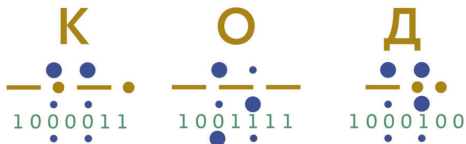


Тайный язык информатики



Чарльз Петцольд

Чарльз Петцольд

Код. Тайный язык

информатики

Текст предоставлен правообладателем

http://www.litres.ru/pages/biblio_book/?art=48447357

Чарльз Петцольд. Код. Тайный язык информатики: Манн, Иванов и

Фербер; Москва; 2019

ISBN 978-5-00117-545-2

Аннотация

Книга «Код» представляет собой увлекательное путешествие в прошлое – мир электрических устройств и телеграфных машин. Знакомство с прообразами первых компьютеров позволит читателю с любым уровнем технической подготовки узнать о том, как работают современные электронные устройства.

Содержание

Информация от издательства	4
Предисловие к оригинальному изданию	6
Глава 1. Лучшие друзья	11
Глава 2. Коды и комбинации	23
Глава 3. Брайль и двоичные коды	33
Глава 4. Устройство фонарика	47
Глава 5. Заглядывая за угол	70
Глава 6. Телеграфы и реле	86
Конец ознакомительного фрагмента.	88

Чарльз Петцольд. Код. Тайный язык информатики

Информация от издательства

Научные редакторы Валерий Артюхин, Азат Гизатулин
Издано с разрешения Pearson Education, Inc.

Книга рекомендована к изданию Дмитрием Воротилиным, Юрием Коровкиным, Александром Самохваловым, Ольгой Соминой

Все права защищены.

Никакая часть данной книги не может быть воспроизведена в какой бы то ни было форме без письменного разрешения владельцев авторских прав.

© Authorized translation from the English language edition, entitled Code: The Hidden Language of Computer Hardware and software, 1st Edition; ISBN: 0735611319; by Petzold, Charles; published by Pearson, representing Microsoft Press

© 2000 by Charles Petzold. All rights reserved. No part of this book may be reproduced or transmitted in any form or by any means, electronic or mechanical, including photocopying, recording or by any information storage retrieval system, without

permission from Pearson Education, Inc.

Russian language edition published by Mann, Ivanov, and Ferber Publishers. Copyright © 2019.

All rights reserved.

© Перевод на русский язык, издание на русском языке, оформление. ООО «Манн, Иванов и Фербер», 2019

* * *

Предисловие к оригинальному изданию

Замысел «Кода» я вынашивал лет десять. И тогда, и во время работы над рукописью, и даже когда книга вышла из типографии многие спрашивали: «О чем она?»

Я всегда отвечал уклончиво, бормотал что-нибудь в духе: «Необычная экскурсия по истории цифровых технологий, сформировавших современную эпоху» – в надежде, что этого будет достаточно. Но в какой-то момент мне пришлось признать: «Код» – это книга о том, как устроены компьютеры.

Как я и опасался, отклики были неблагоприятными. На возражение в духе: «А-а, у меня уже есть такая книга» – я немедленно парировал: «Отнюдь, такой – нет». И по-прежнему так считаю. «Код» не похож на прочие книги «о компьютерах». В нем нет больших цветных иллюстраций с дисковыми, где стрелками показано, как данные поступают в компьютер, нет рисунков, где паровозик в товарных вагончиках везет нули и единички. Метафоры и сравнения чудесны в своей буквальности, но они ни на что не годны, лишь затмевают красоту технологий.

Мне говорили: «А кому интересно, как работают компьютеры?» Верное замечание. Мне, например, нравится вникать

в устройство приборов, но я хочу сам решать, когда это делать. Так, описать, как работает мой холодильник, я смогу лишь под пыткой.

Однако окружающие часто задают вопросы, свидетельствующие об их интересе к внутреннему устройству компьютера. Типичный пример: «Чем отличается оперативная память от дисковой?» Естественно, это важный вопрос. Такие понятия составляют основу маркетинга ПК. Даже начинающему пользователю требуется знать, сколько *мегов* одного и *гигов* другого потребуется для конкретного приложения. Кроме того, новичок должен представлять, что такое файл, как он загружается с диска в память, а затем сохраняется там.

На вопрос о дисковой и оперативной памяти принято отвечать: «Память похожа на столешницу, а диск – на ящики стола». В принципе неплохой ответ, но мне он кажется неудовлетворительным. Создается впечатление, будто архитектура компьютера разрабатывалась по образу и подобию бюро. На самом деле разница между оперативной и дисковой памятью – искусственная и обусловлена отсутствием единого энергонезависимого и при этом быстро работающего носителя. Так называемая архитектура фон Неймана, доминирующая в компьютерной индустрии уже более 50 лет, возникла в результате этого технического изъяна. Когда меня спрашивали, как запускать программы для Macintosh под Windows, я впадал в ступор, осознавая, что для ответа придется затронуть массу технических тонкостей, которые со-

беседник явно сразу не поймет.

Хочу, чтобы с помощью «Кода» вы научились разбираться во всех этих вещах настолько, чтобы смогли потягаться с электротехниками и программистами. Надеюсь, вы оцените, каким достижением является компьютер среди технологий XX века, и прочувствуете его красоту саму по себе, без метафор и сравнений.

По сути, компьютеры иерархичны: на самом нижнем уровне располагаются транзисторы, а венчает все информация, которая выводится на монитор. В книге мы будем держиваться этой иерархии. В принципе, книга и структурирована от уровня к уровню. И этот путь не столь сложен, как может показаться. Да, в современном компьютере происходит масса всякой всячины, но это самые обычные и простые операции.

Хотя в настоящее время компьютеры сложнее, чем четверть или полвека назад, они не изменились фундаментально. Вот почему изучать историю техники так здорово: чем сильнее углубляешься в прошлое, тем проще становятся технологии. Именно поэтому легко добраться до точки, где понятно решительно все.

В книге «Код» я заглянул настолько далеко в прошлое, насколько смог. Сам поразился, что удалось добраться до XIX века и на примере первых телеграфных машин объяснить устройство компьютера. Теоретически все, о чем говорится в первых 17 главах, легко собирается из простейших

электрических компонентов, которые в ходу уже более века.

Думаю, благодаря всей этой винтажной технике при чтении вы испытаете некоторую ностальгию. Книгу «Код» невозможно было бы озаглавить «Еще быстрее, еще технологичнее» или «Сверхскоростной бизнес на цифровых нейронах»: определение бита дается лишь на 79-й странице, байта – на 199-й. Транзисторы впервые упоминаются на 156-й странице, и то вскользь.

Итак, пусть «Код» и весьма основательно объясняет устройство компьютера (найдется немного других книг, где описано, например, как именно работает процессор), стиль книги вполне развлекательный. Несмотря на глубину темы, я старался устроить читателю максимально комфортную прогулку. Без всяких вагончиков с нулями и единицами.

