формула этилового спирта, и содержала всего один атом углерода. Формула записывается как CH_3OH. По этой причине группа из одного атома углерода и трех атомов водорода ($-CH_3$) стала называться метиловой группой.

Французский химик Шарль Адольф Вурц (он родился в Эльзасе, вот почему фамилия у него немецкая) в 1849 году открыл, что один из двух атомов водорода в аминогруппе может замещаться метиловой группой, так что конечный продукт будет выглядеть так: $-NHCH_3$. Это, естественно, будет метиламиногруппой. Если метиловыми группами будут замещены оба атома водорода, то формула будет $-N(CH_3)_2$, и мы будем иметь диметиламиногруппу (префикс *ди-* произошел от греческого «дис», означающего «дважды»; другими словами, метиловая группа прибавлена к аминогруппе дважды).

Теперь мы можем вернуться в нашему аминобензальдегиду, $C_6H_4(CHO)(NH_2)$. Если вместо аминогруппы мы использовали бы диметиламиногруппу, то формула выглядела бы как $C_6H_4(CHO)(N(CH_3)_2)$, а название у нее будет диметиламинобензальдегид.

Давайте снова вспомним бензол. Его молекула является шестиугольником, состоящим из шести атомов углерода, к каждому из которых присоединен один атом водорода. Мы заменили один из атомов водорода на альдегидную группу, и еще один — на диметиламиногруппу, образовав диметиламинобензальдегид. Да, но какие именно атомы водорода мы заместили?

В идеально симметричном шестиугольнике, каким и является молекула бензола, два атома водорода можно выбрать только тремя способами. Вы можете взять водородные атомы двух соседних атомов углерода или водород у двух атомов углерода так, чтобы между ними оказалось одно нетронутое соединение углерода и водорода, или вы можете выбрать их так, чтобы между ними находилось два нетронутых соединения углерода и водорода.

Если вы пронумеруете атомы углерода в шестиугольнике, присвоив им числа с одного до шести, тогда в трех возможных сочетаниях будут участвовать атомы углерода 1, 2; 1, 3 или 1, 4 соответственно. Если вы самостоятельно нарисуете схему (а она достаточно простая), то убедитесь, что иных вариантов нет. Все разнообразные сочетания двух атомов углерода в шестиугольнике в конечном счете сводятся к одному из этих трех.

Химики создали специальное название для каждого сочетания. Комбинация 1,2 — это *орто-*, от греческого слова, означающего «прямой» или «правильный» — возможно, потому, что оно проще всего на вид, а то, что кажется простым, кажется и правильным.

Префикс *мета-* произошел от греческого слова, обозначающего «посередине», но имеющего и второе значение «следующий после». Таким образом, он подошел для сочетания 1,3. Вы замещаете первый водород, оставляете следующий нетронутым и замещаете «следующий после него».

Префикс *пара*— происходит от греческого «рядом» или «бок о бок». Если вы отметите углы 1 и 4 на шестиугольнике и повернете его так, чтобы 1 оказался слева, тогда 4 окажется справа. Они действительно находятся «бок о бок», так что «пара» используется для сочетания 1, 4.

Теперь мы знаем, каково положение вещей. Когда мы говорим «парадиметиламинобензальдегид», мы имеем в виду, что диметиламиногруппа и альдегидная группа находятся относительно друг друга на позициях 1, 4. Они расположены на противоположных сторонах бензольного кольца, так что мы можем записать формулу как $CHOC_6H_4N(CH_3)_2$.

Видите?

И теперь, когда вы выучили гэльский, то что, по-вашему, будет следующее?

1) альфа-ди-глюкозидо-бета-ди-фруктофуранозид,

2) 2,3-дегидро-3-оксобензизосульфоназол,

3) дельта-4-прегнен-17-альфа-21-диол-3,11,20-трион,

4) 3-(4-амино-2-метилпиримидил-5-метил)-4-метил-5-бета-гидроксиэтилтиазолиум хлорид гидрохлорид.

А на тот случай, если вы все еще не очень бойко владеете гэльским, я дам вам ответы. Это:

1) пищевой сахар,

2) сахарин,

3) кортизон,

4) витамин B_1.

Просто, правда?

Часть четвертая

БИОЛОГИЯ

Глава 13
ПОТЕРЯННОЕ ПОКОЛЕНИЕ

Какой бы идеальной ни казалась ситуация, в ней всегда существуют минусы. Например, с помощью хитроумных уловок мне удалось создать образ человека, обладающего всесторонними знаниями, — это я. Созданный образ плюс наличие гипнотического взгляда позволяют мне запугивать редакторов (редактор этой книги, понятно, и так всегда, является исключением).

Однако, добившись этого идеального положения вещей, я порой стал получать просьбы высказаться по какому-либо вопросу, который лежит далеко за пределами моей компетенции. Когда я в таких случаях начинаю возражать (очень слабо), дескать, ничего об этом не знаю, в ответ раздается добродушный смех, а потом меня хлопают по плечу и кто-нибудь объявляет: «Милый старина Азимов! Вечно он шутит!»

Ну что ж: я не могу допустить разрушения этого образа, иначе мне будет грозить голодная смерть. И я делаю то, что часто заменяет мне знания по какому-либо вопросу, — я жульничаю. Я начинаю говорить о том, о чем меня просили говорить, а потом незаметно подменяю предмет на тот, в котором я разбираюсь.

Например, однажды в июле я обнаружил, что стою перед аудиторией из ста пятидесяти специалистов в области «информационного поиска», поскольку согласился сделать основной доклад вечернего заседания. Написав слова «информационный поиск», я только что изложил вам весь объем знаний, которые я имею по данному вопросу. Доклад, который затем последовал, был сделан экспромтом (как делаются все мои доклады) и потому навсегда потерян. Однако далее последуют некие примерные отрывки из него.

Сейчас информационный поиск является волшебной формулой, означающей изучение средств, с помощью которых единожды найденное знание уже никогда больше не будет утеряно.

Сейчас очень много людей, работающих в сфере научных исследований, заняты тем, что прорубаются сквозь джунгли невежества. При этом фрагменты знаний, полученных во время этого процесса, оказываются настолько многочисленными и разнородными, что сохранение их в каком-то доступном виде действительно является проблемой.

Информация публикуется в мириадах журналов, переваривается и снова выплевывается в виде тысяч обзоров, измельчается до кашицы и суммируется во всевозможных рефератах, а затем спрессовывается до невидимости и записывается на милях микрофильмов. Общим результатом этого становится то, что некой иголке информации — даже самой важной и решающей, — найденной на секунду, постоянно грозит опасность потеряться — потеряться безвозвратно в ворохах и стогах сена, которыми завалены полки технических библиотек.

Спасение важных элементов знания, выхватывание их из пыли забвения и извлечение на дневной свет во всем их сиянии — вот цель информационного поиска. Библиотекари, ученые, компьютерщики —

все они объединяются, чтобы создать новые методы индексирования и ссылок, в надежде перевести упорядоченную информацию в колоссальную и безупречно надежную память компьютера, чтобы затем простым вводом кода извлечь все, что известно по какому-то интересующему нас вопросу.

Итак, надо надеяться, что устройства, созданные в результате прогресса современной науки, компенсируют неспособность человеческого ума уследить за прогрессом современной науки.

Однако в этом самокорректирующемся научном процессе остается некий изъян — изъян, который пока никто не смог исправить и который, возможно, вообще не поддается исправлению. Ведь мало дать ученому всю необходимую ему информацию. После того как информация получена, ученый должен обладать способностью посмотреть на нее — и увидеть ее важность.

Это может показаться простой вещью, этот взгляд на информацию и оценка ее важности, но это не так. На самом деле это, возможно, самая сложная вещь на свете. Могут потребоваться вся интуиция и творческие способности лучших умов мира, чтобы увидеть, как именно какой-то фрагмент мозаики может дополнить некую структуру и превратить бессмысленные джунгли фактов в плодотворную и прекрасную теорию.

И в этом процессе нельзя полагаться не только на машины — тут нельзя полагаться и на людей, за очень немногими исключениями.

Например, представьте себе некое основополагающее научное открытие, которое полностью переворачивает важную область науки и дает изящные ответы на ключевые вопросы, волновавшие ученых и философов в течение тысячелетий. И предположим также, что в этом открытии имеется всего один крупный изъян — одна слабость, которая грозит превратить это прекрасное открытие в ничто. Масса ученых отчаянно ищет способ избавиться от этого изъяна — и зрите: необходимая информация неожиданно найдена любителем и разработана до мельчайших деталей, так что великая основополагающая теория наконец-то завершена.

А теперь представьте себе, что эта информация, этот ключ, этот решающий элемент бережно передается в руки видного ученого того времени, который прилагал все усилия к тому, чтобы отыскать именно эти сведения. Теперь он их нашел — он их получил.

И что, как вы думаете, этот ученый сделает с этой информацией?

Гадать не нужно. То, что я только что описал, действительно произошло сто пятьдесят лет назад. И в реальной жизни ученый, отыскавший ключ, презрительно выбросил его и продолжил поиски (безрезультатные) того, что он уже имел и что не признал. И в течение тридцати четырех лет больше никто не мог найти этот выброшенный элемент!

Великая теория, о которой я упомянул, — это эволюция путем естественного отбора, выдвинутая английским натуралистом Чарльзом Дарвином. Он сделал это в 1859 году в книге «Происхождение видов», которая, несомненно, является самым важным научным трудом во всей истории наук о жизни.

Со времен древнегреческих философов всегда существовали ученые, которые изучали природу различных видов растений и животных и которые чувствовали (порой довольно смущенно), что между всеми этими видами имеется некая упорядоченная связь, что один вид мог возникнуть из другого, что у некоторых видов мог иметься общий предок.

Поначалу главной трудностью было то, что во всей истории человека такого эволюционного процесса не удавалось заметить, так что если он и имеется вообще, то должен идти чрезвычайно медленно. И пока человечество считало, что возраст Земли составляет всего несколько тысяч лет, эволюция оставалась невозможной идеей.

Однако в начале XIX века возникло и стало укрепляться убеждение, что возраст Земли составляет вовсе не несколько тысяч, а несколько миллионов лет — и тогда-то и «появилось» время для эволюции.

Но возникла иная проблема. *Почему* должна происходить эволюция? Какая сила заставила некое примитивное животное, похожее на антилопу, удлинить себе ноги и шею и превратиться в жирафа (который, несмотря на свою карикатурную форму, своей анатомией и физиологией доказывал свое родство с миром антилоп)? Или почему примитивное четырехкопытное существо не крупнее собаки стало от эры к эре увеличиваться и терять один палец за другим, пока не превратилось в крупное непарнокопытное животное, которое мы сегодня называем лошадью?

Первым человеком, который выдвинул предположение относительно этой причины, был французский натуралист Жан Баптист де Ламарк. В 1809 году он предположил, что животные менялись потому, что они намеренно пытались измениться. Так, древняя антилопа, которая ела листья деревьев, часто обнаруживала, что легко доступные листья уже съедены ей самой или ее собратьями. Поэтому она вытягивала шею и ноги, и даже язык, чтобы ухватить листья, которые находились чуть выше того места, до которого ей легко было достать. В результате всей жизни, проведенной в таких усилиях, напряженные части (как казалось

Ламарку) должны были стать чуть длиннее, так что потомство такого существа унаследует эту чуть увеличенную длину шеи и конечностей (это — доктрина «наследования приобретенных признаков»). Новое поколение повторит этот процесс, и очень медленно, с ходом времени антилопа превратится в длинноногого, длинношеего, длинноязыкого жирафа.

Эта теория имела два слабых места. Во-первых, не существовало фактов, которые показывали бы, что приобретенные признаки могут передаваться по наследству. На самом деле все факты, которые удавалось собрать биологам, доказывали как раз противоположное: что приобретенные признаки *не* наследуются.

Во-вторых, ламаркизм можно было признать для характеристик, которые возможно изменить с помощью сознательных усилий, но как насчет других признаков? У жирафа также появился новый признак в виде пятнистой шкуры, которая помогала ему сливаться с окружающей средой, где залитые солнцем листья, которыми он питался, отбрасывали пятна тени, перемежавшиеся пятнами света. Эта защитная окраска помогает жирафу скрываться от взглядов крупных хищников. Но как жирафу удалось приобрести эту особую и не похожую на антилоп окраску? Он ведь не мог попытаться стать пятнистым и поэтому становиться немного пятнистее с течением жизни, передавая эту дополнительную пятнистость своим детенышам!

На долю Дарвина выпал поиск более убедительного ответа. Он много лет ломал голову над эволюцией, пока ему не попалась книга под названием «Опыт о законе народонаселения» английского экономиста Томаса Роберта Мальтуса. В своей книге Мальтус указывал, что народонаселение увеличивается быстрее, чем источники пищи, и что, следовательно, население должно постоянно сокращаться — за счет голода, болезней, которые порождает недоедание, или войн, которые ведут конкурирующие группы людей, каждая из которых стремится захватить для себя большую долю ограниченного запаса продуктов, чем им отведена природой.

А если это верно в отношении людей, подумал Дарвин, то почему бы этому не распространяться на все живые существа на Земле? Каждый вид будет размножаться до тех пор, пока у него не закончатся запасы пищи, и каждый будет сокращаться за счет голода, болезней и деятельностью тех, для кого они являются пищей, пока не будет достигнуто равновесие между численностью данного вида и количеством его пищи.

Но когда численность особей вида сокращается, какие именно будут уничтожаться? Дарвин заключил, что в массе это будут те, которые хуже приспособлены в той жизни, которую они ведут. У вида, представители которого питаются за счет настигнутой добычи, первыми умрут от голода те, которые медленнее бегают. Если какой-то вид избегает опасности, прячась, то первыми будут съедены те, кто хуже умеет скрываться. Если все могут приобрести некого паразита, то первыми заболеют и умрут те, у кого хуже сопротивляемость.

Таким образом, слепые силы природы будут постоянно, поколение за поколением, устранять наименее хорошо приспособленных и сохранять более хорошо приспособленных.

Жираф не будет *стараться* удлинить себе ноги и шею, но те особи, которые рождаются с чуть более длинными ногами и шеей, лучше питаются и живут дольше — и будут иметь более многочисленное потомство, которое сможет унаследовать их особенности. В каждом поколении самые длинные ноги и шея будут выживать благодаря «естественному отбору», и врожденная длина (а не благоприобретенная) будет передаваться по наследству.

Опять же, жираф, родившийся с более пятнистой шкурой, чем обычно, вероятнее выживет, так что пятна со сменой поколений будут становиться все более заметными. Жирафу нет нужды стараться покрыться пятнами. Об этом позаботится естественный отбор.

И среди четырехкопытных существ, бывших предками современной лошади, в каждом поколении выживут самые крупные — как самые сильные и быстрые. И такие, у кого копыто прочнее (а потому механически более приспособлено к высокой скорости), будут выживать чаще. В итоге получится крупная лошадь с цельным копытом.

Теория Дарвина вызвала настоящий фурор, но самые громкие возражения были наименее важными с научной точки зрения. Конечно, эволюция путем естественного отбора оскорбляла религиозные чувства многих, поскольку, казалось, отрицала историю творения, которая содержится в первой главе книги Бытие. Эта оппозиция была самой заметной — и ее кульминацией стал «обезьяний процесс» над Скоупсом в Теннесси в 1924 году. Однако эта оппозиция не играла особой роли в сфере собственно науки.