Чарльз Петцольд

16 августа 2000 года

[Код]

За. Система сигналов для представления букв и цифр при передаче сообщений.

б. Система символов, букв или слов, которым присваиваются некоторые произвольно подобранные значения. Используется для передачи сообщений в случаях, когда требуется добиться конфиденциальности или краткости.

4. Система символов, применяемая для

представления компьютерных команд...

Словарь английского языка американского наследия

Глава 1. Лучшие друзья

Вам десять лет. Ваш лучший друг живет на другой стороне улицы, напротив. Даже окна ваших спален обращены друг к другу. Каждый вечер родители объявляют отбой в безбожно ранний час, а вам еще хочется пообщаться, поделиться мыслями, наблюдениями, секретами, сплетнями, шутками и мечтами. Никто не вправе вас за это упрекнуть. В конце концов, стремление к коммуникации – одно из наиболее характерных человеческих качеств.

Пока в спальнях горит свет, можно помахать друг другу из окон и, полагаясь на примитивный язык тела, жестикулируя, обменяться парой мыслей. Однако передавать таким образом сложную информацию вряд ли удастся. И как только родители скомандуют: «Погаси свет!» – ситуация кажется безнадежной.

Как общаться? Может, по телефону? А был ли у вас в комнате телефон, когда вам было десять? Даже если так, то, где бы он ни находился, вас подслушают. Если ваш домашний компьютер подключен к телефонной линии, возможно, через него удастся поболтать бесшумно, но, опять же, компьютера в комнате нет.

Однако у вас с другом есть карманные фонарики. Все знают, что такой фонарик изобрели специально для чтения книжки под одеялом, но он отлично подходит для ночной

коммуникации. Такая связь практически бесшумна, а луч света бьет прицельно, и, пожалуй, его не заметишь в щель под дверью. Бдительные домашние ничего не заподозрят.

Можно ли общаться при помощи вспышек? Попробовать точно стоит. В первом классе вы учились писать на бумаге слова и буквы, поэтому кажется уместным экстраполировать эти знания на обмен сигналами. Просто встаньте у окна и попытайтесь рисовать буквы светом. Чтобы написать *O*, включите фонарик, опишите им круг в воздухе, а потом выключайте. *I* – это вертикальная палочка. Но, как вы вскоре убедитесь, этот метод просто не работает. Наблюдая за фонариком друга, которым тот выводит в воздухе буквы, вы поймете, как сложно мысленно скомпоновать эти штрихи во что-то цельное. Завитушки и мазки света не слишком *точные*.

Наверняка вы видели в фильмах, как два морехода сигнализировали друг другу над водой мерцающими фонариками, один шпион покачивал зеркальцем, направляя свет сообщнику в другую комнату. Кажется, вот решение.

Сначала разработаем простой метод. Каждая буква алфавита соответствует последовательности бликов. Таким образом, один блик будет означать *A*, два – *B*, три – *V* и т. д. Для *Я* уже понадобятся 33 блика. Слово «ГДЕ» – 4 блика + 5 бликов + 6 бликов, которые передаются с небольшими паузами, чтобы не перепутать эту серию с 15 бликами, то есть с *H*. Паузы-пробелы между словами должны быть чуть длиннее.

Но вот что скажу: махать фонариком в воздухе больше не

понадобится. Достаточно направить его куда нужно и нажать на кнопочку. Но здесь возникает другая проблема: одно из первых сообщений, которое вы решите отправить («Как дела?»), растянется на 44 вспышки! Более того, придется забыть о пунктуации, ведь неизвестно, сколько бликов соответствуют вопросительному знаку.

Однако вы уже у цели. Вы предполагаете, что кто-то уже сталкивался с такой проблемой. Рано утром вы отправляетесь в библиотеку на поиски и узнаете о чудесном изобретении под названием «азбука Морзе». *Вот* то, что нужно, пусть даже теперь придется переучиваться, как пишутся все буквы алфавита.

В чем разница: в изобретенной вами системе каждой букве алфавита соответствует определенное количество бликов, от 1 для *А* до 33 для *Я*. В азбуке Морзе два вида бликов: краткие и длинные. Разумеется, при этом код Морзе получается сложнее, но на практике оказывается гораздо эффективнее. Теперь словосочетание «Как дела?» состоит всего из 24 бликов, а не из 44, причем *с учетом* кода вопросительного знака.

Обсуждая принцип работы азбуки Морзе, принято говорить не о долгих и кратких бликах, а о точках и тире, поскольку при помощи этих знаков удобно изображать код на печатной странице. В азбуке Морзе каждой букве алфавита соответствует краткая серия точек и тире, показанная в таблице на следующей странице.

Пусть азбука Морзе и не связана с компьютером, она помогает познать суть кода, а это важная предпосылка для глубокого понимания тайных языков и внутреннего устройства компьютерного харда и софта.

В этой книге слово «код» обычно означает систему передачи информации между людьми и машинами. Иными словами, код обеспечивает коммуникацию. Иногда покажется, что код – это шифр, но большинство кодов таковыми не являются, хотя и должны быть понятными, поскольку лежат в основе человеческого общения.

В начале романа «Сто лет одиночества» Габриэль Гарсия Маркес вспоминает времена, когда «мир был еще таким новым, что многие вещи не имели названия, и на них приходилось показывать пальцем». Создается впечатление, что лексемы присваиваются понятиям совершенно произвольно. Сложно понять, почему собаку называют собакой, а кошку – кошкой. Можно сказать, что словарь – это своеобразный код.

A	• —	R	• — •	A	• —	P	• — •
B	— • • •	S	• • •	Б	— • • •	С	• • •
C	— • — •	T	—	В	• — —	Т	—
D	— • •	U	• • —	Г	— — •	У	• • —
E	•	V	• • • —	Д	— • •	Ф	• • — •
F	• • — •	W	• — —	Е	•	Х	• • • •
G	— — •	X	— • • —	Ё	•	Ц	— • — •
H	• • • •	Y	— • — —	Ж	• • • —	Ч	— — — •
I	• •	Z	— — • •	З	— — • •	Ш	— — — —
J	• — — —			И	• •	Щ	— — • —
K	— • —			Й	• — — —	Ъ	— — • — —
L	• • • •			К	— • —	Ы	— • — —
M	— —			Л	• — • •	Ь	— • • —
N	— •			М	— —	Э	• • — • •
O	— — —			Н	— •	Ю	• • — —
P	• — — •			О	— — —	Я	• — • —
Q	— — • —			П	• — — •		

Звуки, которые мы произносим и складываем в слова, — код, понятный любому, кто слышит наш голос и понимает язык, на котором мы говорим. Этот код называется говорением, или речью. Существуют и другие коды для записи слов на бумаге (камне, дереве, в воздухе, например когда самолет выводит рекламные надписи в небе). Такой код — это и рукописные и печатные символы, которые мы видим в книгах, журналах или газетах. Мы называем его письменной речью, текстом. Во многих языках речь и текст согласуются друг с другом. Например, в английском буквы и буквосочетания (в большей или меньшей степени) соответствуют произносимым звукам.

Для глухих или немых был разработан иной код, облег-

чающий межличностное общение, — язык жестов, состоящий из движений рук, передающих отдельные буквы, слова или целые концепции. Для слепых письменный текст заменяется азбукой Брайля — системой выпуклых точек, соответствующих буквам, буквосочетаниям или целым словам. Когда приходится быстро записывать речь, удобно пользоваться стенографией или сокращениями.

При общении мы пользуемся различными кодами, поскольку одна кодировка удобнее других. Например, устную речь невозможно хранить на бумаге, и ее заменяет письмо. Тихо передавать информацию на расстоянии невозможно ни при помощи речи, ни на бумаге. Удобная альтернатива — азбука Морзе. Далее мы увидим, что в компьютерах применяются различные типы кодов для передачи чисел, звуков, музыки, изображений и видео. Компьютер не может работать непосредственно с человеческими кодами: машина не в состоянии симитировать работу человеческих глаз, ушей, рта и пальцев. Недавно¹ в компьютерной технике наметилась такая тенденция: настольные ПК собирают и хранят различные виды информации, используемой при человеческом общении, и имеют возможность манипулировать такой информацией и ее отображениями. Это визуальная (текст, картинки) и акустическая (речь, звуки, музыка) информация, их комбинация (анимация или кино). Для всех этих типов тре-

¹ Книга написана в 2000 году, и автор отталкивается от реалий того периода.
Прим. перев.

буются собственные коды, точно так же как при разговоре используются одни органы (рот и уши), а при письме и чтении – другие (руки и глаза).

Даже сама [таблица с азбукой Морзе](#) – в некотором роде код. В таблице каждая буква представлена последовательностью точек и тире. Но как передать точки и тире? Получается, они соответствуют бликам. Для обозначения точки мы быстро перещелкиваем кнопку фонарика (короткий блик), тире – задерживаем фонарик включенным чуть дольше. Так, чтобы передать А, мы быстро перещелкиваем фонарик, а потом включаем и выключаем его более медленно. Перед отправкой следующего символа делаем небольшую паузу. Принято, что тире должно быть примерно втрое длиннее точки. Так, если точка длится одну секунду, то тире – три (на самом деле азбука Морзе транслируется гораздо быстрее). Адресат видит короткий сигнал, затем длинный и понимает, что это А.

Паузы между точками и тире в азбуке Морзе критически важны. Так, при передаче А фонарик должен быть выключен между точкой и тире в течение периода, по длительности примерно равного одной точке. (Если точка длится одну секунду, то промежуток между точкой и тире также длится секунду.) Между буквами в слове выдерживаются более долгие паузы, сравнимые по длительности с тире (в данном случае по три секунды). Например, вот так на азбуке Морзе будет «привет» (обратите внимание на паузы между буквами).

значно. Сравнительно простые и краткие коды присваиваются более частотным буквам алфавита, например *E* и T^2 . Любители игр «Эрудит» и «Поле чудес» могли это сразу заметить. У редких букв (например, *Q* и *Z* на латинице, за которые в «Эрудите» присваивается по 10 очков) коды длиннее.

Практически каждый хоть немного знает азбуку Морзе. Три точки, три тире, три точки – SOS, международный сигнал бедствия. SOS не аббревиатура. Это просто код из азбуки Морзе, который легко запоминается. Во время Второй мировой войны Британская радиовещательная компания предваряла некоторые передачи первыми нотами из Пятой симфонии Бетховена: ТА-ТА-ТА-ТАММММ! Сочиняя эту музыку, Людвиг ван Бетховен еще не мог знать, что именно такая последовательность сигналов (точка-точка-точка-тире) в азбуке Морзе будет соответствовать букве *V*, с которой начинается английское слово *victory* – «победа».

Один из недостатков азбуки Морзе в том, что в ней нет капитализации букв. Однако она позволяет передавать не только буквы, но и цифры, которым соответствуют свои последовательности по пять точек и тире.

² В русском языке (по массивам текстов) это буквы *О, Е, А*. *Прим. науч. ред.*

1	• — — — —	6	— • • • •
2	• • — — —	7	— — • • •
3	• • • — —	8	— — — • •
4	• • • • —	9	— — — — •
5	• • • • •	0	— — — — —

Эти коды как минимум чуть более регулярны, чем буквенные. Для большинства знаков препинания используются по пять, шесть или семь точек и тире.

.	• • • • • • •	'	• — — — — •
,	• — • — • —	(— • — — • —
?	• • — — • •)	— • — — • —
:	— — — • • •	=	— • • • —
;	— • — • —	+	• — • — •
-	— • • • • —	\$	• • • — • • —
/	— • • — •	¶	• — • — • •
"	• — • • — •	-	• • — — • —

Кроме того, существуют дополнительные коды для букв с диакритическими знаками из некоторых европейских языков и специальные последовательности-сокращения. Одно из таких сокращений – код SOS. Его следует посылать непрерывно, делая между каждой тройкой символов паузу в одну точку.

Вы убедитесь, что общаться с другом азбукой Морзе гораздо удобнее, если вооружиться специальным фонариком. Кроме обычного переключателя-ползунка, на такой фонарик монтируется кнопочный переключатель, который мы на-

жимаем и отпускаем, и фонарик зажигается и гаснет. Напрактиковавшись, вы, вероятно, научитесь передавать и принимать по пять-десять слов в минуту, что все равно гораздо медленнее, чем речь (при разговоре в минуту укладывается около 100 слов³), но вполне неплохо.

Когда вы с другом наконец-то выучите азбуку Морзе (а иначе общение при помощи этих сигналов не построить), вы сможете пользоваться таким словарем и в обычной речи. Для максимально быстрого общения произносите точку как «*дих*» («*дит*», если это последняя буква в слове), а тире – как «*дах*». Подобно тому как азбука Морзе позволяет сократить письмо до точек и тире, устный код редуцирует речь всего до двух слогов.

В данном случае ключевой элемент – *двойка*. Два типа бликов, два слога. Два любых феномена, если они разные, в правильных комбинациях подходят для передачи информации.

³ При речи на английском языке. В русском языке темп речи (скорость произнесения ее элементов) медленнее, поскольку слова на 20–30 % длиннее. *Прим. науч. ред.*

Глава 2. Коды и комбинации

Азбуку Морзе придумал Сэмюэл Финли Бриз Морзе (1791–1872). Это изобретение неотделимо от создания телеграфа, о работе которого нам также предстоит узнать. Азбука Морзе послужила хорошим вводным материалом для знакомства с сущностью кода, а телеграф – такой же удобный пример, иллюстрирующий аппаратное обеспечение компьютера.

Многим кажется, что азбуку Морзе проще передавать, чем принимать. Даже если вы не знаете ее на память, можете просто сверяться с [таблицей](#), где буквы для удобства расставлены по алфавиту.