Среди ученых, готовых принять принцип эволюции, оказалось немало тех, кто не хотел признать дарвиновский ее механизм. Естественный отбор был слепой, случайной силой, и для многих была отвратительной мысль, что появление венца природы, человека, — результат незрячей фортуны.

Однако уже через десять лет после публикации книги Дарвина было показано, что воздействие случайных сил объясняет некоторые тонкие моменты в физике и химии. Например, выяснилось, что все физико-химические свойства газов — результат беспорядочного движения молекул. Беспорядочность оказалась достойной уважения, и оппозиция Дарвину стала не такой сильной.

Однако оставалось одно возражение — настолько непреодолимое, что если бы оно устояло, то разрушило бы всю дарвиновскую теорию. Сторонникам теории оставалось только предполагать (и надеяться), что со временем будет найден хоть какой-то выход. Это возражение касалось того, как именно изменения — удлиненная шея, пятнистая шкура, более прочное копыто — сохранялись из поколения в поколение.

Дарвин указал на то, что вначале вариации появляются исключительно случайно. В каждой группе молодняка, в каждом помете, в каждой группе сеянцев имеются мелкие вариации: различия в размере, окраске и всяческих других характеристиках. Именно за эти случайные вариации берется естественный отбор.

Но как такие вариации передаются от поколения к поколению, сохраняясь достаточно долго, чтобы позволить чрезвычайно медленным процессам естественного отбора достичь необходимого результата? Нельзя рассчитывать на то, что самец жирафа с необычно длинной шеей обязательно спарится с самкой с необычно длинной шеей. Вполне возможно, что он спарится с самкой с обычной шеей, которая окажется рядом в тот момент, когда жираф будет готов к спариванию.

Точно так же крупный жеребец вполне может спариться с мелкой кобылой, или лев с большими клыками — с мелкозубой львицей, или сообразительная обезьяна — с глупой.

И что случится, если эти «неподходящие» существа спарятся? Дарвин увлекался разведением голубей и знал, что бывает при скрещивании их разных пород. Если уж на то пошло, все знают, что случается, когда домашние животные чистокровной породы имеют возможность спариваться безнадзорно. В результате получаются помеси — существа, в которых особые характеристики предков сливаются, образуя нерасторжимую смесь. Яркое белое и черное превращается в грязно-серое.

Итак, если случайные силы вызывают вариации при рождении, другие случайные силы позаботятся о том, чтобы из-за неупорядоченного спаривания эти вариации сливались и смешивались, уничтожаясь до того, как начнет действовать естественный отбор.

Так что теория естественного отбора была просто неубедительной в свете знаний, которые существовали во времена Дарвина. Казалось, что, несмотря на действие естественного отбора, виды должны оставаться усредненными и не меняться от эры к эре. Значит, эволюции быть не могло — и тем не менее казалось очевидным, что она все-таки была.

Необходимо было найти какой-то выход из этой дилеммы, какой-то способ избавиться от этого парадокса. Теорию эволюции путем естественного отбора нужно было снабдить механизмом, который продвигал бы ее вперед.

Одним из тех, кто был сосредоточен на поисках такого движущего механизма, был швейцарский ботаник Карл Вильгельм фон Негели, профессор Мюнхенского университета. Он был наследником немецкой школы биологов XIX века, называвших себя «натурфилософами».

Натурфилософы объединялись в группу, веривщую в мистическую роль индивидуума и в существование туманных и неопределенных сил, относящихся ко всему живому. Немецкий язык особенно хорошо подходит для стиля ученой профессорской прозы, которая напоминает шифр, не имеющий ключа, и натурфилософы овладели этим языком идеально. Если туманность принимать за глубину, тогда они были исключительно глубокими.

Фон Негели был совершенно компетентным ботаником, пока ограничивался проведением наблюдений и их описанием. Однако когда он теоретизировал и пытался построить громадные чертоги науки, то не создавал ничего достойного внимания. Его книги были такими же громкими, как барабаны, и такими же пустыми.

Чтобы найти движущую силу дарвиновской теории, он пошел дальше старика Ламарка и постулировал существование таинственной внутренней силы, толкающей вид вперед, к изменению.

Таким образом, фон Негели мог забыть о беспорядочном спаривании и смешивании характеристик, к которому оно приводит. На самом деле он мог забыть вообще обо всех конкретных фактах и реальности, поскольку разрешил вопрос о движущей силе простым предположением, что таковая существует, и даже не заметил, что его аргументы идут по замкнутому кругу.

Он утверждал, что, если представители какого-то вида начали увеличиваться в размерах от поколения к поколению, бессознательное стремление этого вида заставит его представителей продолжать увеличиваться в размерах. *Оно делает это, потому что делает это, потому что делает это, потому что делает это.* Фактически, по фон Негели, этот процесс, который он назвал «ортогенезом», заставит вид продолжать увеличиваться в размере даже после того, как это перестанет приносить пользу, так что чрезмерные размеры в конце концов станут этому виду вредить и приведут его к вымиранию.

(Не стоит и говорить о том, что ни один биолог уже давно не принимает ортогенез всерьез.)

Тем временем в тогдашней Австро-Венгрии в городе Брюнне (город Брно в Чехии) жил монах-августинец, которого звали Грегор Иоганн Мендель. Он был очень далек от бурных споров, потрясавших в тот момент мир биологии. Помимо религиозной жизни у него было два интереса: ботаника и статистика. И с похвальной экономией он объединил их, выращивая растения гороха в монастырском саду и пересчитывая разновидности, которые у него получались.

В выращивании гороха есть определенные преимущества. Во-первых, это — послушные создания, которые не сопротивляются вмешательству человека. Мендель мог опылять их в любом сочетании, какое ему приходило в голову, и тем самым легко контролировать их спаривание. Во-вторых, он мог заставить растение гороха опылить самого себя и упростить дело, работая с одним-единственным родителем, а не с двумя. И наконец, он мог изучать индивидуальные признаки, которые были гораздо более простыми, потому очевиднее, чем, скажем, у домашних животных, таких как собаки или рогатый скот.

Скрещивая свои растения в течение 1860-х годов, Мендель столкнулся с рядом любопытнейших явлений, которые оказались чрезвычайно важными. Я упомяну два из них.

Во-первых, характерные признаки не смешивались и не сливались. Черное и белое не давало серого. Когда он скрещивал горох, дававший зеленые горошины, с горохом, дававшим желтые горошины, то оказывалось, что получившиеся в результате растения давали желтые горошины. Горошины не оказывались частью желтыми, а частью зелеными и не становились желтовато-зелеными. Они все были желтыми — такими же желтыми, как если бы зеленого родителя и не было вовсе.

Во-вторых, Мендель обнаружил, что, хотя зеленые горошины с очевидностью исчезли во втором поколении, где все растения давали желтые горошины, они снова появлялись в третьем поколении. В этом поколении некоторые из растений с желтыми горошинами давали как семена, из которых вырастали растения с зелеными горошинами, так и семена, из которых вырастали растения с желтыми горошинами.

Заключения, сделанные из этих фактов, а также из других, выявленных Менделем, стали впоследствии называть менделевскими законами наследственности, и за прошедшие полтора века не было причин подвергать сомнению их основы. Они остались такими, какими их открыл Мендель.

И законы Менделя распространяются не только на горох и даже не ограничиваются растительным миром. Если создается впечатление, что при спаривании собак происходит смешивание признаков — то только потому, что тут вовлечено очень большое количество разнообразных признаков. Помет метисов унаследует часть признаков от одного родителя, а часть — от другого, так что *в целом* будет казаться, будто они представляют собой нечто среднее. Но каждый отдельный признак наследуется целиком, так или иначе.

Менделевские законы наследственности оказались именно тем движущим механизмом, который был нужен дарвиновской теории. Если нужный признак возникнет, то он будет сохраняться поколение за поколением, оставаясь все такой же цельной, неразбавленной силой, какой были желтые горошины. Даже если покажется, что этот признак на какое-то время исчез, как это произошло с зелеными горошинами, — он не умер, а просто скрылся и со временем появится снова.

Далее будет рассказано о причинах, по которым это не понимали в течение десятилетий, но факты остаются неопровержимыми. При бессистемном скрещивании признаки не сливаются вместе, образуя некое неразличимое среднее: наоборот, даже самое беспорядочное скрещивание не влияет на проявление различных признаков — и именно на эти признаки естественный отбор оказывает свое воздействие.

Но после того как Мендель совершил свое важнейшее открытие (а сам он никоим образом не догадывался о его основополагающей роли, поскольку не был эволюционистом), что он мог с ним сделать?

Поскольку он был всего лишь никому не известным любителем, он решил, что лучше всего было бы отправить свои результаты какому-нибудь хорошо известному ботанику, проживающему поблизости. Если они этому ботанику понравятся, то он сможет поделиться с автором статьи своим именем и престижем и привлечь к ней внимание мирового сообщества. И Мендель отправил статью фон Негели.

Фон Негели получил ключевое открытие. Он стал (или, по крайней мере, мог бы стать) самым удачливым биологом своего времени. Дарвин знал об эволюции за счет естественного отбора, но он не знал о менделевских законах наследственности. Мендель знал о законах наследственности, но его не интересовала эволюция путем естественного отбора.

Только фон Негели из всех ученых мира оказался в ситуации, когда он мог рассмотреть обе теории, свести их воедино и создать первую по-настоящему убедительную теорию эволюции. Однако фон Негели этого не сделал. Вместо этого он прочел статью Менделя с крайним презрением. Дело было не только в том, что Мендель был никому не известным человеком и любителем: статья его была полна цифр и их соотношений, а в то время биологи совершенно не обращались к математике.

Более того, для натурфилософов — таких как фон Негели — самым важным делом биолога было создание многословных и малопонятных теорий. Удовлетворяться пересчитыванием горошин казалось пустым занятием, которое в лучшем случае было ребячеством, а в худшем — идиотизмом.

Фон Негели вернул статью Менделю с кратким холодным комментарием в том духе, что ее содержание неразумно. Бедный Мендель был раздавлен. Он опубликовал статью в 1866 году в «Работах Общества естественной истории Брюнна» (вполне респектабельном периодическом издании, но не очень известном и малочитаемом), и там она и осталась, не привлекая внимания и не получив признания.

Мендель больше не вернулся к ботаническим работам. Отчасти это было связано с увеличением его размеров. Он стал настолько толстым, что ему было трудно нагибаться, чтобы ухаживать за растениями. Кроме того, он стал настоятелем монастыря и был очень занят сложным спором с австрийским правительством по вопросам налогообложения. Однако презрительный отзыв фон Негели наверняка способствовал тому, чтобы отбить у него интерес к ботанике.

Мендель умер в 1884 году, не подозревая о том, что в будущем появится такое понятие как «менделевские законы». Дарвин умер в 1882 году, так и не узнав о том, что главный изъян его теории устранен. А фон Негели умер в 1891 году, так и не догадываясь о том, что держал в руке бесценную жемчужину и выбросил ее.

Однако как раз тогда, когда умирал фон Негели, голландский ботаник Хуго де Фриз работал над идеей о том, что эволюция идет рывками, за счет резких изменений, называемых «мутациями».

Де Фриз обнаружил растения, у которых новые разновидности появлялись вроде бы ниоткуда, и заметил, что эти новые разновидности сохраняются на протяжении поколений, не сливаясь с другими, более обычными разновидностями, с которыми они могли бы скрещиваться.

К 1900 году он разработал те же законы наследственности, которые открыл и Мендель. Независимо друг от друга и от де Фриза в том же году к таким же выводам пришли еще два ботаника: немец Карл Корренс и австриец Эрик Чермак.

Все три ботаника, прежде чем публиковать свои статьи, просмотрели предшествующие работы по этому вопросу (им следовало бы с этого начать), и все трое нашли статью Менделя, погребенную в малозаметном журнале.

И — это одна из самых славных страниц истории науки — все трое ученых, самостоятельно сделавшие одно из величайших и важнейших открытий в биологии, моментально отказались от мысли присвоить себе славу. Каждый опубликовал свою работу всего лишь в форме подтверждения открытия, сделанного неизвестным монахом поколением раньше.

Это было немалой жертвой, как видно по результатам, которые за этим последовали. Мендель, благодаря этому тройному отказу от приоритета, обрел бессмертную славу в истории науки, и законы наследования носят его имя. Де Фриз известен гораздо меньше — как автор теории мутаций, а что до Корренса и Чермака, то о них практически ничего не знают даже специалисты.

Мы живем во время, когда самой живой и увлекательной областью биологии стала генетика — та отрасль науки, которая занимается наследованием признаков. Основанная на открытиях Менделя, она расширилась, превратившись в область, которая частично захватывает физику и химию и в настоящее время составляет немалую часть новой науки, молекулярной биологии.

Молекулярная биология — наука, которая обещает, наконец, решить некоторые самые интересные проблемы жизни, и исследования в этой области идут настолько быстро, что никто не решается предсказывать, где она окажется уже через десять лет.

Так где бы мы сейчас были, если бы не произошло прискорбной потери усилий целого поколения ученых — между Менделем и де Фризом? Что, если бы в течение этих тридцати четырех лет ученые уже обдумывали бы проблемы генетики и изучали их вместо того, чтобы тратить свое время на ортогенез и тому подобную чепуху?

Конечно, технологии XIX века не позволили бы им продвинуться за это время очень далеко — с точки зрения современных стандартов развития, но какой-то прогресс обязательно был бы, в результате чего наша современная позиция тоже была бы много выше.

Но, увы, то поколение было потеряно и сожаления бесполезны.

И все же у нас нет оснований считать, что такое не может повториться. Чьи глаза прямо сейчас смотрят на какое-то решающее открытие, не видя его значения? Чьи руки откладывают его в сторону, чей ум отметает его?

Мы этого не можем определить. Мы не в состоянии это определить.

Мы можем только надеяться на то, что, когда чудеса современного поиска информации доставят человеку нужные данные, они доставят их *нужному* человеку. А что до поиска нужных людей, то для него не существует ни теории, ни машин. Мы можем только надеяться.

Глава 14
ОН НЕ В МОЕЙ ГРУППЕ

Я кажусь нонконформистом. Дело отнюдь не в том, что я специально стараюсь им быть. Наоборот, я был бы только рад стать незаметным. К сожалению, так уж случается, что куда бы я ни пришел, я по какой-то таинственной причине привлекаю к себе внимание.

Рано или поздно какой-нибудь любопытный незнакомец обязательно спросит: «А кто вон тот громогласный экстраверт?»[1] А кто-то еще обязательно отвечает: «Это Азимов» — и сопровождает сообщение несколькими ударами пальца по лбу — жестом, значение которого я не очень понимаю.

В ответ на это мне приходится мямлить какое-то оправдание насчет того, что все люди разные и у всех свои причуды, так что вот вам. (Надо либо делать так, либо прекращать быть крикливым «Как-его-там».)

---

[1] На самом деле он говорит «крикливый псих», но мне кажется, что слово «экстраверт» точнее и звучит более литературно.

Но я не грешу против истины. Тот факт, что все люди разные, прекрасно известен всем нам. Младенец очень быстро учится отличать свою мать от других женщин, а девушку ее парень наверняка считает не только непохожей на всех остальных, но и бесконечно превосходящей всех остальных, вместе взятых. Мне говорили, что девушки (несомненно, с меньшими на то основаниями) питают сходные чувства в отношении конкретных молодых людей.

Но подведение твердой научной базы под эти интуитивно ощущаемые различия оказалось возможным только в начале XX века. Только тогда удалось неоспоримо установить, что кровь бывает очень разной.