Принимать азбуку Морзе и переводить ее в обычные слова значительно сложнее и дольше, поскольку вы работаете в обратном порядке: выясняете, какая буква соответствует конкретной кодовой последовательности точек и тире. Например, если вы получите сигнал «тире-точка-тире-тире», придется заглянуть в таблицу и просмотреть почти все буквы одну за другой, пока не выяснится, что перед вами *Ы*.

Проблема в том, что у нас есть таблица для следующего перевода:

буква алфавита → последовательность азбуки Морзе, состоящая из точек и тире.

Однако нет обратной таблицы:

последовательность азбуки Морзе, состоящая из точек и тире, \rightarrow буква алфавита.

В начале изучения азбуки Морзе такая таблица, безусловно, пригодилась бы. Правда, не вполне понятно, как ее составить. Точки и тире не допускают никакого подобия алфавитного порядка.

Давайте забудем об алфавите. Пожалуй, разумнее сгруппировать коды таким образом, чтобы их расстановка зависела от количества точек и тире в той или иной букве. Так, последовательность из азбуки Морзе, содержащая одну точку и одно тире, может означать всего одну из двух букв: *E* или *T*.

E	•	E	•
T	—	T	—

Комбинации, в которых содержится по два знака (либо точки, либо тире), дают нам уже четыре буквы: *I*, *A*, *N* и *M*.

I	• •	И	• •
A	• —	A	• —
N	— •	H	— •
M	— —	M	— —

Паттерн из трех символов, точек или тире, дает нам восемь букв: *C, D, U, K, P, G, O, B*.

S	• • •	D	— • •	C	• • •	Д	— • •
U	• • —	K	— • —	У	• • —	К	— • —
R	• — •	G	— — •	P	• — •	Г	— — •
W	• — —	O	— — —	B	• — —	О	— — —

Наконец (если мы хотим прекратить это упражнение, пока не перешли к цифрам и знакам препинания), четырехзначные последовательности точек и тире дают нам еще 16 символов.

Н	• • • • •	В	— • • • •	Х	• • • • •	Б	— • • • •
V	• • • • —	X	— • • • —	Ж	• • • • —	Ь	— • • • —
F	• • — • •	С	— • — • •	Ф	• • — • •	Ц	— • — • •
Ü	• • — — —	Y	— • — — —	Ю	• • — — —	Ы	— • — — —
L	• — • • •	Z	— — • • •	Л	• — • • •	З	— — • • •
Ä	• — • • —	Q	— — • • —	Я	• — • • —	Щ	— — • • —
P	• — — • •	O	— — — • •	П	• — — • •	Ч	— — — • •
J	• — — — —	Ş	— — — — —	Й	• — — — —	Ш	— — — — —

Всего в этих таблицах содержится $2 + 4 + 8 + 16$ кодов суммарно для 30 букв; это на четыре кода больше, чем требуется для полной латиницы, состоящей из 26 букв. Именно поэтому четыре кода в последней таблице отведены под буквы с диакритическими знаками.

Эти четыре таблицы помогут с легкостью переводить любые сообщения, передаваемые азбукой Морзе. Получив код конкретной буквы, вы считаете, сколько в нем точек и тире, и решаете, с какой из таблиц сверяться. Каждая таблица устроена так, что код, состоящий из одних точек, располагается в верхнем левом углу, а код из одних тире – в нижнем правом углу.

Замечаете закономерность в *размерах* четырех таблиц? Обратите внимание: в каждой следующей таблице вдвое больше кодов, чем в предыдущей. Это логично: в последующей таблице содержатся все коды из предыдущей «плюс точка», а также все коды из предыдущей «плюс тире».

Эту тенденцию можно резюмировать следующим образом.

Количество точек и тире	1	2	3	4
Количество кодов	2	4	8	16

Каждая из четырех таблиц содержит вдвое больше кодов, чем предшествующая ей таблица, так что если в первой таблице 2 кода, то во второй – 2×2 кодов, в третьей – $2 \times 2 \times 2$ кодов. Вот как еще можно это представить.

Количество точек и тире	1	2	3	4
Количество кодов	2	2×2	$2 \times 2 \times 2$	$2 \times 2 \times 2 \times 2$

Разумеется, при умножении числа самого на себя можно использовать степени. Так, $2 \times 2 \times 2 \times 2$ можно записать как 2^4 (2 в четвертой степени). Числа 2, 4, 8 и 16 являются степенями двойки, поскольку представляют произведения, которые можно получить умножением двойки самой на себя. Итак, нашу таблицу можно переписать и так.

Количество точек и тире	1	2	3	4
Количество кодов	2^1	2^2	2^3	2^4

Таблица сильно упростилась. Количество кодов равно просто 2 в степени <количество точек и тире>. Можно резюмировать табличные данные в виде простой формулы:

$$\text{Количество кодов} = 2^{\text{количество точек и тире}}.$$

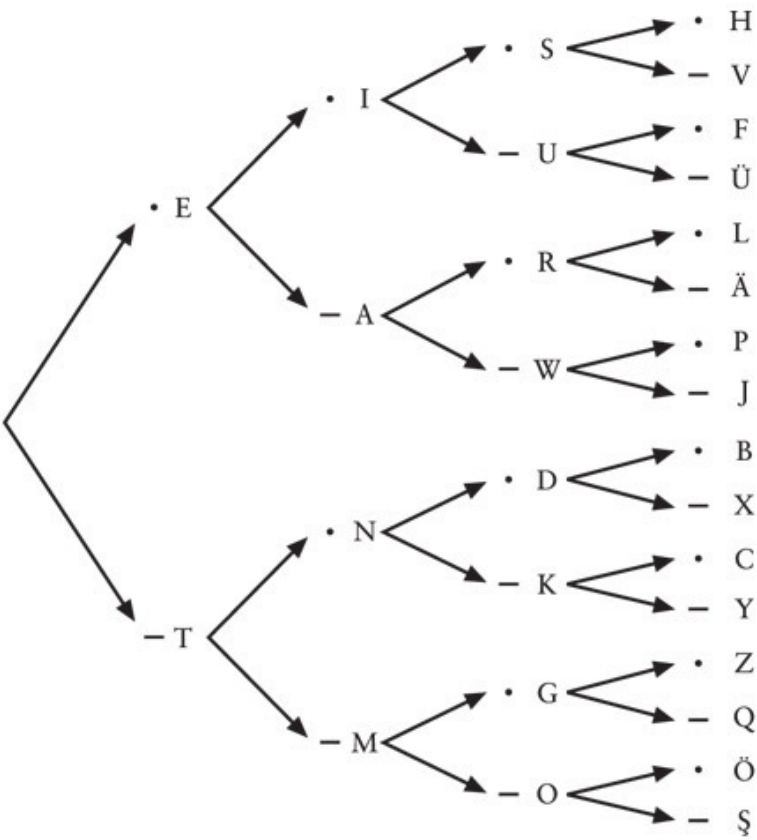
Степени двойки часто используются в различных кодах (другой пример рассмотрим в следующей главе).