В течение многих веков люди объясняли различия между собой за счет крови — но это были совершенно не те различия. Речь шла о горячей мужской крови и аристократической голубой крови, и люди говорили о крови, когда имели в виду многие поколения семьи. Они говорили о хорошей крови и дурной в морально-этическом смысле, а не в физическом, так что, если вы говорили о ком-то «у него дурная кровь», вы имели в виду не то, что у него лейкемия, а то, что его отец когда-то подделал чек. «Это в крови», — многозначительно заявляли люди.

Когда были открыты реальные различия в крови, это оказалось делом совершенно прозаическим. Они не имели никакого отношения к морали, или темпераменту, или положению в обществе. Просто кровь одного человека не всегда хорошо смешивалась с кровью другого.

На самом деле следствия из этого факта были очевидны в течение многих веков. Когда кто-то был близок к смерти из-за потери крови, не требовалось особого полета воображения, чтобы решить: перелив в жилы пациента немного крови от другого человека, который совершенно здоров (и потому способен поделиться кровью), можно было бы спасти больному жизнь. Порой врачи пытались это сделать, и порой их пациент выздоравливал. А порой пациент умирал практически мгновенно.

Такие смерти, конечно, ужасали, и самые просвещенные государства запрещали врачам попытки переливания.

Однако к началу XX века эта проблема была, наконец, разумно объяснена австрийским врачом Карлом Ландштейнером. Он проводил эксперименты, смешивая эритроциты крови одного человека с сывороткой[1] крови другого.

В некоторых случаях ничего не происходило. Красные кровяные тельца благополучно распределялись по чужеродной сыворотке, и все было хорошо. Однако в других случаях при соединении с сывороткой частицы слипались друг с другом. Происходила «агглютинация».

Очевидно, существовало по крайней мере два вида телец, и казалось разумным предположить, что это различие было химическим. Один вид частиц содержал некое вещество, которое в присутствии сыворотки реагировало таким образом, что вызывало агглютинацию.

Если мы назовем это вещество «*A*» (проще некуда), то можем предположить, что в сыворотке есть некое вещество, которое вступает с ним в реакцию, и это сывороточное вещество мы можем назвать «анти-*A*».

---

[1] Жидкая часть крови называется *плазмой*. Но если из плазмы удалить фактор свертываемости, фибриноген, то остается *сыворотка*. На практике эти два термина практически взаимозаменяемы.

Используя эту терминологию, мы можем сказать, что если у нас есть сыворотка, содержащая анти-*A*, то мы ожидаем, что *A*-эритроциты агглютинируют, а другие эритроциты — нет.

Но это не все. Возможно также получить образцы крови некоторых людей, которая не вызовет агглютинации эритроцитов *A*, но заставит агглютинировать частицы, на которые не влияла сыворотка с анти-*A*. Значит, в некоторых эритроцитах должно присутствовать какое-то иное вещество, которое мы можем назвать (о, вы и сами догадались!) «*B*», и должна существовать разновидность сыворотки, содержащей «анти-*B*».

Теперь мы можем сказать, что сыворотка, которая содержит анти-*A*, вызовет агглютинацию эритроцитов *A* , но не эритроцитов *B*, тогда как сыворотка, содержащая анти-*B*, вызовет агглютинацию эритроцитов *B*, но не эритроцитов *A*.

Но и это еще не все. Есть варианты красных кровяных телец, которые будут агглютинировать в обеих сыворотках и, следовательно, содержат как вещество *A*, так и вещество *B*. Мы можем называть их эритроцитами *AB*. И наконец, есть эритроциты, которые не агглютинируют в обоих видах сыворотки и, значит, не содержат ни *A*, ни *B*. Их называют эритроцитами *O* (это буква «*O*», а не ноль).

Итак, каждый человек принадлежит к одной из четырех групп крови, в зависимости от того, содержат ли его эритроциты *A*, или *B*, или *A* и *B*, или ни *A* и ни *B*. Далее, опыты показали, что у каждого человека есть в сыворотке такие антивещества, которые не реагируют с его собственными эритроцитами. (Очевидно, иначе он просто был бы мертв.)

Значит, мы можем составить небольшую таблицу:

Группа крови	Эритроциты	Сыворотка
O	—	анти-A, анти-B
A	A	анти-B
B	B	анти-A
AB	A, B	—

Имея запас сывороток, содержащих анти-*A* и анти-*B*, можно быстро определить группу крови человека — и тогда переливание можно спокойно делать. Переливание возможно без осложнений, когда донор и реципиент имеют одинаковую группу крови. Агглютинации не происходит, и донорская кровь спокойно течет по сосудам больного.

Но не обязательно должна произойти трагедия и тогда, когда у реципиента и донора разные группы крови.

Чтобы это объяснить, начнем с предположения, что кровь группы *B* перелита больному с группой *A*. Донорская кровь, грубо говоря, состоит наполовину из клеток крови, а наполовину — из сыворотки, и каждая половина — это источник возможных проблем.

Сыворотка донора с группой *B* содержит анти-*A*, что может вызвать агглютинацию *A*-эритроцитов больного. Это не особенно опасно. Стакан сыворотки, отданной донором группы *B*, не содержит столько анти-*A*, чтобы причинить серьезный ущерб, особенно когда она будет быстро разбавлена несколькими литрами собственной крови больного.

Второе следствие заключается в том, что донорские *B*-эритроциты могут агглютинировать из-за сыворотки реципиента. Это — реальная опасность, поскольку теперь приходится принимать во внимание анти-*B* всего кровотока. Если эритроциты донорской крови агглютинируют, то они станут практически не способны выполнять свою главную функцию, то есть переносить кислород. Хуже того: сгустки эритроцитов будут плыть в токе крови, закупоривая мелкие артерии в почках и других областях, а это вполне способно убить больного.

Значит, думая об опасности переливания, важно проверить эритроциты донора (а не сыворотку) и сыворотку реципиента (а не эритроциты).

Начнем с донора *AB*. Его эритроциты *AB* нельзя вводить больным, у которых в сыворотке имеется либо анти-*A*, либо анти-*B*. Если вы посмотрите на таблицу, то это будет означать, что кровь *AB* можно переливать только реципиенту *AB*.

Кровь группы *A* можно переливать только больным без анти-*A* в сыворотке, что означает, что ее можно перелить больным с группой крови *A* и *AB*. Точно так же кровь группы *B* можно переливать больным с группой крови *B* и *AB*. А у людей с группой крови *O* эритроциты не агглютинируют в присутствии *A* и *B*, и такую кровь можно переливать всем. Людей с группой крови *O* поэтому иногда называют «универсальными донорами»[1].

Это можно суммировать в следующей таблице:

Донор	Реципиент
AB	AB
A	AB, A
B	AB, B
O	AB, A, B, O

[1] На самом деле это некоторое преувеличение. Иногда концентрация антивеществ в крови группы *O* слишком велика и вызывает некоторые проблемы с эритроцитами реципиента. Следовательно, спокойнее по возможности иметь донора и реципиента с одной и той же группой крови. Иногда также достаточно бывает переливать только плазму крови, удалив эритроциты, а с ними — практически исключив всю опасность, связанную с переливанием.

Когда для переливания требуется много крови, например во время войны или какой-нибудь катастрофы, кровь группы *O* особенно важна.

Упоминание этого обстоятельства всегда заставляет меня погрузиться во времена Второй мировой войны. Однажды я сдал кровь и сидел в центре Красного Креста со стаканом молока и печеньем, приходя в себя после пережитого. Громогласный экстраверт поблизости тоже приходил в себя — и во всеуслышание объявил, что у него группа крови *O*. Я поднял голову и сразу же осознал, что он не в моей группе, потому что у меня *B*.

Кто-то спросил у этого парня, почему банки крови так хотят получить группу *O*, и этот тип ответил — с невыносимым самодовольством, которое мне очень трудно было стерпеть: «Ну, группа *O* особенно полезная, видите ли!»

К счастью, я быстро прихожу в себя после таких ударов по моей гордости. Я досадовал на это всего лет шестнадцать и, наверное, скоро оправлюсь.

Как бы то ни было, открытие Ландштейнера сделало переливание крови безопасным и вырвало бессчетное количество людей из лап смерти. И в результате уже всего лишь по прошествии жизни одного поколения было решено, что он заслуживает Нобелевской премии в области медицины. Он получил ее в 1930 году.

Для переливания крови существует всего четыре ее группы, но с точки зрения генетики их количество больше. Каждый человек наследует два гена, определяющие группу крови, — один от отца, другой от матери. Каждый ген может вызывать появление *A* или *B* или ни одного из них, так что про эти гены говорят, что они принадлежат к группе *A*, *B* или *O*.

Значит, вы можете унаследовать шесть возможных комбинаций: *OO*, *AO*, *AA*, *BO*, *BB*, *AB*. Если вы имеете сочетание *АО*, то ген *А* вызывает создание эритроцитов *А* так же, как это делали бы два гена *А*. И значит, вы имеете группу крови *А* независимо от того, какая у вас комбинация: *АА* или *АО*. Точно так же вы имеете группу *В* независимо от того, будет ли у вас комбинация *ВВ* или *ВО*. Ваша комбинация генов — это ваш генотип, а то, что на самом деле определяется при анализе, — это ваш фенотип. Другими словами, шесть возможных генотипов дают четыре фенотипа.

Но вы можете спросить: какая разница, имеете ли вы гены *АА* или *АО*? Ваша кровь одинаково реагирует в обоих случаях, так зачем об этом говорить? Конечно, что касается переливания крови, то различие роли не играет. Но подумайте вот о чем.

Если женятся два человека с генотипом *АА*, каждый может дать своему потомству только гены *А*. И все их потомство должно иметь группу крови *А*. Но если в брак вступают два человека с генотипом *АО*, тогда есть вероятность, что каждый передаст ребенку ген *О*, и получится *ОО*, и группа крови будет определяться как *О*.

Другими словами, если женятся два человека с группой крови *А*, то у ребенка может быть группа крови *О*, и тут не будет никакого обмана. Таким образом, для судебных дел по определению отцовства очень важно наличие генотипа *АО* по контрасту с *АА*.

Позднее было открыто, что существует два типа эритроцитов *А*: один реагировал с анти-*А* очень активно, а второй — слабо. Первый назвали A_1, а второй — A_2. Это различие не играет роли при переливании крови, но, опять-таки, имеет значение при определении отцовства, поскольку, например, у двух родителей с A_1 не может быть ребенка с A_2 и наоборот.

С учетом двух разновидностей *A*, у нас имеется десять генотипов, которые дают шесть фенотипов:

$$O, A_1, A_2, B, A_1B \text{ и } A_2B.$$

Причина, по которой вещества групп *A*, *B*, *O* в эритроцитах были открыты так рано, заключается в том, что сыворотка крови содержит вещества, реагирующие с соответствующими клетками и агглютинирующие их. А что, если эритроциты содержат также другие вещества, способные вызывать агглютинацию, но которые при этом не проявляют себя из-за того, что в сыворотке крови нет соответствующих антивеществ?

Если бы это было так, то продемонстрировать это можно было бы, создав соответствующее антивещество искусственно. Это можно сделать, используя природные механизмы живого организма.

Организм реагирует на введение инородных белков (и некоторых других веществ, которые объединены под общим названием «антигены») созданием «антител», реагирующих с этим антигеном, выводящим его из кровообращения и обезвреживающим его. Такая реакция очень специфична. То есть антитело будет реагировать с антигеном, а с каким-то другим веществом если и будет реагировать, то только слабо. Сыворотка, полученная из такой сенсибилизированной крови (антисыворотка), может затем использоваться для того, чтобы определять наличие этого конкретного антигена при помощи некой преципитирующей или вызывающей слипание реакции.

В 1927 году Ландштейнер смог показать, что кровь кролика может сенсибилизировать таким образом, что она будет агглютинировать какие-то клетки человека, а не иные, независимо от системы *A*, *B*, *O*. То есть некоторые эритроциты *A* будут агглютинированы, а некоторые — нет, некоторые эритроциты *B* будут агглютинированы, а другие — нет и так далее.

Очевиден был вывод, что существуют дополнительные вещества, которые наследуются независимо от групп *A*, *B*, *O*. Их обозначили как *M* и *N*, и у любого человека могла быть группа *M*, группа *N* или группа *MN*. Сыворотки, содержащие анти-*M* и анти-*N*, можно было получить от соответствующим образом сенсибилизированных кроликов, и тогда группу крови человека можно было определить, наблюдая за тем, будут ли эритроциты агглютинировать в присутствии анти-*M*, анти-*N* или обоих.

Это утраивает количество известных нам фенотипов, так как человек с группой крови *O* может иметь группу *OM*, *ON* или *OMN*. Аналогичная ситуация происходит и с другими группами крови. Итак, при наличии шести генов, O, A_1, A_2, B, M и N, возможны восемнадцать фенотипов.

В 1940 году Александр Винер, американский физик, обнаружил, что, когда кровь кролика сенсибилизируется в отношении эритроцитов, полученных у макаки-резус, сыворотку кролика можно потом использовать для различения крови людей еще в одном отношении. То есть стало очевидным, что эритроциты содержат еще вещества, не принадлежащие к группам *A*, *B*, *O* или группам *M* и *N*. Эти вещества стали называть «резус-группой», по названию обезьяны.

Я не стану вдаваться в объяснения различных проблем, связанных с резус-группами: иммунологи с немалым трудом сформулировали эти проблемы, и я не стану здесь в это вникать. Но очевидно, что имеется как минимум двенадцать резус-фенотипов, которые можно определить с использованием четырех различных антисывороток. Некоторые специалисты называют три самых распространенных из них: анти-*C*, анти-*D* и анти-*E*.

Один из фенотипов можно определить по тому, что эритроциты не агглютинируют при введении всех трех этих веществ, и такой фенотип называют резус-отрицательным. Все остальные фенотипы дают агглютинацию в ответ на одно из этих веществ (а иногда и на несколько), и все одиннадцать называют общим термином резус-положительные.

Это оказывается важным не для переливаний, а для деторождения. Когда резус-отрицательная мать замужем за резус-положительным отцом, ребенок может унаследовать от отца один из генов, который сделает его резус-положительным. Это происходит при зачатии и проявляется во время внутриутробного развития. Тогда получается, что резус-отрицательная мать вынашивает резус-положительный плод.

Резус-положительные вещества в эритроцитах плода могут проникнуть сквозь плацентарный барьер в кровоток матери. Ее организм в ответ выработает антитела (поскольку в ее крови обычно эти резус-положительные вещества не присутствуют). Антитела могут затем снова пройти через плацентарный барьер и попасть в кровоток плода. Теперь у бедного плода в крови окажутся как антигены, так и антитела и у него появится аллергия на самого себя. Если плод не погибнет, то он родится очень больным, с состоянием, которое называется «эритробластоз плода», — оно обычно ведет к смерти, если немедленно не провести обширное переливание крови, чтобы удалить вызвавшее заболевание вещество.

Конечно, такая ситуация возникает не всегда — и почти никогда не встречается при первой беременности. Считается, что в Соединенных Штатах примерно при одних родах из четырехсот происходит эритробластоз плода. Тем не менее врачи хотят на всякий случай знать, к чему готовиться, и потому у беременных женщин всегда определяют резус-фактор.

Как бы то ни было, если рассмотреть двенадцать резус-фенотипов, мы увидим, что каждый из восемнадцати фенотипов относительно групп *A*, *B*, *O* и *M*, *N* можно разделить на двенадцать классов, один для каждого из резус-фенотипов. Общее количество видов крови с учетом этих трех показателей равно восемнадцати, умноженному на двенадцать, то есть 216.

Конечно, эти разнообразные фенотипы распределены не равномерно. Например, в Соединенных Штатах 45 процентов населения имеет группу крови *O*, 42 процента — группу крови *A*, 10 процентов — группу крови *B* и 3 процента — группу крови *AB*.

Это распределение типично для Америки, но не для всего мира. Существуют индейские племена, где у 98 процентов кровь группы *O* и 2 процентов — *A*, тогда как в других индейских племенах 80 процентов группы *A* и 20 процентов — *O*. И практически ни у кого из американских индейцев не бывает крови группы *AB*.

Обычно это объясняют тем, что американские индейцы произошли из небольших групп людей, которые пересекли Сибирь, Берингов пролив и распределились по американскому континенту. И так получилось, что из тех, кому удалось это сделать, не было людей с группой крови *B*. (Поскольку в целом в мире группа *B* встречается гораздо реже, чем *A* и *O*, она легче «теряется» в малых группах.) Или, возможно, те сравнительно немногие люди с группой крови *B*, которые достигли Америки, погибли, не создав семей.

Такая потеря некого гена в небольшой группе называется случайным распространением генетических мутаций в популяции.

С другой стороны, кровь группы *B* хотя и остается в меньшинстве, но сильнее всего (до 30 процентов) представлена в Центральной Азии. Частота ее появления уменьшается с продвижением на запад. Она снижается до 20 процентов на границе с Европой, составляет 15 процентов на западе России, 10 процентов — в Германии и 5 процентов — во Франции. Некоторые ученые предполагают, что ген *B* был принесен в Европу последовательными волнами Великого переселения народов, в частности гуннами и монголами.

Были сделаны попытки реконструировать ход миграции, изучая вариации в частотности проявления генов крови. Однако ее не всегда легко определить, а современные способы передвижения настолько перемешали человечество, что, как мне кажется, последние следы былого в этом плане вскоре исчезнут.

Антропологи также пытаются определить на основе частотности генов разделение человечества на небольшие группы. Например, американских индейцев и аборигенов Австралии характеризует отсутствие гена *B*. Однако у американских индейцев очень высоко количество *M* и низко — *N*, тогда как у австралийских аборигенов необычно велико число *N* и мало — *M*. Опять-таки, у азиатов с группой крови *A* это почти исключительно A_1, тогда как в Европе и Африке у таких людей одинаково часто представлены и A_1, и A_2. В качестве еще одного примера можно сказать, что существует один из резус-факторов, который встречается почти исключительно в Африке.

Самый интересный результат, полученный в результате изучения таких подразделений по группам крови, относится именно к резус-фактору. У коренного населения обеих Америк, Азии, Австралии и Африки практически никогда не бывает отрицательного резуса. В случае когда отрицательный резус все-таки имеется, почти всегда выясняется, что среди предков данного человека были европейцы.

Значит, именно в Европе находится большой источник резус-отрицательности. Среди европейцев и их потомков на других континентах (включая, конечно, и американцев) каждый седьмой человек имеет отрицательный резус.

Как это получилось? Существуют ли в Европе какие-то области, которые были бы центрами генов резус-отрицательности, подобно тому как монголы в Центральной Азии были центром гена *B*? Ответ будет утвердительным. На севере Испании живет народ басков. Среди них каждый третий является резус-отрицательным, и больше нигде в мире нет столь высокой концентрации этого фенотипа. Следовательно, можно предположить, что баски представляют собой последние остатки группы резус-отрицательных «древних европейцев», которых затопили резус-положительные «индоевропейские» народы, ныне населяющие Европу. Но в горных областях на крайнем западе Европы им удалось устоять.

Такая теория кажется еще более привлекательной из-за того, что баскский язык не является индоевропейским и не имеет определенного родства с другими языками, как живыми, так и мертвыми. (Людям, говорящим на распространенных европейских языках, баскский язык всегда казался таким запутанным, что это породило поверье: дьявол над басками не властен, ибо не может искусить их, поскольку, как ни прилагает свои дьявольские способности, не способен выучить их язык.)

Однако и с 40-ми годами XX века и открытием резус-фактора выявление новых разновидностей групп крови не закончилось. Животных продолжают сенсибилизировать различными способами, получая сыворотки, которые, в свою очередь, можно использовать, определяя типы крови по-новому. Постоянно публикуются сообщения об открытии типов крови с такими названиями, как Даффи, Келл, Кидд и Льюис, — обычно названия даются по фамилии человека, у которого такая кровь была впервые обнаружена.

На момент написания данной книги известно уже примерно шестьдесят разновидностей крови. Некоторые из них очень редки, и, как правило, серологические лаборатории не способны проанализировать все варианты (по-моему, обычно учитывается порядка двадцати).

Было подсчитано, что число фенотипов, которые возможно дифференцировать с помощью соответственно подобранных антисывороток, приближается к цифре (держитесь!) $11529 \cdot 10^{14}$, то есть более одного квинтиллиона. Это число в четыреста миллионов раз большее, чем все население Земли, так что представляется крайне маловероятным, чтобы два человека (не считая однояйцевых близнецов) имели бы совершенно одинаковую кровь. Наоборот, легко можно допустить, что среди всех когда-либо живших людей (исключая однояйцевых близнецов) не нашлось бы и двоих с совершенно одинаковой кровью. Другой человек не только не относится к вашей группе, но, скорее всего, не относится больше ни к чьей группе.

И это мы выяснили только относительно крови и ее клеток. Несомненно, другие ткани организма у людей различаются, и потому индивидуальны потребности в питании, строении белка, особенности обмена веществ и так далее до бесконечности. Ни один из нас не похож на других.

И это объясняет, почему я вполне имею право быть громогласным экстравертом.

По крайней мере, я так считаю.

Часть пятая

АСТРОНОМ

Глава 15
УСТРОЙСТВО ВЕЩЕЙ

Каждый ребенок выходит из средней школы с массой превратных понятий, твердо забитых ему в голову. С годами он может забыть, например, что битва при Ватерлоо произошла в 1815 году или что семью шесть равно сорока двум, но он никогда, никогда, до самой смерти не забудет о том, что Колумб доказал, что Земля круглая.

И конечно, Колумб ничего подобного не доказывал. Что Колумб на самом деле доказал, так это то, что можно ошибаться сколько угодно — главное, чтобы тебе везло.

То, что Земля имеет сферическую форму, предполагали уже в XI веке до н. э. Это делали разные древнегреческие философы. Некоторые верили в это из чистого мистицизма, уверенные, что сфера — идеальная твердая форма и потому Земля — это сфера. Для нас такая посылка кажется сомнительной, а вывод — нелогичным, но для греков это звучало убедительно.

Однако не все греческие философы были мистиками, и существовали разумные доводы в пользу того, чтобы считать Землю шаром. Эти доводы в

IV веке до н. э. обобщил Аристотель, и их оказалось три.

1. Если бы Земля была плоской, то все звезды, видимые из какой-либо точки земной поверхности, были бы видимы и из всех остальных точек (не считая небольших искажений, связанных с перспективой, и, конечно, гор, заслоняющих часть горизонта). Однако когда путешественники двигались на юг, некоторые звезды исчезали за северным горизонтом, тогда как на южном горизонте появлялись новые звезды. Это доказывало, что Земля не плоская, а имеет некую выгнутую форму. Как только такое допущение делалось, можно было пойти дальше и сказать, что все вещи падают по направлению к центру Земли и стараются оказаться возможно ближе к ее центру. А твердое тело, у которого расстояние всех частей от центра минимально, является шаром. Что и требовалось доказать.

2. Кажется, будто корабли, уходящие из гавани и уплывающие в открытое море, опускаются все ниже и ниже в воду, пока не остаются видны только верхушки мачт. Самым разумным выводом было то, что поверхность воды, которая кажется плоской, на самом деле является слабо выпуклым холмом, за которым и прячутся корабли. Далее, поскольку этот эффект был равно интенсивным, в каком бы направлении ни уплывал корабль, то слабо выпуклый холм океана одинаково изгибался по всем направлениям. Единственное тело, которое одинаково изгибается во все стороны, это шар. Что и требовалось доказать.

3. Древнегреческие философы признавали, что Луна затмевается, когда входит в тень от Земли. Когда темнота движется по поверхности Луны, то надвигающаяся тень является проекцией формы Земли, а эта форма — всегда сегмент круга. И это не зависит от того, стоит ли Луна высоко в небе или

находится у горизонта. Тень всегда круговая. Единственное тело, все проекции которого имеют форму круга, — это шар. Что и требовалось доказать.

Доводы Аристотеля казались убедительными. Во все времена ученые, имевшие доступ к книгам Аристотеля, принимали идею о шарообразности Земли. Даже в VIII веке н. э., в середине Средневековья, которое называли темными веками, святой Беда (которого обычно называют Достопочтенный Беда), собиравший крохи естественных наук, оставшиеся от Древней Греции, ясно сказал, что Земля является шаром. В XIV веке «Божественная комедия» Данте, излагавшая основы традиционной астрономии того времени, представляла Землю как шарообразную.

Следовательно, нет сомнений, что Колумб знал о том, что Земля является шаром. Но это знали и все образованные люди Европы.

В этом случае, какая проблема стояла перед Колумбом? Он хотел поплыть на запад от Европы и пересечь Атлантический океан, чтобы попасть в Азию. Если Земля являлась шаром, это было теоретически возможно, а если все образованные люди принимали это предположение — и, следовательно, вывод, который из него проистекал, — тогда почему план Колумба вызвал протесты?

Ну, мало сказать, что Земля — это шар. Вопрос в том, насколько этот шар большой.

Первым человеком, измерившим длину окружности Земли, был греческий астроном Эратосфен Киренский. Причем он сумел это сделать, не уезжая из дома.

Если бы Земля была шаром (в чем Эратосфен был уверен), тогда лучи Солнца должны были бы в любой произвольный момент падать на поверхность Земли под разными углами. Например, 21 июня Солнце в полдень находилось точно в зените в Сиене, в Египте. В Александрии же (североафриканском городе, где жил Эратосфен) Солнце в тот момент было не точно в зените, а отклонялось от него на небольшой угол.

Эратосфен знал расстояние между Александрией и Сиеной и с помощью простых геометрических расчетов смог узнать кривизну поверхности Земли, которой объяснялось смещение Солнца. На этой основе можно было вычислить радуис и длину окружности Земли.

Эратосфен высчитал: окружность Земли составляет 40 000 километров (если перевести ее в современные единицы длины) или, может, чуть больше, поскольку точную длину использованной им единицы установить сложно. И он был почти прав!

Однако примерно в 100 году до н. э. греческий географ Посидоний из Апамеи проверил работу Эратосфена и получил меньшее число — длину окружности в 30 000 километров. Эта меньшая цифра могла показаться более уютной некоторым древним грекам, потому что уменьшала область неизведанного. Если бы была принята большая цифра, то известный мир занял бы всего одну шестую поверхности Земли. А если принималась меньшая цифра, то площадь поверхности уменьшалась вдвое и известный мир занимал бы треть поверхности Земли.

Но древнегреческих мыслителей очень занимали неизвестные части Земли (которые казались им такими же недоступными и таинственными, какой сравнительно недавно нам казалась обратная сторона Луны), и они заполнили ее выдуманными континентами. Если их было меньше, это казалось облегчением, и греческий астроном Клавдий Птолемей, живший примерно в 150 году н. э., был среди тех, кто принял цифру Посидония.

Так получилось, что в позднем Средневековье книги Птолемея были почти такими же авторитетными, как и труды Аристотеля, и если географы XV века принимали доводы Аристотеля относительно шарообразности Земли, то многие из них принимали также и оценку длины ее окружности, принятую Птолемеем. В их числе был итальянский географ Паоло Тосканелли.

Так как максимальное расстояние между крайними точками Европы и Азии составляло около 21 000 километров (этот факт географы узнали благодаря путешествиям Марко Поло в XIII веке), а вся длина окружности равна 30 000 километров или меньше, тогда, отправившись из Испании и проплыв на запад не более 9000 километров, можно было бы достигнуть «Индий». А поскольку у восточных берегов Азии существовали острова — такие как Зипанго (Япония), о которых упоминал Марко Поло, — то расстояние до ближайшей суши может равняться всего 6500 километрам или даже меньше.

В 1470-х годах Тосканелли составил карту, которая все это показывала: на ней Атлантический океан изображался с Европой и Африкой по одну сторону и Азией с прибрежными островами — по другую. Колумб получил от Тосканелли экземпляр этой карты и ободряющие слова и был полон желания добраться до Азии западным путем. Теперь ему оставалось только получить финансирование правительства.

Самым логичным было искать такое финансирование в Португалии. В XV веке многие предметы обиходной роскоши Европы (включая пряности, сахар и шелк) можно было получить только по наземным маршрутам с Востока, и турки, по чьей территории проходили эти пути, взимали с этой торговли максимальные посреднические пошлины. Какой-либо обходной путь был крайне желательным, и португальцам, жившим на крайнем юго-западе Европы, пришло в голову проплыть вокруг Африки и добраться до Востока морем, полностью миновав турок. И в течение всего XIV века португальцы посылали одну экспедицию за другой, все дальше и дальше вдоль берега Африки (португальское освоение Африки было в те дни таким же сложным, каким в наше время освоение космоса). В 1484 году, когда Колумб обратился к королю Португалии Жуану II за финансированием, португальским экспедициям почти удалось добраться до южной оконечности Африки (а в 1487 году они это сделали).

Португальцы в то время были самыми опытными мореплавателями Европы, и географы короля Жуана с немалым недоверием относились к низкой оценке длины окружности Земли. Если окажется, что верна большая цифра, 40 000 километров, а вся длина Европы и Азии составляет 21 000 километров, то, чтобы достичь Азии, кораблю из Португалии придется плыть на запад 19 000 километров. Ни одна морская экспедиция того времени не могла совершить такое безостановочное плавание через океан.

Поэтому португальцы решили, что западный путь теоретически возможен, но, с учетом технологий того времени, совершенно непрактичен. Географы посоветовали королю Жуану продолжать работать над освоением африканского пути и отказать итальянскому мечтателю. Так и было сделано.

И учтите: португальские географы были совершенно правы. От Португалии до Азии в западном направлении действительно 19 000 километров, и ни один корабль того времени не способен был пройти такой путь. И Колумбу так и не удалось добраться до Азии, тогда как португальским путешественникам уже через тринадцать лет удалось достичь Азии африканским путем. В результате этого крошечная Португалия построила богатую и обширную империю, став первой европейской колониальной державой. И к середине XX века от этой империи сохранилось достаточно, чтобы она стала и последней.

И как же вознаграждены были португальские географы за то, что оказались правы абсолютно во всем? А так, что школьников учат над ними смеяться.

Колумб получил необходимое финансирование от Испании в 1492 году. Испания к тому моменту как раз отвоевала последние мусульманские укрепления на Иберийском полуострове и, преисполненная торжества, искала какой-нибудь отважный навигационный подвиг, который был бы сопоставим с португальским. (На современном языке — им необходимо было что-то «океанически феерическое», чтобы улучшить свой «мировой имидж».) И они отдали Колумбу три разваливающихся судна, позволили отобрать по тюрьмам команду — и отправили в путь.