Чтобы еще сильнее упростить расшифровку кода Морзе, давайте попробуем построить большую древовидную схему на следующей странице.

На схеме показано, какие буквы получаются при постепенном усложнении последовательностей точек и тире. Чтобы расшифровать конкретную последовательность, идите по стрелкам слева направо. Допустим, мы хотим выяснить, какая буква соответствует коду «точка-тире-точка». Начинаем слева, берем точку; далее идем по стрелкам, выбираем тире, а затем еще одну точку. Получаем букву *R*, расположенную около последней точки.

Такая схема необходима прежде всего для того, чтобы определить код Морзе. Во-первых, она страхует от тупой ошибки: не дает присвоить двум разным буквам один и тот же код. Во-вторых, вы гарантированно задействуете все воз-

можные коды, не выстраивая чрезмерно длинных последовательностей из точек и тире.



Рискуя получить схему, которая не поместится на печат-

ной странице, мы могли бы расширить ее и добавить туда пятизначные коды из точек и тире. Последовательность из пяти точек и тире даст нам 32 ($2 \times 2 \times 2 \times 2 \times 2$, или 2^5) дополнительных кода. Как правило, этого достаточно не только для букв, но и для 10 цифр и 18 знаков препинания, включаемых в азбуку Морзе: цифры действительно кодируются пятизначными последовательностями точек и тире. Правда, многие другие пятизначные коды зарезервированы не за знаками препинания, а за буквами с диакритическими знаками.

Чтобы система учитывала все знаки препинания, в нее нужно включить последовательности из шести точек и тире. Таким образом получим 64 ($2 \times 2 \times 2 \times 2 \times 2 \times 2$, или 2^6) дополнительных кода для суммарного множества из $2 + 4 + 8 + 16 + 32 + 64$, или 126, символов. Для азбуки Морзе этого слишком много, поэтому большинство таких длинных кодов остаются неопределенными. Слово «неопределенный» в данном контексте указывает на код, который ничего не означает. Если бы вы, принимая азбуку Морзе, получили неопределенный код, то могли бы почти не сомневаться, что кто-то просто допустил ошибку.

У нас хватило смекалки построить эту небольшую формулу:

$$\text{Количество кодов} = 2^{\text{количество точек и тире}}.$$

Так давайте продолжим нашу таблицу и посмотрим, сколько кодов получится из более длинных последователь-

ностей точек и тире.

Количество точек и тире

1

2

3

4

5

6

7

8

9

10

Количество кодов

$$2^1 = 2$$

$$2^2 = 4$$

$$2^3 = 8$$

$$2^4 = 16$$

$$2^5 = 32$$

$$2^6 = 64$$

$$2^7 = 128$$

$$2^8 = 256$$

$$2^9 = 512$$

$$2^{10} = 1024$$

К счастью, нет необходимости выписывать все возможные коды, чтобы определить, сколько их будет. Достаточно умножать двойку на себя нужное количество раз.

Код Морзе называется *двоичным* (что буквально означает «два на два»), поскольку любой его элемент включает только два компонента: точку и тире. Такой код подобен монете, которая может упасть только решкой или орлом. Двоичные объекты (например, монеты) и двоичные коды (например, азбука Морзе) всегда можно описать в виде степеней двойки.

Проделанный нами анализ двоичных кодов – это простое упражнение в одной математической дисциплине, которая

называется *комбинаторикой*, или *комбинаторным анализом*. Традиционно комбинаторный анализ особенно активно используется в теории вероятностей и статистике, поскольку связан с выявлением количества вариантов комбинаций различных объектов (например, монет или игральных костей). Он также помогает понять, как составляются и разбираются коды.

Глава 3. Брайль и двоичные коды

Сэмюэл Морзе не был первым, кому успешно удалось транслировать буквы письменного языка в интерпретируемый код. Он не был первым и среди тех, чья фамилия запомнилась как название кода, а не имя собственное. Такая честь выпала слепому французскому подростку, родившемуся примерно через 18 лет после Морзе, но оставившему след в истории гораздо раньше. О жизни Луи Брайля известно немного, но это захватывающая история.

Луи Брайль родился в 1809 году во французском городке Кувре, в 40 километрах к востоку от Парижа. Отец мальчика был шорником. Будучи трех лет от роду (а в таком возрасте дети не должны играть в отцовской мастерской), Луи случайно ткнул себе в глаз шорным ножом. В ране начался процесс заражения, инфекция распространилась и на второй глаз, и мальчик полностью ослеп. Наверняка его ждала жизнь в невежестве и бедности (как и большинство слепцов в те времена), но Луи проявил незаурядный ум и тягу к знаниям. Благодаря участию деревенского пастора и школьного учителя Луи ходил в сельскую школу вместе с другими ребятами, а в возрасте десяти лет отправился в Парижский государственный институт для слепых детей.

Разумеется, одна из главных сложностей при обучении незрячих в том, что они не могут читать печатные книги.

Основатель этой парижской школы Валентин Гаюи (1745–1822) изобрел систему тисненых выпуклых букв для чтения их на ощупь. Но пользоваться системой было сложно, и вышло только несколько книг, напечатанных таким методом. Гаюи не смог посмотреть глубже. Для него буква А оставалась буквой А. Она должна была выглядеть (ощущаться) как А. (Общаясь на языке световых сигналов, мы пробовали рисовать буквы в воздухе и убедились, что такой прием неработоспособен.) Вероятно, Гаюи не догадался, что некий код, сильно отличающийся от печатного алфавита, оказался бы для незрячих удобнее.

Прообраз такого альтернативного кода возник в достаточно необычном контексте. Шарль Барбье, капитан французской армии, изобрел систему записи под названием *écriture posturne*, или «ночная азбука». В ней использовались узоры выпуклых точек и тире на плотной бумаге. Предполагалось, что солдаты могли бы обмениваться в темноте такими записками, когда требовалось соблюдать тишину. Писать точки и тире можно было специальным стилусом, вроде шила. Затем выпуклые точки можно было читать на ощупь. Недостаток системы Барбье заключался в ее чрезмерной сложности. Комбинации точек и тире соответствовали звукам, а не буквам алфавита, поэтому одно слово часто могло шифроваться разными кодами. Система хорошо работала для обмена короткими сообщениями в полевых условиях, но решительно не подходила для сравнительно крупных текстов, тем более

книг.

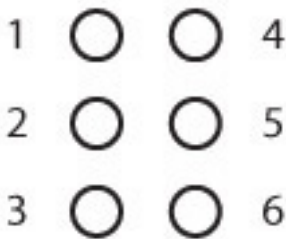
Луи Брайль познакомился с системой Барбье в двенадцатилетнем возрасте. Ему понравились выпуклые точки не только потому, что они легко читались на ощупь, но и потому, что их было просто *писать*. Ученик в классе, вооружившись бумагой и стилусом, в самом деле мог записывать и читать такие сообщения. Луи Брайль постарался усовершенствовать эту систему, и через три года (когда ему было пятнадцать) в общих чертах составил собственную, основы которой применяются и сегодня. Много лет такая система использовалась лишь в школах, но постепенно вошла в широкое употребление. В 1835 году Брайль подхватил туберкулез, от которого и умер в 1852 году, в возрасте 43 лет.