Это обещало верную смерть для Колумба и его людей, поскольку он ошибался, — если бы не его невероятное везение. Греческие мечтатели были правы. На неосвоенных просторах Земли действительно имелись другие континенты, и Колумб врезался в один из них, проплыв всего около 5000 километров. (Он еле выжил: еще полторы тысячи километров — и он погиб бы.)

Португальские географы не рассчитывали достичь тех мест, которые сейчас известны как американские континенты. С их стороны было бы странно на это рассчитывать. Но на их существование не рассчитывал и Колумб. На самом деле Колумб так и не признался, что попал не в Азию. Он умер в 1506 году, твердо убежденный в том, что окружность Земли составляет 30 000 километров. Упорствуя в своей ошибке до самого конца.

Итак, Колумб не доказал, что Земля круглая: это уже было известно. На самом деле, поскольку он рассчитывал попасть в Азию и не смог этого сделать, его плавание было доводом *против* шарообразности Земли.

Однако в 1519 году из Испании отплыли пять кораблей под командованием Фердинанда Магеллана (португальского навигатора, служившего Испании) с намерением завершить дело Колумба и добраться до Азии, а оттуда проплыть дальше до Испании. Такое плавание в те дни была настолько же трудным, как сейчас — пилотируемый полет до Луны и обратно. Эта экспедиция длилась три года и едва смогла завершиться. Безостановочное мореплавание длиной в 16 000 километров через Тихий океан чуть было всех их не прикончило (а они были подготовлены гораздо лучше, чем Колумб). Сам Магеллан по дороге погиб. Однако тот единственный корабль, которому удалось вернуться, привез достаточно большой груз пряностей, чтобы окупить с избытком всю экспедицию.

Первое плавание вокруг Земли в какой-то мере стало экспериментальным подтверждением шарообразности планеты, однако такое подтверждение едва ли было нужным. Важнее, что оно доказало две другие вещи. Во-первых: океан непрерывен; существует одно огромное море, в котором континенты располагаются, подобно большим островам. Значит, до любого побережья можно добраться с любого другого побережья — а это было очень важной (и весьма приятной) новостью для торговцев. Во-вторых: раз и навсегда — Эратосфен прав, и длина окружности Земли составляет около 40 000 километров.

И тем не менее, хотя Земля имеет круглую форму, оказалось, что она все-таки не шар — несмотря на все аргументы Аристотеля.

И мы снова возвращаемся к древним грекам. Звезды вращаются вокруг Земли величественным и плавным хороводом, цикл которого составляет двадцать четыре часа. Греческие философы понимали, что это можно объяснить двумя способами: или небеса вращаются вокруг Земли в суточном цикле, или они остаются неподвижными, а Земля за сутки совершает оборот вокруг своей оси.

Некоторые греки (например, Аристарх Самосский в III веке до н. э.) утверждали, что вращается именно Земля. Однако большинство выступали за неподвижную Землю, и победили они. В конце концов, Земля — большая и массивная, тогда как небеса — легкие и воздушные. Конечно, логичнее предположить, что вращаются именно последние.

Идея неподвижной Земли была принята Птолемеем и, следовательно, средневековыми учеными и церковью.

И только в 1543 году, поколением позже Магеллана, на эту точку зрения началось крупное наступление. Именно тогда Николай Коперник, польский астроном, опубликовал свои взгляды на Вселенную и немедленно умер, уйдя от полемики. Согласно его взглядам (которые были сходны с идеями Аристарха), Солнце было центром Вселенной, а Земля вращалась вокруг него в качестве одной планеты из многих. А если Земля была всего лишь мелким телом, вращающимся вокруг Солнца, то казалось совершенно нелогичным предположить, будто звезды вращаются вокруг нашей планеты. И следовательно, Коперник утверждал, что Земля вращается вокруг своей оси.

Точку зрения Коперника, конечно, приняли не сразу — ученый мир спорил по этому вопросу в течение столетия. И в 1633 году инквизиция заставила Галилея отречься от своего убеждения в том, что Земля движется, и признать, что она неподвижна.

Однако это были последние судороги теории неподвижной Земли, и с тех пор научных аргументов против ее вращения уже не было. (Только в 1851 году факт вращения Земли получил экспериментальное подтверждение, но это уже другая история.)

Итак, если Земля вращается, то представление о ее шарообразности становится несостоятельным. Первым человеком, указавшим на этот факт, стал в 1680-х годах Исаак Ньютон.

Если бы Земля была неподвижна, то силы гравитации заставили бы ее принять форму шара (с минимальным общим расстоянием до центра), даже если бы она не была шаром первоначально. Однако если Земля вращается, то наличие инерции у каждой частицы на планете вызовет центробежный эффект, который будет противодействовать силе тяжести и отталкивать частицы от центра Земли.

Однако поверхность вращающегося шара движется с различной скоростью — в зависимости от расстояния от центра вращения. В той точке, где ось вращения пересекается с поверхностью (как на Северном и Южном полюсах), поверхность является неподвижной. По мере увеличения расстояния от полюсов скорость поверхности увеличивается и становится максимальной на экваторе, который равноудален от полюсов.

Тогда как сила тяжести постоянна (почти) во всех точках земной поверхности, центробежный эффект быстро увеличивается с увеличением скорости поверхности. В результате поверхность Земли чуть приподнимается от центра, и этот подъем максимален на экваторе, где поверхностная скорость выше всего. Другими словами, сказал Ньютон, у Земли должно быть экваториальное утолщение (или, если выразиться иначе, она должна быть приплюснута на полюсах).

Это означает, что если бы на экваторе было сделано поперечное сечение Земли по оси запад—восток, то оно имело бы форму окружности. Однако если бы такое поперечное сечение сделали через полюса — в направлении север—юг, — то оно имело бы очертания эллипса, и кратчайший диаметр этого эллипса проходил бы от полюса к полюсу. Такое твердое тело — не шар, а «сжатый сфероид».

Конечно, эллиптичность сечения в направлении север—юг так мала, что невооруженным глазом ее увидеть нельзя, и при взгляде из космоса Земля будет казаться шаром. Тем не менее отклонение от идеальной шарообразности является важным, как я вскоре вам покажу.

Ньютон утверждал это исключительно с теоретической точки зрения, но ему казалось, что у него имеются также и экспериментальные данные. В 1673 году французская научная экспедиция во Французской Гвиане выяснила: маятник часов, которые идеально точно отсчитывали секунды в Париже, в тропическом лагере двигался немного медленнее — по сравнению с ровным движением звезд. Это могло означать только одно: сила тяжести (а именно она приводила в движение маятник) во Французской Гвиане была чуть слабее, чем в Париже.

Это было бы понятно, если бы научная экспедиция находилась высоко в горах, где расстояние от центра Земли больше, чем на уровне моря, и сила тяжести, следовательно, была ослаблена, но экспедиция находилась на уровне моря. Однако Ньютон утверждал, что в некотором смысле экспедиция находилась на самом деле не на уровне моря, а выше, на экваториальной выпуклости, и что именно это объясняло замедление маятника.

В этом вопросе Ньютон вступил в спор с французским астрономом, итальянцем по национальности, Жаном Домиником Кассини. Тот повел рассуждения с другой точки зрения. Если бы Земля не была настоящим шаром, тогда кривизна ее поверхности должна была бы изменяться от точки к точке. (Шар — это единственное тело, имеющее одинаковую кривизну по всей поверхности.) С помощью триангуляции — измерения длин сторон и размеров углов очень крупных треугольников, начерченных на поверхности Земли, — можно определить слабую кривизну этой поверхности. Если бы Земля на самом деле была сжатым сфероидом, тогда эта кривизна должны была бы уменьшаться по мере приближения к одному из полюсов.

Кассини проводил триангуляционные измерения на севере и юге Франции и пришел к выводу, что кривизна поверхности меньше не на севере, а на юге. Следовательно, утверждал он, Земля имеет выпуклости на полюсах и сплюснута на экваторе. И если сделать поперечное сечение Земли через полюса, то его форма окажется эллиптической, но через полюса пройдет самый длинный (а не самый короткий) диаметр. Такое тело называется «вытянутый сфероид».

В течение поколения шел жаркий спор. И этот вопрос был важен не только для чистой науки. Я сказал, что отклонение формы Земли от шарообразной было важным, несмотря на малую величину отклонения, и причина этого заключалась в том, что океанские плавания в XVIII веке стали делом обычным. Европейские страны ссорились из-за огромных кусков заморских владений — и победа могла достаться той стране, чьи корабли в пути будут реже сбиваться с курса. А чтобы не отклоняться от курса, необходимы были точные карты, и такие карты можно было составить только в том случае, если известно точное отклонение формы Земли от шарообразной.

Было решено, что разница в кривизне между Северной и Южной Францией слишком мала, чтобы решить этот вопрос точно. Необходимо было нечто более экстремальное. Вот почему в 1735 году были снаряжены две французские экспедиции. Одна отправилась в Перу, страну около экватора. Вторая поехала в Лапландию, расположенную близко к Северному полюсу. Обе экспедиции потратили на измерения долгие года (и в результате их затруднений появилась острая потребность в реформе измерений, которая в конце концов спустя полвека привела к созданию метрической системы). Когда экспедиции вернулись, вопрос был решен: Кассини ошибался, а Ньютон был прав. Экваториальная выпуклость имеет высоту 21 километр, а это значит, что точка, находящаяся на уровне моря на экваторе, отстоит от центра Земли на 21 километр больше, чем точка на уровне моря на одном из полюсов.

Существование этой экваториальной выпуклости удачно объяснило одну астрономическую загадку. Кажется, что небеса вращаются вокруг оси, один из концов которой (Северный полюс мира) расположен рядом с Полярной звездой. Некий древнегреческий астроном, Гиппарх Никейский, примерно в 150 году до н. э. смог показать, что этот полюс мира не является неподвижным. Он описывает в небе круг, для завершения которого требуется примерно 25 800 лет. Это явление называется «предварением равноденствий», или «прецессией». Гиппарх считал, что небесная сфера просто медленно вращается таким образом. Он не знал, почему так происходит. Когда Коперник выдвинул свою теорию, ему также пришлось сказать: ось Земли колеблется таким образом. Он тоже не знал, почему так происходит.

Однако Ньютон указал на то, что Луна движется по орбите, которая не находится в плоскости экватора Земли. Во время одной половины оборота вокруг Земли она находится далеко к северу от земного экватора, а во время второй половины — далеко к югу. Если бы Земля была идеальным шаром, Луна одинаково притягивала бы ее одинаково из любой точки. А в реальности Луна оказывает на экваториальную выпуклость особое несимметричное давление. Ньютон показал, что именно это давление на выпуклость и вызывает предварение равноденствий. Это можно продемонстрировать экспериментально, подвесив груз на край вращающегося гироскопа. Тогда ось гироскопа начинает совершать прецессионное движение.

Вот как сама Луна пришла на помощь ученым.

Спустя два с половиной века после Ньютона именно так должна была вести себя искусственная луна.

Героем этой части драматической истории о форме Земли станет корабль «Вэнгард I», который был запущен Соединенными Штатами 17 марта 1958 года. Он был четвертым спутником, выведенным на околоземную орбиту, и по сравнению со своими предшественниками гораздо дольше посылал свои сигналы на Землю. Его вывели так высоко над Землей, что благодаря отсутствию воздействия атмосферы он мог продолжать вращение в течение пары веков. И его оборудовали солнечными батареями, которые обеспечили ему возможность долгой работы.

Орбита «Вэнгарда I», подобно орбите самой Луны, не находится в плоскости экватора, так что и он притягивает экваториальный выступ и притягивается им точно так же, как Луна. Конечно, «Вэнгард I» недостаточно велик, чтобы воздействовать на движение Земли, но на него притяжение выпуклости действует гораздо сильнее, чем на Луну.

Во-первых, потому, что «Вэнгард I» находится к выпуклости ближе и испытывает более сильное воздействие. Во-вторых, в некоторых случаях важно и общее количество оборотов, совершаемых спутником. «Вэнгард I» делает оборот вокруг Земли за два часа с четвертью: это значит, что за четырнадцать месяцев он совершит 4500 оборотов, что равно общему числу оборотов, которые Луна совершила за весь период с момента изобретения телескопов. Из этого следует, что движения «Вэнгарда» лучше раскроют строение выпуклости, нежели движения Луны.

И действительно, Джон А. О'Киф, изучавший отклонения орбиты «Вэнгарда», смог показать, что экваториальная выпуклость Земли несимметрична. Спутник отклоняется чуть сильнее, когда он находится к югу от экватора, так что выпуклость должна быть там чуть более выпуклой. Было вычислено, что южная часть экваториальной выпуклости до 14 метров (метров, а не километров!) дальше от центра Земли, чем северная часть. Чтобы это уравновесить, Южный полюс (считая от уровня моря) на 30 метров ближе к центру Земли, чем Северный полюс.

Так что Землю даже не вполне правильно называть сжатым сфероидом. Она в очень-очень слабой степени яйцеобразная, с расширенной южной частью и суженной северной, с приплюснутым южным концом и заостренным северным.

Тем не менее, смотря на Землю невооруженным взглядом, мы все равно видим шар, не забывайте об этом.

Эта последняя, крошечная, поправка по части формы Земли крайне важна — в очень мрачном смысле. В наши дни мировое безумие войн требует, чтобы ракеты не терялись по дороге, а ракеты необходимо наводить гораздо точнее, чем морские суда. И знание формы Земли стало намного важнее, чем прежде.

Уточнение формы Земли имело сугубо научное, с неведомыми последствиями значение. О'Киф утверждает, что для объяснения такой асимметрии при симметричном притяжении гравитации и отталкивании центробежной силы внутренняя часть Земли должна считаться значительно более жесткой, чем это представлялось геофизикам.

И последнее. Выразительным прилагательным, которое О'Киф применил для описания формы Земли, показанной «Вэнгардом», оказалось слово «грушевидный» — и газеты его моментально подхватили. В результате этого читатель заголовков должен был вообразить, что Земля имеет форму груши «дюшес». Это глупо. Существуют виды груш, форма которых ближе к яйцевидной, но наиболее известные сорта совершенно не такие. Однако я не сомневаюсь в том, что слово «грушевидная» останется и нанесет невыразимый ущерб общепринятому представлению о форме Земли. Несомненно, следующее поколение детей приобретет твердую уверенность в том, что Колумб доказал, будто Земля имеет форму груши «дюшес».

Но нет худа без добра, и я с волнением жду некой возможности. Видите ли, недавно вышла моя книга «Двойная планета». Она посвящена Земле и Луне, которые размером гораздо более сходны, чем все другие сочетания планет и спутников в Солнечной системе, так что их по праву можно назвать «двойной планетой».

И вот когда-нибудь кто-то возьмет в моем присутствии эту книгу (а я специально раскладываю свои книги по всему моему дому), пролистает ее и скажет: «Это про Землю?»

И я с отчаянно бьющимся сердцем скажу: «Да».

А он скажет (ах, как я на это надеюсь!): «Тогда почему вы называете Землю двойной планетой?»

И тогда я отвечу (понимаете?): *«Потому что она грушеобразная!!!»*

А почему никто, кроме меня, не смеется?..

Глава 16
ЗВЕЗДА МЕРЦАЕТ В ВЫШИНЕ

В детстве я был потрясен, узнав, что наше Солнце иногда называют «желтым карликом» и что искушенные люди презрительно считают его малозначительным членом Млечного Пути.

До этого момента я вполне естественно полагал, что звезды крошечные, и все, что я читал, подкрепляло это убеждение. Существовало бесчисленное количество сказок о крошечных звездах, которые (как я понял) были детишками Солнца и Луны, причем ярко сияющее Солнце было отцом, а тусклая и робкая Луна — матерью[1].

Когда я обнаружил, что эти крошечные точки света на самом деле огромные яркие солнца, гораздо более крупные, чем наше собственное, это в моих глазах не только нарушило святость небесного брака, но и оскорбило меня, как патриотичного жителя Солнечной системы. Позднее я с мрачным облегчением узнал, что не все звезды намного крупнее Солнца. В действительности очень многие меньше Солнца. Более того, я обнаружил, что некоторые из этих маленьких звезд невероятно интересны, и, чтобы поговорить о них, я — по-азимовски — начну с другого конца и рассмотрю Землю и Солнце.

---

[1] В то время у меня были странно наивные понятия об относительной важности полов.

На самом деле Земля не вращается вокруг Солнца. И Земля, и Солнце, взятые в отдельности, вращаются вокруг общего центра гравитации. Естественно, этот центр гравитации ближе к более массивному телу, и степень этой близости пропорциональна соотношению масс обоих тел.

Так, Солнце в 333 400 раз массивнее Земли, и, следовательно, центр тяжести должен быть в 333 400 раз ближе к центру Солнца, чем к центру Земли. Расстояние между Землей и Солнцем, от центра до центра, равно примерно 149 459 800 километрам. При делении этого числа на 333 400 мы получаем 448. Следовательно, центр гравитации системы Земля—Солнце находится в 448 километрах от центра Солнца.

Это означает, что, пока Земля движется вокруг этого центра гравитации в своем годовом обращении, Солнце делает небольшой оборот с радиусом 448 километров вокруг того же центра. Конечно, этого крохотного качания нельзя заметить с точки наблюдения, расположенной вне Солнечной системы, — скажем, на альфе Центавра.

Но как насчет остальных планет? Каждая из них вращается вместе с Солнцем относительно общего центра гравитации. Некоторые планеты массивнее Земли и находятся дальше от Солнца, и оба эти фактора способствуют тому, чтобы отодвинуть центр тяжести от центра Солнца. Чтобы показать вам результат, я составил следующую таблицу (которой, кстати, не видел ни в одном учебнике астрономии).

Планета	Расстояние центра гравитации системы планета—Солнце от центра Солнца (в километрах)
Меркурий	10
Венера	129
Земля	448
Марс	72

Планета	Расстояние центра гравитации системы планета—Солнце от центра Солнца (в километрах)
Юпитер	740 298
Сатурн	402 336
Уран	128 748
Нептун	225 308
Плутон	2414

Радиус Солнца равен 695 559 километрам, так что центр гравитации во всех случаях, кроме одного, лежит под поверхностью Солнца. Исключением является Юпитер. Центр гравитации системы Юпитер—Солнце находится примерно в 48 000 километров *над* поверхностью Солнца (и всегда в направлении Юпитера, конечно).

Если бы в Солнечной системе существовали только Солнце и Юпитер, то наблюдатель на альфе Центавра, хотя и не смог бы увидеть Юпитер, смог бы в принципе заметить, что Солнце каждые двенадцать лет описывает крошечную окружность вокруг чего-то. Этим «чем-то» мог быть только центр гравитации системы, состоящей из Солнца и еще одного тела. Если бы наш наблюдатель имел примерное представление о массе Солнца, он смог бы сказать, насколько далеко должно находиться другое тело, вызывающее оборот с периодом в двенадцать лет. Исходя из этого расстояния, сравниваемого с радиусом круга, описываемого Солнцем, он смог бы вычислить массу второго тела. Таким образом, наблюдатель на альфе Центавра смог бы обнаружить присутствие Юпитера и вычислить его массу и расстояние от Солнца, даже не видя его.

Однако на самом деле колебания Солнца, вызванные Юпитером, все равно слишком малы, чтобы их можно было обнаружить с альфы Центавра (если предположить, что их приборы не лучше наших). Ситуацию еще ухудшает то, что Сатурн, Уран и Нептун (остальными планетами можно пренебречь) тоже вызывают колебания Солнца, которые осложняют его движение.

Но предположим, что вокруг Солнца вращалось бы тело, которое было бы значительнее массивнее Юпитера. Тогда Солнце описывало бы гораздо более крупную окружность и его орбита выглядела бы гораздо проще, поскольку воздействие остальных вращающихся тел перекрывалось бы этим супер-Юпитером. Конечно, с Солнцем это обстоит иначе, но нет ли вероятности, что у других звезд это именно так?

Да, действительно, это бывает именно так.

В 1834 году немецкий астроном Фридрих Вильгельм Бессель на основе долгих наблюдений пришел к выводу о том, что Сириус движется в небе по волнистой линии. Это можно было проще всего объяснить, предположив, что центр тяжести Сириуса и некого другого тела двигается по прямой линии, а волнистость вызвана обращением Сириуса (с периодом приблизительно в пятьдесят лет) вокруг центра гравитации.

Однако Сириус в два с половиной раза массивнее Солнца, и для того, чтобы он отклонился настолько сильно, насколько это показывали наблюдения, его спутник должен был оказаться намного массивнее Юпитера. В действительности он оказался примерно в тысячу раз массивнее Юпитера, то есть примерно такой же массы, как наше Солнце. И если мы назовем сам Сириус «Сириусом *A*», тогда этот тысячекратно юпитерианский спутник будет «Сириусом *B*». (Использование латинских букв стало стандартным приемом при именовании компонентов систем из нескольких звезд.)

Тело, равное по массе Солнцу, должно было быть звездой, а не планетой, однако, как Бессель ни старался, ему не удалось ничего увидеть рядом с Сириусом *А* там, где должен был бы находиться Сириус *В*. Казалось естественным заключить, что Сириус *В* — это догоревшая звезда, почерневший уголек, в котором закончилось горючее. В течение целого поколения астрономов Сириус *В* называли «темным спутником».

Однако в 1862 году американский изготовитель телескопов, Алван Грэм Кларк, испытывал новую восемнадцатидюймовую линзу, которую он только что изготовил. Он направил ее на Сириус, чтобы проверить четкость получающегося изображения и, к великой досаде, обнаружил, что в линзе имеется дефект: рядом с Сириусом оказалась искра света, которой там не должно было быть. К счастью, прежде чем вернуться к полировке, он проверил линзу и на других звездах — нет дефекта! Тогда он снова вернулся к Сириусу — и искра света возникла снова.

Это не было дефектом: Кларк на самом деле видел «темный спутник» Сириуса, который все-таки оказался не совсем темным, потому что имел восьмую величину. Однако из-за его удаленности он был если не темным, то очень слабым, потому что его световая отдача составляла всего $^{1}/_{120}$ от солнечной, но все-таки свечение под тем, что считали пеплом, оставалось.

Во второй половине XIX века стала распространяться спектроскопия. Определенные спектральные линии могли появиться только при определенных температурах, так что по спектру звезды стали выяснять температуру ее поверхности. В 1915 году американский астроном Уолтер Сидни Адамс сумел получить спектр Сириуса *В* и был изумлен тем, что это вовсе не слабо светящийся уголек: его поверхность даже несколько жарче, чем поверхность Солнца!

Но если Сириус *B* жарче Солнца, тогда почему его яркость составляет всего $^1/_{120}$ от солнечной? Единственным объяснением казалось предположение, что он намного меньше Солнца и потому имеет меньшую излучающую поверхность. Действительно, чтобы его температура согласовалась с низкой светоотдачей, его диаметр должен был составлять приблизительно 48 000 километров. Хотя Сириус *B* — это звезда, но размер ее примерно равен планете Уран. Он оказался более карликовым, чем астрономы могли предположить возможным для звезды, и при это он был раскален добела. Поэтому Сириус *B* и другие звезды этого типа стали называть «белыми карликами».

Однако и наблюдения Бесселя относительно массы Сириуса *B* оставались верными. Он все равно был примерно таким же массивным, как Солнце. Чтобы втиснуть такую массу в объем Урана, средняя плотность Сириуса *B* должна была равняться 38 000 килограммов на кубический сантиметр.

Двадцатью годами раньше это следствие открытия Адамса показалось бы настолько нелепым, что всю цепочку рассуждений просто отвергли бы — и сама идея оценки звездных температур по спектральным линиям подверглась бы серьезным сомнениям. Однако ко времени Адамса строение атома уже было установлено, и стало понятно, что практически вся атомная масса сосредоточена в крошечном ядре, расположенном в центре атома. Если бы атом можно было разрушить и центральные ядра могли бы сблизиться, то плотность Сириуса *B* (и плотности еще в миллионы раз большие) становилась представимой.

Сириус *B* никоим образом не является рекордно маленькой звездой или самой плотной. Звезда Ван Маанена (названная в честь своего открывателя) имеет диаметр всего 9733 километра, так что она меньше Земли и ненамного больше Марса. Она на одну седьмую массивнее нашего Солнца (примерно в 140 раз массивнее Юпитера), и этого достаточно, чтобы она была в пятнадцать раз плотнее Сириуса *В*. И один кубический сантиметр вещества со звезды Ван Маанена весит 530 тонн!

Но даже звезда Ван Маанена не является самой маленькой. Например, в 1963 году Уильям Люйтен из университета штата Миннесота открыл белый карлик с диаметром приблизительно 1800 километров. Всего-то в половину Луны...

Конечно, белые карлики не слишком подходят нам в качестве «маленьких звездочек». Они могут быть карликами по объему, но массой они равны Солнцу и являются гигантами с точки зрения плотности и мощности гравитационного поля. А как насчет по-настоящему маленьких звезд, которые были бы маленькими не только по объему, но и по массе и температуре?

Их трудно обнаружить. Когда мы смотрим на небо, мы автоматически проводим отбор. Мы видим крупные яркие звезды на расстоянии сотен световых лет во всех направлениях, а тусклые звезды мы едва различаем, даже когда они на самом деле находятся относительно близко.

Судя по тем звездам, которые мы видим, наше Солнце, конечно, является довольно малозначительным карликом, но мы можем получить более верную картину, ограничившись ближайшими к нам областями. Это — единственная часть пространства, где мы способны провести достаточно полный учет звезд, в том числе и самых тусклых.

Так, в пределах пяти парсеков ($16^1/_2$ световых лет) от нас в соответствии с перечнем, составленным Питером Ван де Кампом из колледжа Суортмор, имеется тридцать девять звездных систем, в том числе наша Солнечная система. Из них восемь включают два видимых компонента, а две включают три видимых компонента, так что общее число звезд равно пятидесяти одной. Из них только три звезды значительно ярче нашего Солнца, и их мы можем назвать «белыми гигантами».

Звезда	Удаленность (в световых годах)	Яркость (Солнце = 1)
Сириус А	8,6	23
Альтаир	15,7	8,3
Процион А	11,0	6,4

Затем идет дюжина звезд, которые столь же яркие или почти такие же яркие, как Солнце. Мы можем назвать их «желтыми звездами», не определяя того, являются ли они карликами или нет.

Звезда	Удаленность (в световых годах)	Яркость (Солнце = 1)
Альфа Центавра А	4,3	1,01
Солнце	—	1,00
70 Змееносца А	16,4	0,40
Тау Кита	11,2	0,33
Альфа Центавра В	4,3	0,30
Омикрон$_2$ Эридана	15,9	0,30
Эпсилон Эридана	10,7	0,28
Эпсилон Индейца	11,2	0,13
70 Змееносца В	16,4	0,08
61 Лебедя А	11,1	0,07
61 Лебедя В	11,1	0,04
Грумбридж 1618	14,1	0,04

Из четырех оставшихся звезд, каждая из которых имеет менее четверти яркости Солнца, четыре являются белыми карликами:

Звезда	Удаленность (в световых годах)	Яркость (Солнце = 1)
Сириус В	8,6	0,008
Омикрон$_2$ Эридана В	15,9	0,004
Процион В	11,0	0,0004
Звезда Ван Маанена	13,2	0,00016

После этого остается тридцать две звезды, которые не только значительно тусклее Солнца, но и значительно холоднее и потому явно выглядят красными. Конечно, существуют прохладные красные звезды, которые тем не менее остаются гораздо более яркими, чем наше Солнце, потому что их объемы просто гигантские (это — противоположность ситуации с белыми карликами). Такие огромные прохладные звезды — «красные гиганты», и поблизости от Солнца их нет. Самыми известными примерами являются Бетельгейзе и Антарес.

Прохладные красные маленькие звезды — это «красные карлики». Примером таких является ближайшая к нам звезда, третий и самый тусклый член системы альфа Центавра. Ее следовало бы называть альфа Центавра *С*, но благодаря близости к нам ее чаще называют Проксимой, или ближайшей Центавра. Она в $23 \cdot 10^3$ тускнее Солнца и, несмотря на ее близость, видна только в хороший телескоп.

Подведем итог. Вблизи от нас: красных гигантов — нет, белых гигантов — 3, желтых звезд — 12, белых карликов — 4 и красных карликов — 32. Если мы сочтем окрестности Солнца типичными (а у нас нет оснований думать иначе), тогда свыше половины звезд на небесах — это красные карлики, которые значительно тускнее Солнца. Действительно, наше Солнце по яркости находится в верхних 10 процентах звезд — вот вам и желтый карлик!

Красные карлики дают нам нечто новое. Когда я в начале главы обсуждал смещение Солнца, вызванное Юпитером, я указал на то, что если бы Юпитер был значительно больше, то и это смещение было бы значительно более сильным и потому его можно было бы наблюдать с других звезд.

Альтернативой будет звезда, которая окажется значительно менее массивной, чем Солнце. Ведь важна не абсолютная масса каждой составляющей, а отношение их масс. Так, соотношение Юпитер—Солнце составляет 1:1000, что приводит к неразличимому смещению. Однако соотношение масс двух компонентов системы Сириуса составляет 1:2,5, и его обнаружить легко.

Если бы масса звезды была равна, скажем, половине массы Солнца, а вокруг нее вращалось бы тело с массой в восемь раз больше массы Юпитера, то соотношение масс составит 1:60. Смещение будет не настолько легко различимым, как в случае Сириуса, но его возможно будет обнаружить.

Именно такое смещение было замечено в обсерватории Спраула в колледже Суортмор в отношении 61 Лебедя. На основе неравномерности движения одного из основных компонентов сделали вывод о существовании третьего компонента, 61 Лебедя *C* — тела с массой 0,008 от массы Солнца, то есть всего в восемь раз больше Юпитера. В 1960 году в той же обсерватории подобное смещение было обнаружено у звезды Лаланд 21185. У нее тоже оказался спутник — планета[1] в восемь раз массивнее Юпитера.

А в 1963 году та же обсерватория объявила о третьей планете, открытой вне Солнечной системы, на этот раз речь шла о звезде Барнарда. Ее в 1916 году открыл американский астроном Эдвард Эмерсон

[1] Планета — от греч. *planetes* — «блуждающая».

Барнард — и она оказалась очень необычной. Во-первых, эта звезда вторая по близости к нам, поскольку удалена всего на 6,1 светового года (три звезды альфа Центавра, считающиеся за единое целое, расположены в 4,3 светового года, а третья по близости, Лаланд 21185, расположена в 7,9 светового года. Далее идет Волк 359, а потом — две звезды системы Сириуса — в 8,0 и 8,6 световых лет соответственно).