Сегодня усовершенствованные варианты системы Брайля соперничают с аудиокнигами, обеспечивая незрячим доступ к письменной информации. Тем не менее шрифт Брайля по-прежнему незаменим и является единственной письменностью, доступной слепоглухим. Шрифт Брайля применяется даже в общественных местах, например в лифтах и банкоматах.

В этой главе мы препарируем код Брайля и разберемся, как он работает. Мы не будем *учить* код Брайля или что-то запоминать. Мы лишь попробуем на этом примере лучше понять его природу.

В шрифте Брайля каждый символ, присутствующий в обычном письменном языке, то есть буквы, цифры и знаки

препинания, кодируется в виде одной или нескольких точек в клетке размером две на три точки. Как правило, точки в клетке нумеруются от 1 до 6.



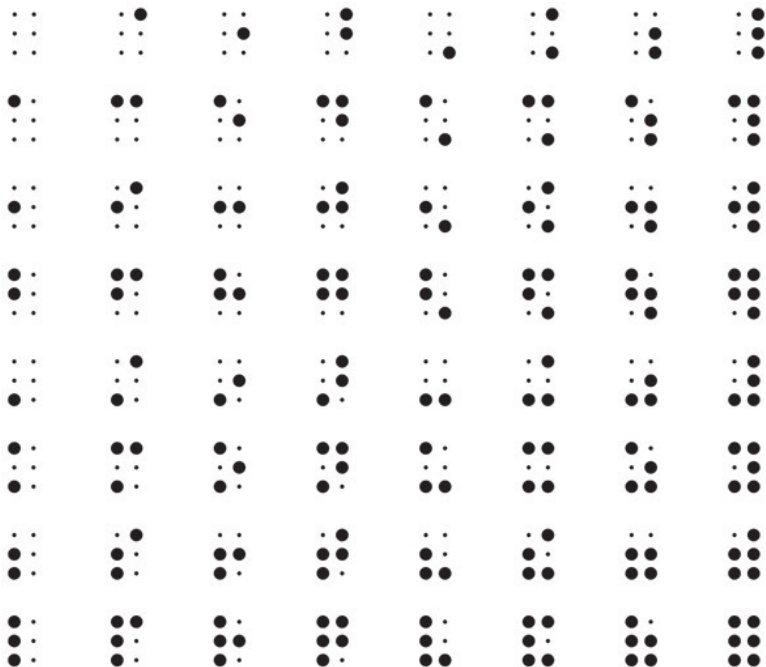
В настоящее время существуют специальные пишущие машинки – брайлевские принтеры, выбивающие точки брайлевского шрифта на бумаге.

Поскольку книга получилась бы запредельно дорогой, если бы хоть пару страниц набрали шрифтом Брайля, я пользовался нотацией, традиционно применяемой для передачи азбуки Брайля при печати. В такой нотации отображаются все шесть точек в клетке. Жирные точки – это выпуклости на бумаге, мелкие – плоские элементы клетки. Например, в следующем брайлевском символе точки 1, 3 и 5 выпуклые, а 2, 4 и 6 – нет.



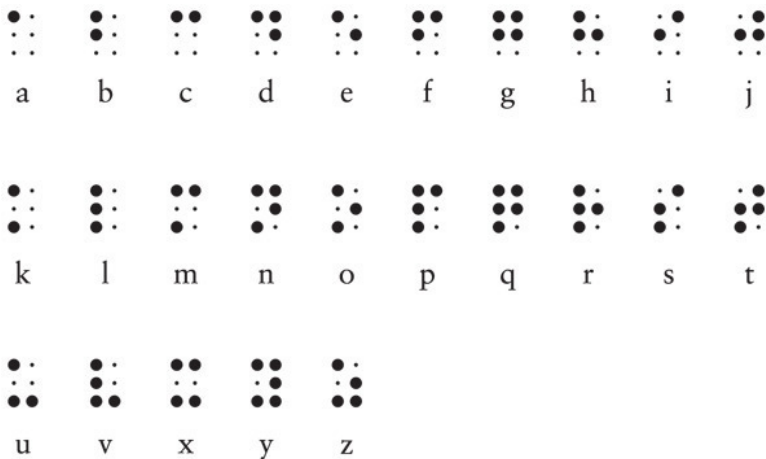
На данный момент нас должно заинтересовать, что эти точки *двоичны*. Любая точка может быть либо выпуклой, либо плоской. Таким образом, шрифт Брайля подчиняется тем же принципам, которые знакомы нам из азбуки Морзе и комбинаторного анализа. Известно, что в клетке шесть точек, и каждая точка может быть плоской или выпуклой, поэтому общее число комбинаций, которые складываются из шести плоских или выпуклых точек, равно $2 \times 2 \times 2 \times 2 \times 2 \times 2$, или 2^6 , или 64.

Как видите, в системе Брайля можно представить 64 уникальных кода.



Если в шрифте Брайля используется менее 64 кодов, логично спросить, почему не все возможные варианты в ходу. Если в шрифте Брайля найдется более 64 возможных кодов, значит, сбоят либо наш разум, либо фундаментальные математические истины из разряда «два плюс два равно четырем».

Приступая к изучению шрифта Брайля, рассмотрим, как в нем записываются строчные буквы латиницы.



Например, английская фраза You and me⁴ записывается следующим образом.



Важно: между клетками, соответствующим буквам в слове, ставятся небольшие пробелы; более широкий пробел (в сущности, целая клетка, в которой нет выпуклых точек) соответствует пробелу между словами.

⁴ «Ты и я». Прим. перев.

Именно такова основа шрифта Брайля в редакции самого Брайля – как минимум что касается латиницы. Луи Брайль также разработал коды для букв с диакритическими знаками (они часто встречаются во французском языке). Обратите внимание: здесь нет кода для буквы *w*, которая в классическом французском не используется. (Не волнуйтесь, и эта буква вскоре появится.) Пока мы учли всего 25 из 64 возможных кодов.

Внимательно присмотревшись к вышеприведенным строчкам, можно заметить, что в них прослеживается закономерность. В первой строчке (от *a* до *j*) в каждой клетке используются лишь четыре верхние точки: 1, 2, 4 и 5. Второй ряд точно такой же, как первый, но в нем есть и точка 3. Третий ряд подобен первым двум, но в нем мы видим не только точку 3, но и точку 6.

Со времени Луи Брайля его шрифт дополняли различным образом. Современная система, при помощи которой обычно записываются подобные английские тексты, называется «сокращенный Брайль». В сокращенном Брайле много упрощений, помогающих беречь деревья и ускорять чтение. Например, если код некоторой буквы стоит обособленно, то он означает распространенное слово. В следующих трех рядах приведены такие коды для целых слов.

(none) (отсутствует)	but но	can может	do делать	every каждый	from от, из	go идти	have иметь	(none)	just только, сейчас
knowledge знание	like как, любить	more больше	not не	(none)	people люди	quite весьма	rather вполне	so так	that так что
us нам, нас, нами	very очень	it оно	you ты	as как, в качестве	and и	for для	of (предлог)	the (артикл)	with с

Таким образом, фразу You and me сокращенным Брайлем можно записать так.



Вот мы и описали 31 код: пробел без точек, который ставится между словами, и три строки по десять кодов, используемых для обозначения букв и слов. Мы до сих пор и близко не израсходовали 64 теоретически доступных кода. Как мы убедимся, в сокращенном Брайле ни один не остался без дела.

Во-первых, можно использовать коды букв *a – j*, добавляя к каждому из них выпуклую точку 6. Эти коды применяются в основном для сокращения в слове букв, для буквы *w* и другого сокращения слов.

ch	gh	sh	th	wh	ed	er	ou	ow	w
									(или «will»*)

* *Will* – вспомогательный глагол для образования будущего времени.

Например, слово about⁵ можно записать сокращенным Брайлем вот так.



Во-вторых, можно взять коды букв *a – j* и «опустить» их так, чтобы использовались лишь точки 2, 3, 5 и 6. Этими кодами обозначаются некоторые знаки препинания и сокращения, в зависимости от контекста.

⁵ О, около, про. Прим. перев.

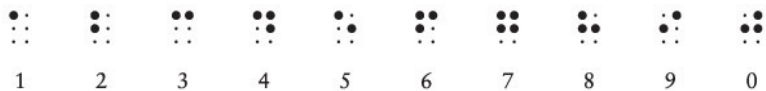
ea	bb	cc	dis	en	to к	gg	his ero	in в	was был(a)
,	;	:	.		!	()	“		”

Первые четыре приведенных кода – это запятая, точка с запятой, двоеточие и точка. Обратите внимание: как открывающая, так и закрывающая скобки обозначаются одним и тем же кодом, а вот коды для открывающей и закрывающей кавычки отличаются.

Пока мы использовали 51 код. Далее приведены шесть кодов, представляющих различные незадействованные комбинации точек 3, 4, 5 и 6. С их помощью записывают сокращения и некоторые дополнительные знаки препинания.

st /	ing	ble #	ar	'	com -

Код ble очень важен: если это не часть слова, то он означает, что следующие далее коды должны интерпретироваться как числа. Числовые коды точно такие же, как и для букв *a – j*.



Следовательно, нижеприведенная последовательность означает 256.



Если вы следите за нитью повествования, то помните, что до максимума (64) нам остается еще семь кодов. Вот они.



Первый код (выпуклая точка 4) – индикатор ударения. Остальные используются в качестве префиксов при некоторых сокращениях, а также в иных целях. Например, при выпуклых точках 4 и 6 (пятый код в этом ряду) код может означать либо десятичную запятую (для чисел), либо логическое ударение – в зависимости от контекста.

Наконец (если вам не терпится узнать, как в шрифте Брай-

ля записываются заглавные буквы), у нас есть выпуклая точка 6. Это индикатор заглавной буквы. Следующая после такого символа буква будет в верхнем регистре. Например, имя создателя этой системы записывается так.



Здесь индикатор заглавной буквы, буква *l*, буквосочетание *oi*, буквы *i* и *s*, пробел, еще один индикатор заглавной буквы, а далее – буквы *b*, *r*, *a*, *i*, *l*, *l* и *e* (на практике эта запись может быть еще короче: отбрасываются две последние буквы, так как они не произносятся).

Итак, мы рассмотрели, как шесть двоичных элементов (точек) дают 64 возможных кода – и не больше. Получается, что многие из этих кодов выполняют двойную работу в зависимости от контекста. Особенно интересны «числовой» и «буквенный» индикаторы (при этом второй отменяет первый). Эти коды меняют семантику других кодов – тех, что следуют за ними: с букв на цифры и обратно с цифр на буквы. Подобные коды часто именуются кодами *старшинства* или *переключения*. Они меняют семантику всех последующих кодов до тех пор, пока переключение не будет отменено.

Индикатор заглавной буквы означает, что следующая (и только следующая) буква должна быть в верхнем, а не в ниж-

нем регистре. Такой код принято называть *экранирующим*, и он «защищает» последовательность других кодов от банальной, рутинной семантики и обеспечивает им новую интерпретацию. Читая следующие главы, убедимся, что коды переключения и экранирующие коды постоянно используются в ситуациях, когда письменный язык нужно представить в двоичном виде.

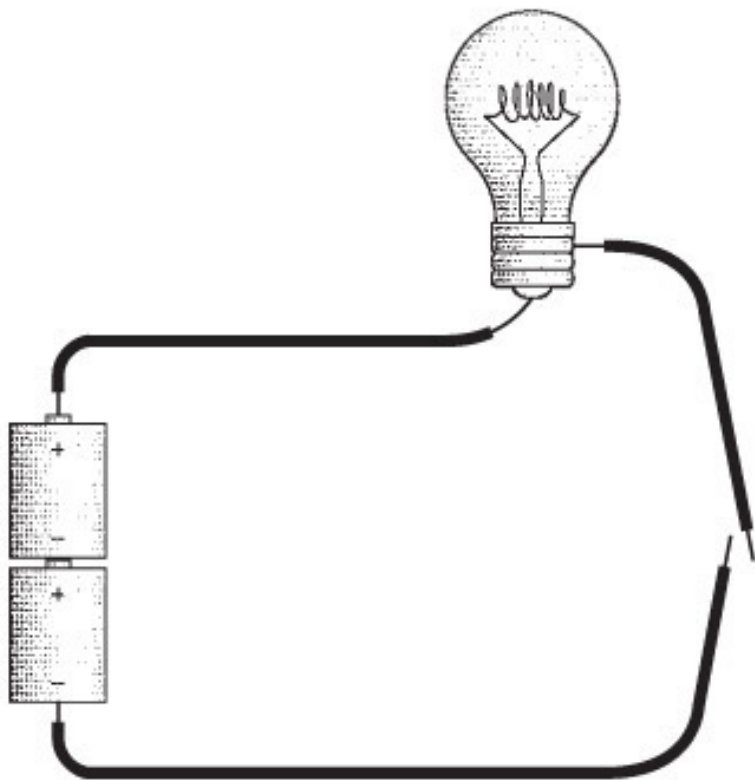
Глава 4. Устройство фонарика

Фонарик многофункционален: чтение под одеялом и обмен зашифрованными сообщениями – лишь два наиболее очевидных варианта его применения. Обычный хозяйственный фонарик может сыграть ключевую роль в наглядном уроке о таком феномене, как электричество.