Звезда Барнарда имеет самую высокую из всех известных скоростей — отчасти потому, что находится так близко. За год она смещается на 10,3 секунды дуги. На самом деле это не так много, потому что за пятьдесят лет после ее открытия она переместилась по небу меньше чем на 9 минут дуги (или примерно на четверть видимого диаметра Луны). Однако для «неподвижной» звезды это — невероятно быстрое перемещение, настолько быстрое, что эту звезду иногда называют «беглой звездой Барнарда», или даже «стрелой Барнарда».

Звезда Барнарда — красный карлик, имеющий примерно одну пятую массы Солнца и 0,0004 ее яркости (хотя она в девять раз ярче ближайшей Центавра).

Планета, вызывающая смещение звезды Барнарда, — это пояс звезды Барнарда. Она примерно в семьсот раз менее массивна, чем Солнце, и, следовательно, примерно в 1,2 раза массивнее Юпитера. Иначе говоря, она примерно в пятьсот раз массивнее Земли. Если она имеет такую же плотность, как у Юпитера, то это — планета с диаметром примерно 180 000 километров.

Все это довольно важно. Астрономы на чисто теоретической основе решили, что у большинства звезд есть планеты-спутники. И теперь мы обнаружили, что в непосредственной близости от нас по крайней мере три звезды имеют как минимум по одной планете. Учитывая то, что мы способны замечать только суперюпитерианские планеты, это — удивительный результат. У нашего Солца есть одна планета юпитерианского размера и восемь — субюпитерианских. Вполне естественно предположить, что у любой другой звезды с юпитерианской планетой будет иметься и семейство субюпитерианских. И конечно, должны существовать звезды, у которых будут только субюпитерианские планеты.

Короче, на основе открытия этих планет создается впечатление, что практически у всех звезд имеются планеты.

В начале XX века считалось, что солнечные системы появляются в результате столкновений или почти столкновений звезд, и потому полагали, что наличие планет — это чрезвычайная редкость. Теперь мы можем заключить, что верно обратное: на самом деле редким явлением будет одинокая звезда, не имеющая в качестве спутников другие звезды или планеты.

Однако красные карлики не так малы, как может показаться по их яркости. Даже самый маленький красный карлик, ближайшая Центавра, имеет массу не менее одной десятой Солнца. При этом звездные массы универсальны — гораздо более универсальны, чем звездные размеры, плотности или яркости. Массы практически всех звезд лежат в диапазоне от чуть более одной десятой Солнечной до не более чем в десять раз больше Солнечной — то есть в диапазоне, составляющем всего два порядка величин. И на это есть причина. С увеличением массы давление и температура в центре тела также увеличиваются, и количество получающегося излучения изменяется как четвертая степень от температуры. Иначе говоря, при увеличении температуры в десять раз яркость увеличится в десять тысяч раз. Поэтому звезды, чья масса превышает Солнечную более чем в десять раз, неустойчивы, так как давление, связанное с их мощнейшим излучением, быстро разрывает их на куски. В то время как у звезд, масса которых меньше Солнечной в десять раз, внутренние температура и давление недостаточно велики, чтобы запустить самоподдерживающуюся ядерную реакцию.

Верхняя граница довольно четкая. Слишком массивные звезды, не считая редких исключений, взрываются, так что можно считать, их просто не существует. Слишком легкие звезды просто не светятся, и их нельзя увидеть, так что низшая граница проведена по этому принципу. Но понятно, что световые тела могут существовать даже в том случае, если их нельзя увидеть.

Однако ниже самых маленьких светящихся звезд действительно находятся несветящиеся планеты. В нашей Солнечной системе мы имеем тела размерами вплоть до Юпитера, масса которого равна примерно 0,01 массы слабо светящейся ближайшей Центавра. Такое тело, как 61 Лебедя *С*, должно иметь массу в двенадцать раз меньшую, чем у ближайшей Центавра.

Несомненно, должны существовать и тела, которые заполнят оставшийся диапазон масс.

Юпитер, размеры которого крупны для планеты, не производит в своем центре достаточно тепла, чтобы разогреть свою же поверхность. То тепло, которое имеется на поверхности Юпитера, создается излучением Солнца. То же самое может относиться и к 61 Лебедя *С*.

Однако при рассмотрении еще более крупных планет должна иметься такая точка, когда внутреннее тепло тела, будучи недостаточным для запуска ядерной реакции, уже позволяет воде оставаться жидкой. Мы можем назвать такое тело суперпланетой. В конце концов, оно ведь излучает энергию в инфракрасном диапазоне? Такое тело не будет зримо светиться, но, если бы наши глаза могли воспринимать инфракрасные лучи, мы могли бы наблюдать такие тела в виде очень тусклых звезд. И поэтому их было бы справедливее назвать субзвездами, а не суперпланетами.

Гарлоу Шэйпли, почетный директор обсерватории Гарварда, считает возможным, что такие субзвезды имеются в космосе в больших количествах и что на них может даже существовать жизнь. Конечно, субзвезда с плотностью, подобной плотности Земли, имела бы диаметр приблизительно 240 000 километров, а сила тяжести на ее поверхности была бы примерно в восемнадцать раз больше земной. Однако для жизни, развивающейся в океанах, такая сила тяжести критического значения не имеет.

Есть ли вероятность того, что такая субзвезда (возможно, несущая на себе жизнь) может однажды подкатиться к Солнечной системе настолько близко, чтобы к ней были отправлены исследовательские экспедиции?

Мы не можем быть уверены в том, что такого не произойдет. В случае светящихся звезд мы способны обнаружить вторжение издалека — и можем быть уверены, что ни одна не приблизится к нам в течение миллионов лет. Однако субзвезда способна подкрасться незаметно: мы не будем знать о ее приближении. Она может оказаться совсем рядом — скажем, на расстоянии порядка двадцати четырех миллиардов километров, — прежде чем мы заметим ее присутствие за счет отражаемого ею света и гравитационного воздействия на наши дальние планеты.

Тогда человечество наконец сможет своими глазами увидеть, на что похожа такая «звездочка», — то оно получит ответ.

Только... она не будет мерцать.

Часть шестая

ОБЩАЯ

Глава 17
ИСААКОВСКИЕ ЛАУРЕАТЫ

Когда смотришь назад на месяцы или годы, появляется сильный соблазн выбрать лучших в той или иной категории. Это делали даже древние греки, выбирая «семь мудрецов» и «семь чудес света».

Мы сами постоянно выбираем — десять самых популярных актеров или десять самых сенсационных сообщений — или записываем американских президентов в порядке их заслуг. ФБР и органы правопорядка даже записывают преступников в порядке желательности их поимки.

Составление таких списков дает некое чувство собственного могущества. Ничем не примечательный человек вдруг обнаруживает, что может выносить суждения относительно выдающихся людей, принимая кого-то в сонм, а другого исторгая во тьму внешнюю. Поразмыслив, можно передвинуть *X* вверх по списку или понизить *Y*, поменяв при этом отношение мира к людям, которые были таким образом перемещены. Такая власть заставляет человека почувствовать себя почти богоравным.

Ну и могу ли я, столкнувшись с возможностью приобретения богоравной власти, этим не воспользоваться? Конечно не могу!

Так уж получилось, что я почти два года писал историю науки — и в процессе этого не смог не познакомиться, более или менее близко, с приблизительно тысячей ученых самых разных видов и сортов.

Тогда почему бы мне не составить список «десяти величайших ученых истории человечества»? Действительно, а почему бы и нет?

Я сел за стол, уверенный в том, что за десять секунд смогу выдать список из десяти лучших. Однако когда я привел мыслительный механизм в действие, мне стало страшно. Единственным ученым, который, как мне казалось, несомненно, имеет право находиться в этом списке — и который обязательно оказался бы в списке, составленном любым человеком, не являющимся полным идиотом, — был Исаак Ньютон.

Но как выбрать девять остальных?

Мне пришло в голову поступить так, как это делают в случае премии Академии киноискусства (и в других мероприятиях такого рода) — составить список кандидатов. Спустя какое-то время я обнаружил, что имею не менее семидесяти двух ученых, которых мог бы со спокойной совестью назвать великими. Из этого списка я мог потом медленно и путем последовательного исключения выбрать *мои* десять лучших.

Тут возникла новая проблема: я изменил бы американской культуре, если бы не вручил победителям именной приз. У кинематографистов есть «Оскар», у телевидения — «Эмми», у детективов — «Эдгар», у научной фантастики — «Хьюго». Все это — имена, и два последних даны в честь великих людей в соответствующей области — Эдгара Аллана По и Хьюго Гернсбака.

Итак, премию для моих великих ученых всех времен я могу назвать в честь величайшего из них, Ньютона. В ряду Оскаров, Эмми, Эдгаров и Хьюго пусть появится Исаак. Я буду вручать премии Исаака и выбирать исааковских лауреатов[1].

Итак, вот мой список номинантов с краткими примечаниями, объясняющими причину выбора. Номинанты представлены в алфавитном порядке, и я предупреждаю, что их выбор — исключительно мой собственный и не опирается ни на какие другие авторитеты.

Аристотель (384—322 до н. э.) — греческий философ. Упорядоченно записал все древние знания. Классифицировал живые существа и делал неуверенные шаги в сторону эволюционистских идей. Его логические рассуждения показали, что Земля круглая (см. главу 15), и создали мировую систему, которая была неверной, но могла бы оказаться в высшей степени плодотворной, если бы последующие поколения не восхищались им так рабски.

Аррениус Сванте Август (1859—1927) — шведский физик и химик. Создал теорию электролитической диссоциации, которая стала основой современной электрохимии. Лауреат Нобелевской премии 1903 года.

Архимед (287?—212 до н. э.) — греческий математик. Считается величайшим математиком и инженером древности. Открыл законы рычага и плавучести. Вычислил довольно точное значение π с помощью процесса исчерпывания и при этом чуть было не изобрел дифференциальное и интегральное исчисление (см. главу 4).

Берцелиус Йенс Якоб (1779—1848) — шведский химик. Первым создал точную таблицу атомных весов. Придумал химические символы, которые

---

[1] А если кто-то предположит, что выбор имени сделан не в честь Ньютона, то пусть попробует это доказать. И какой еще вариант тут возможен? (Isaak, *англ.* — Айзек).

и сейчас используются для записи формул. Стал основателем электрохимии и заметно усовершенствовал методы анализа неорганических веществ.

Бойль Роберт (1627–1691) – британский физик и химик ирландского происхождения. Первым количественно изучил свойства газов. Первым предложил рабочее определение элемента.

Бор Нильс (1885–1962) – датский физик. Первым применил квантовую теорию к строению атома и показал связь между уровнями энергии электронов и спектральными линиями. Предложил распределение электронов по «оболочкам» и объяснил периодическую систему элементов. Лауреат Нобелевской премии 1922 года.

Бройль Луи де (1892–1987) – французский физик. Выдвинул идею о волновых свойствах материи, которая легла в основу современной квантовой механики. Лауреат Нобелевской премии 1929 года.

Вант-Гофф Якоб Хендрик (1852–1911) – нидерландский физикохимик. Выдвинул теорию тетраэдрального атома углерода, благодаря которой молекулярная структура могла описываться в трех измерениях. Внес большой вклад к химическую термодинамику. Лауреат Нобелевской премии 1901 года.

Везалий Андреас (1514–1564) – бельгийский анатом. Изложил свои анатомические наблюдения в книге с классически прекрасными иллюстрациями. Она исправила древние ошибки в анатомии и придала науке ее современный вид. Будучи опубликована в 1543 году (в один год с книгой Коперника), она начала научную революцию в биологических науках.

Вёлер Фридрих (1800–1882) – немецкий химик. Первым синтезировал органическое соединение (мочевину) из неорганических исходных веществ, тем самым основав современную органическую химию.

Вирхов Рудольф (1821—1902) — немецкий патолог. Изучал болезни с клеточной точки зрения и считается основателем современной патофизиологии. Он также боролся за реформу санитарии и был одним из основателей современной гигиены.

Вольта Алессандро (1745—1827) — итальянский физик. Сконструировал первую химическую батарею и положил начало исследованиям электрического тока.

Галилей Галилео (1564—1642) — итальянский астроном и физик. Изучал движение падающих тел, разрушив Аристотелеву систему мира и заложив основу ньютоновской. Он пропагандировал эксперименты и количественные измерения и стал самым главным основателем экспериментальной науки. Он первым навел телескоп на небо и основал современную астрономию.

Галлей Эдмунд (1656—1742) — английский астроном. Первым провел систематическое изучение южных звезд. Вычислил орбиты комет и показал, что они подчиняются законам гравитации.

Гарвей Уильям (1578—1657) — английский физиолог. Первым применил в биологии математические и экспериментальные методы. Продемонстрировал наличие кровообращения, разрушив древние теории и основав современную физиологию.

Гаусс Карл Фридрих (1777—1855) — немецкий математик и астроном. Возможно, величайший математик всех времен. В естественных науках разработал метод расчета орбит планет на основе трех наблюдений и внес важный вклад в изучение электричества и магнетизма (см. главу 5).

Гейзенберг Вернер (1901—1976) — немецкий физик. Сформулировал принцип неопределенности — понятие, имеющее большую силу в современной физике. Первым определил протонно-нейтронное строение атомного ядра и таким образом стал основателем современной ядерной физики. Лауреат Нобелевской премии 1932 года.

Гей-Люссак Жозеф (1778—1850) — французский химик и физик. Открыл несколько главных законов газов и первым поднялся на воздушном шаре, чтобы проводить научные измерения на больших высотах.

Гельмгольц Герман Людвиг Фердинанд фон (1821—1894) — немецкий физик и физиолог. Выдвинул теорию цветного зрения и слуха, провел важные исследования света и звука. Первым ясно и точно высказал закон сохранения энергии.

Генри Джозеф (1797—1878) — американский физик. Сконструировал первый крупномасштабный электромагнит и изобрел электромагнитное реле, которое стало основой телеграфа. Изобрел электродвигатель, который является основой многих современных электроприборов.

Гершель Уильям (1738—1822) — немецкий и английский астроном. Открыл планету Уран, первую из открытых в исторические времена. Основал современные исследования звездной астрономии, изучая двойные звезды, движение звезд и т. д. Первым попытался определить форму и размер нашей Галактики.

Герц Генрих Рудольф (1857—1894) — немецкий физик. Открыл радиоволны, тем самым подтвердив предсказания Максвелла относительно электромагнитного спектра (см. главу 10).

Гибб Джозайя Уиллард (1839—1903) — американский физик и химик. Применил методы термодинамики к химии и создал и подробно разработал химическую термодинамику, которая является ядром современной физической химии.

Гиппарх (II в. до н. э.) — греческий астроном. Величайший из исследователей неба. Разработал эпициклическую теорию Солнечной системы с Землей в центре. Усовершенствовал систему широты и долготы, создал первую звездную карту и открыл предварение равноденствий (см. главу 15).

Гюйгенс Христиан (1629–1695) – голландский математик, физик и астроном. Изобрел первые часы с маятником, тем самым основав искусство точного измерения времени. Усовершенствовал телескоп и открыл кольца Сатурна. Первым предложил волновую теорию света.

Дальтон Джон (1766–1844) – английский химик. Открыл закон множественных пропорций в химии, что привело его к формулированию атомной теории, послужившей ключевым унифицирующим понятием современной химии.

Дарвин Чарльз (1809–1882) – английский натуралист. Разработал теорию эволюции путем естественного отбора, которая стала центральной и объединяющей темой современной биологии (см. главу 13).

Дэви Хамфри (1778–1829) – английский химик. Доказал значение электрохимии, используя электрический ток для получения элементов, которые прежде невозможно было получить обычными химическими методами. В их числе такие элементы, как натрий, калий, кальций и барий.

Кавендиш Генри (1731–1810) – английский физик и химик. Открыл водород и определил массу Земли. Практически открыл аргон и первым исследовал электричество (см. главу 11)

Канниццаро Стансилао (1826–1910) – итальянский химик. Установил пользу атомных весов при химических расчетах и составлении формул органических соединений.

Кекуле фон Страдониц (1829–1896) – немецкий физик. Создал современный метод изображения органических молекул с линиями, представляющими собой валентные связи, которых у атома углерода четыре. Это привнесло порядок в хаос органической химии.

Кельвин Уильям Томсон, лорд (1824—1907) — шотландский физик. Предложил абсолютную шкалу температур, выполнил важные теоретические работы по электричеству и был среди тех, кто создали понятие энтропии.

Кеплер Иоганн (1571—1630) — немецкий астроном. Установил эллиптический характер планетных орбит и сделал обобщения относительно закономерностей их движения. Тем самым он создал современную модель Солнечной системы и устранил эпициклы, которые управляли астрономическим мышлением в течение почти двух тысяч лет.

Кирхгоф Густав Роберт (1824—1887) — немецкий физик. Использовал спектроскоп в химическом анализе, тем самым создав современную спектроскопию и заложив основу современной астрофизики. Он первым изучал излучение черного тела, что в конце концов сделало возможным создание квантовой теории.

Коперник Николай (1473—1543) — польский астроном. Высказал гелиоцентрическую теорию Солнечной системы, с Солнцем в центре и Землей, вращающейся вокруг него в качестве одной из планет. Вызвал научную революцию в физических науках (см. главу 15).

Кох Роберт (1843—1910) — немецкий бактериолог. Выделил бактерии туберкулеза и сибирской язвы. Первым разработал системные методы выращивания чистых штаммов бактерий и установил правила обнаружения болезнетворного агента, вызывающего заболевание. Лауреат Нобелевской премии 1905 года.

Крик Фрэнсис (1916—2004) — английский физик и биохимик. Открыл спиральную структуру

ДНК, что стало ключевым прорывом в современной молекулярной биологии. Лауреат Нобелевской премии 1962 года.

Кювье Жорж (1769—1832) — французский биолог. Основатель сравнительной анатомии и, благодаря системному изучению окаменелостей, основатель палеонтологии.

Кюри Мари (Склодовская-Кюри) (1867—1934) — польский и французский химик. Ее исследования радиоактивности сделали это явление знаменитым. Открыла радий. Лауреат Нобелевских премий 1903 года (физика) и 1911 года (химия). Первая в истории получила две Нобелевские премии.

Лавуазье Антуан (1743—1794) — французский химик. Первым популяризовал количественные методы в химии. Установил природу горения и состав атмосферы. Высказал закон сохранения материи. Ввел современную систему терминологии для наименования химических соединений и написал первый современный учебник по химии (см. главу 11).

Лаплас Пьер (1749—1827) — французский математик и астроном. Детально разработал гравитационную механику Солнечной системы и показал, что она устойчива.

Леверье Урбан (1811—1877) — французский астроном. Разработал методы расчетов, предсказавших положение тогда не открытого Нептуна. Это было величайшей победой теории гравитации и самым значительным событием в истории астрономии.

Либих Юстус фон (1803—1873) — немецкий химик. Разработал методы количественного анализа органических соединений. Первым интенсивно изучал химические удобрения и потому стал основателем сельскохозяйственной химии.

Линней Карл (1707—1778) — шведский ботаник. Тщательно классифицировал все известные ему виды, объединив их в семейства, расположил родственные семейства в порядки, а родственные порядки — в классы, создав таким образом таксономию. Он придумал систему двойных наименований, в которой каждый вид получал общее и видовое название.

Лоуренс Эрнест Орландо (1901—1958) — американский физик. Изобрел циклотрон, первое устройство для проведения крупномасштабных искусственных ядерных реакций. Современные технологии ядерной физики рассчитаны на циклотроны и производные устройства. Лауреат Нобелевской премии 1939 года.

Майкельсон Альберт (1852—1931) — немецкий и американский физик. Точно определил скорость света. Изобрел интерферометр и использовал его, чтобы показать, что свет движется с постоянной скоростью во всех направлениях, несмотря на движение Земли. Это послужило основой теории относительности (см. главу 9). Лауреат Нобелевской премии 1907 года.

Максвелл Джеймс Клерк (1831—1879) — шотландский физик. Разработал уравнения, ставшие основой понимания электромагнетизма. Показал, что свет является электромагнитным излучением, и предсказал наличие таких излучений в неизвестных на то время диапазонах. Разработал кинетическую теорию газов, один из основных блоков физической химии (см. главу 8).

Менделеев Дмитрий (1834—1907) — русский химик. Создал периодическую систему элементов, которая оказалась важным объединяющим понятием химии. Значение таблицы было доказано его красивым предсказанием свойств на ту пору не открытых элементов.

Мендель Грегор (1822—1884) — австрийский ботаник. Его изучение растений гороха стало основой науки генетики, хотя разработанные им законы наследственности оставались в течение его жизни неизвестными (см. главу 13).

Мозли Генри (1887—1915) — английский физик. Изучал рентгеновское излучение элементов и показал, каким образом электрический заряд атомного ядра меняется от элемента к элементу. Это привело к понятию атомного числа, которое заметно улучшило теорию, лежащую в основе периодической таблицы элементов.

Ньютон Исаак (1642—1727) — английский физик и математик. Изобрел дифференциальное и интегральное исчисление, создав тем самым современную математику. Открыл сложную природу белого света, основав современную оптику. Изготовил первый телескоп-рефлектор. Открыл законы движения и теорию всемирного тяготения, заменив Аристотелеву картину мира гораздо лучшей.

Оствальд Фридрих Вильгельм (1853—1932) — немецкий физикохимик. Основал современную физическую химию. Изучал электролитическую диссоциацию. Предложил современный взгляд на катализ как на поверхностное явление. Лауреат Нобелевской премии 1909 года.

Пастер Луи (1822—1895) — французский химик. Вел передовые исследования в области стереохимии. Выдвинул микробную теорию болезней, тем самым основав современную медицину. Разработал впечатляющие методы вакцинации против различных болезней.

Перкин Уильям (1838—1907) — английский химик. Положил начало расцвету химии органического синтеза, синтезировав анилиновый пурпур — первый из анилиновых красителей. Также синтезировал кумарин, основав парфюмерную синтетическую промышленность.

Планк Макс Карл Эрнст Людвиг (1858—1947) — немецкий физик. Разработал квантовую теорию, объяснявшую излучение черного тела. Эта теория рассматривает энергию как нечто прерывистое, состоящее из дискретных элементов или квантов. Это новое понимание оказалось настолько основополагающим, что физику принято делить на «классическую» (до Планка) и «современную» (со времени Планка). Лауреат Нобелевской премии 1918 года.

Полинг Лайнус Карл (1901–1994) — американский химик. Применил квантовую теорию к структуре молекул, предложив новый и более удобный взгляд на валентность и создав современную теоретическую органическую химию. Первым предположил спиральное строение крупных органических молекул, таких как белки, что привело к работе Крика. Лауреат Нобелевских премий 1954 года (химия) и 1963 года (мира). Второй человек, получивший две Нобелевские премии.

Пристли Джозеф (1733–1804) — английский химик. Открыл кислород (см. главу 11).

Резерфорд Эрнест (1871–1937) — английский физик, родившийся в Новой Зеландии. Сформулировал теорию атомного ядра, по которой атом содержал крошечное центральное ядро, окруженное облаками электронов. Это положило начало физике элементарных частиц. Резерфорд первым провел искусственную ядерную реакцию, превратив один элемент в другой. Лауреат Нобелевской премии 1908 года.

Рентген Вильгельм Конрад (1845–1923) — немецкий физик. Открыл рентгеновские лучи, что считается началом Второй научной революции. Лауреат Нобелевской премии 1901 года.

Содди Фредерик (1877–1956) — английский химик. Создал изотопную теорию элементов, а вместе с ней — частности процесса радиоактивного распада. Лауреат Нобелевской премии 1921 года.

Томсон Джозеф Джон (1856—1940) — английский физик. Первым точно установил, что катодный луч состоит из частиц, значительно меньших, чем атом, следовательно, открыватель электрона и основатель изучения субатомных (элементарных) частиц. Лауреат Нобелевской премии 1906 года.

Фалес (640?—546 до н. э.) — греческий философ. Основатель рационализма и традиции, которая привела к созданию современной науки.

Фарадей Майкл (1791—1967) — английский химик и физик. Выдвинул понятие «силовых линий». Создал первый электрогенератор, способный преобразовывать механическую энергию в электрическую. Разработал законы электрохимии и стал первопроходцем в области низких температур.

Ферми Энрико (1901—1954) — итальянский и американский физик. Исследовал бомбардировку урана нейтронами, положив начало работам, которые привели к созданию атомной бомбы, в разработке которой он явился ключевой фигурой. Выдающийся теоретик в области субатомной физики. Лауреат Нобелевской премии 1938 года.

Франклин Бенджамин (1706—1790) — американский универсал. Показал электрическую природу молнии и изобрел громоотвод. Высказал идею о том, что электричество — это единая жидкость, в которой положительный заряд представляет ее избыток, а отрицательный — недостаток.

Фрейд Зигмунд (1856—1939) — австрийский невролог. Основатель психоанализа. Произвел революцию в понимании психических болезней.

Хаббл Эдвин (1889—1953) — американский астроном. Его исследования дальних галактик показали, что Вселенная расширяется. Создал первую картину известной Вселенной.

Хаттон (Геттон) Джеймс (1726—1797) — шотландский геолог. Основал современную геологию.

Первым подчеркнул медленное, длящееся эпохи изменение земной коры под воздействием напряжений, которые продолжаются в настоящее время и поддаются измерению.

Шванн Теодор (1810—1882) — немецкий зоолог. Открыл первый животный энзим, пепсин. Внес вклад в опровержение теории спонтанной генерации. Внес самый большой вклад в создание клеточной теории, которая практически является атомной теорией биологии.

Шееле Карл Вильгельм (1742—1786) — немецкий и шведский химик. Открыл или был участником открытия около полудюжины элементов, а также разнообразных органических и неорганических соединений.

Эйнштейн Альберт (1879—1955) — немецкий, швейцарский и американский физик. Доказал квантовую теорию, сформулированную Планком. Разработал теорию относительности, которая дала более широкую и полезную картину мира, чем ньютоновская. Лауреат Нобелевской премии 1921 года.

Эрлих Пауль (1854—1915) — немецкий бактериолог. Первым окрасил бактерии. Создал методы лечения болезней с помощью иммунных сывороток и также открыл химические соединения, излечивающие определенные болезни, в частности сифилис. Потому считается основателем как сывороточной терапии, так и химиотерапии. Лауреат Нобелевской премии 1908 года[1].

---

[1] Я повторяю, что этот список, возможно, чересчур консервативен. Можно выдвинуть аргументы в пользу того, чтобы в него были включены такие люди, как Гиппократ, Евклид, Леонардо да Винчи, Роберт Годдард, Чарльз Таунс, Эмиль Фишер и так далее.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Часть четвертая
БИОЛОГИЯ

Часть пятая
АСТРОНОМИЯ

Часть шестая
ОБЩАЯ

Научно-популярное издание

Азимов Айзек

ЧЕТВЕРТОЕ ИЗМЕРЕНИЕ

От Аристотеля до Эйнштейна

Ответственный редактор *Ю.И. Шенгелая*

Художественный редактор *И.А. Озеров*

Технический редактор *Н.В. Травкина*

Корректор *О.А. Левина*

Подписано в печать с готовых диапозитивов 23.03.2006
Формат 76x90 1/32. Бумага типографская. Гарнитура «Петербург»
Печать офсетная. Усл. печ. л. 11,34. Уч.-изд. л. 10,92
Тираж 6 000 экз. Заказ № 1908

ЗАО «Центрполиграф»
125047, Москва, Оружейный пер., д. 15, стр. 1,
пом. ТАРП ЦАО

Для писем:
111024, Москва, 1-я ул. Энтузиастов, 15
E-MAIL: CNPOL@DOL.RU

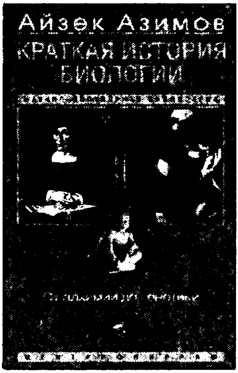
WWW.CENTRPOLIGRAF.RU

Отпечатано в полном соответствии с качеством
предоставленных диапозитивов
в ОАО «ИПК «Ульяновский Дом печати»
432980, г. Ульяновск, ул. Гончарова, 14
Оцифровка - Давид Титиевский, ноябрь 2016 г., Хайфа

Книга-почтой

Айзек Азимов
КРАТКАЯ ИСТОРИЯ БИОЛОГИИ

Знаменитый писатель-фантаст, ученый с мировым именем, великий популяризатор науки, автор около 500 научно-популярных, фантастических, детективных, исторических и юмористических изданий приглашает вас в увлекательное путешествие по просторам науки о живой природе, географии, истории, языкознанию.



В книге повествуется о сложном пути развития биологии со времен глубокой древности до наших дней. Вы узнаете о врачах и философах Античности, о монахах и алхимиках Средневековья, о физиках, геологах и палеонтологах века Просвещения, о современных ученых, внесших огромный вклад в науку, которая стала родоначальницей многих суперсовременных научных направлений. В книге также много интересных и остроумных историй об иллюзиях и суевериях, открытиях и феноменах, гипотезах и перспективах сложной науки биологии.

Книги А. Азимова — это оригинальное сочетание научной достоверности, яркой образности, мастерского изложения.

Также вышли в свет:

Занимательная мифология
Ближний Восток
Египтяне
Земля Ханаанская
Римская республика
Римская империя
История Англии
Расы и народы
Человеческий мозг
Кровь: река жизни
Мир измерений
В мире чисел
О времени и пространстве
Земля и космос
Царство Солнца
Занимательная арифметика
Загадки микрокосмоса
Часы, по которым мы живем
Популярная анатомия
Миры внутри миров
Темные века

Твердый переплет, формат 104×186 мм, объем 208—464 с.

Айзек Азимов

ЧЕТВЕРТОЕ ИЗМЕРЕНИЕ

Знаменитый писатель-фантаст, ученый с мировым именем, великий популяризатор науки, автор около 500 научно-популярных, фантастических, детективных, исторических и юмористических изданий приглашает вас в увлекательный мир научных открытий.

Азимов рассказывает об истории науки, пишет о наиболее известных заблуждениях знаменитых ученых, об ошибках, которые так или иначе способствовали приближению к истине. Автор приводит интересные примеры из истории развития математики, физики, химии, биологии и астрономии, рассматривает труды ученых прошлого и настоящего: Аристотеля, Эйнштейна, Ньютона, Менделеева, Фарадея и многих других. Благодаря проведенным параллелям мы видим, как наука прошлого повлияла на развитие науки настоящего...

Книги А. Азимова — это оригинальное сочетание научной достоверности, яркой образности, мастерского изложения.

ISBN 5-9524-2262-4

9 785952 422629

Ц Е Н Т Р П О Л И Г Р А Ф