Электричество – удивительное явление. Сегодня оно используется повсеместно, но при этом окутано тайной даже для тех, кто в нем якобы разбирается. Боюсь, нам так или иначе придется подступить к этой теме. К счастью, чтобы разобраться, как электричество используется в компьютерах, потребуется понять лишь некоторые базовые концепции, связанные с ним.

Определенно, фонарь – один из простейших электроприборов, имеющийся почти в каждом доме. Можно разобрать обычный фонарик и убедиться, что он состоит из пары батареек, лампочки, выключателя и кое-каких металлических деталей. Все это находится в пластиковом корпусе.

Можно сконструировать заправский светильник, оставив всего две составляющие из этого комплекта: батарейки и лампочку. Кроме того, вам потребуются короткие изолированные проводки (оголенные на кончиках) и умелые руки, чтобы все это держать вместе.

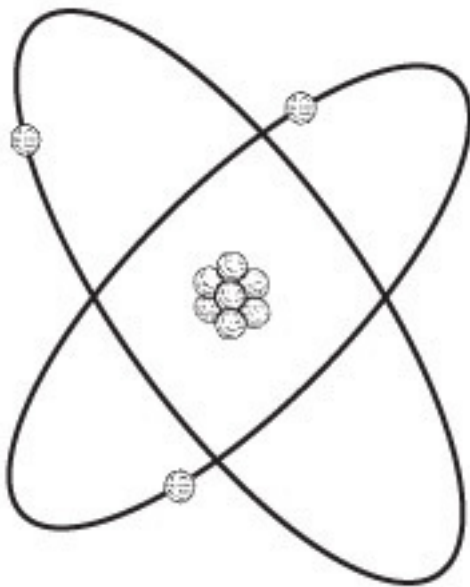


Обратите внимание на два оголенных кончика проводов в правой части схемы. Это наш переключатель. Исходя из того, что батарейки у нас хорошие и лампочка не перегорит, достаточно коснуться одного проводка другим – и загорится свет.

Мы только что сконструировали простую электрическую цепь. Первым делом необходимо отметить, что эта *цепь* представляет собой *круг*. Лампочка зажжется лишь в том случае, если контур от батареек к лампочке, далее к переключателю и обратно к лампочке будет непрерывным. Достаточно любого разрыва – и лампочка погаснет. Выключатель нужен для того, чтобы управлять этим процессом.

Круговая структура подсказывает, что по электрической цепи движется нечто подобное воде, текущей в трубах. Сравнение с водой и трубами довольно распространено при описании сути электричества, но, как и любая аналогия, оно рано или поздно себя исчерпает. Электричество не похоже ни на что иное во Вселенной, его требуется описывать в специфических терминах.

Господствующая научная мудрость, характеризующая природу электричества, называется *электронной теорией*, согласно которой электричество возникает в результате движения электронов.



Известно, что любая материя – вещества, которые можно видеть и осязать, – состоит из крошечных частиц, именуемых атомами. В состав каждого атома входят более мелкие частицы трех типов: нейтроны, протоны и электроны. Атом можно изобразить как миниатюрную Солнечную систему, где нейтроны и протоны связаны в ядре, а электроны вращаются вокруг ядра, как планеты вокруг Солнца.

Необходимо отметить, что вы бы увидели несколько иную картину, будь у вас достаточно мощный микроскоп, позволяющий рассматривать отдельные атомы, но «планетарная»

модель довольно удобна.

В атоме, показанном на этой странице, три протона, три электрона и четыре нейтрона, значит, перед нами атом лития. Литий – это один из 118 известных *элементов*, каждый из которых обладает собственным *атомным числом* от 1 до 118. Атомное число указывает, сколько протонов в ядре у каждого атома этого элемента, а также сколько электронов в таком атоме. Атомное число лития равно трем.

Атомы могут образовывать химические связи с другими атомами, объединяясь в *молекулы*. Как правило, молекулы обладают совсем иными свойствами, нежели атомы, из которых они состоят. Например, в молекуле воды два атома водорода и один атом кислорода (поэтому химическая формула воды H_2O). Очевидно, вода существенно отличается как от водорода, так и от кислорода. Молекулы поваренной соли состоят из атома натрия и атома хлора, но ни одно из этих веществ не показалось бы вам особо аппетитным, если бы его добавили в картошку фри в чистом виде.

Водород, кислород, хлор, натрий – это всё элементы. Вода и соль – *соединения*. Однако водно-соляной раствор – это смесь, а не соединение, поскольку в растворе вода и соль сохраняют присущие им свойства.

Количество электронов в атоме обычно равно количеству протонов. Случается, что электроны вышибаются из атома. Именно так и возникает электричество.

Слова «электрон» и «электричество» происходят от древ-

негреческого η лектров (читается [электрон]).

Может показаться, что это слово означает «крошечная невидимая штука». На самом деле η лектров в переводе с греческого – «янтарь», прозрачная окаменевшая древесная смола. Такая необычная этимология возникла потому, что древние греки пробовали натирать янтарь шерстяной тканью, а при этом возникает статическое электричество. Когда мы потираем янтарь шерстяной тряпочкой, она вытягивает из камня электроны. В шерсти возникает избыток электронов по сравнению с протонами, а в янтаре электронов становится слишком мало. Более современный подобный эксперимент связан с обычным ковром: если пошаркать по нему, палас захватывает электроны из подошв обуви.

У протонов и электронов есть свойство под названием «*электрический заряд*». Считается, что у протонов положительный заряд (+), а у электронов – отрицательный (–). Нейтроны нейтральны, у них нет заряда. Хотя мы и обозначаем протоны и электроны символами «плюс» и «минус», эти символы в данном случае не имеют арифметической семантики и не означают, что у протонов есть что-то, чего у электронов нет. Противоположные характеристики проявляются именно в том, как протоны и электроны соотносятся друг с другом.

Протоны и электроны наиболее «спокойны» и стабильны, когда в равных количествах сосуществуют рядом. Если возникает дисбаланс между протонами и электронами, он са-

мопроизвольно выправляется. После того как ковер наберет электронов из ваших подошв, ситуация выровняется, стоит вам коснуться его, – проскочит искра. Такая искра статического электричества возникает в результате движения электронов, которые проделывают практически круговой маршрут – от ковра через все тело, затем опять к подошвам.

Взаимосвязь между протонами и электронами можно описать иначе: противоположные заряды притягиваются, одноименные – отталкиваются. Правда, схема атома производит иное впечатление. Кажется, что протоны сосредоточены в ядре и притягиваются друг к другу. Протоны удерживаются вместе благодаря силе более мощной, чем отталкивание одинаковых зарядов, – *сильному взаимодействию*.

Чтобы подступиться к сильному взаимодействию, требуется расщепить ядро, в результате чего высвободится ядерная энергия. А мы просто балуемся с электронами, чтобы получить электричество.

Статическое электричество – это не просто искорки, проскакивающие, если дотронуться ладонью до дверной ручки. Во время грозы в нижней части тучи накапливаются электроны, а в верхней возникает дефицит электронов; рано или поздно бьет молния, и баланс восстанавливается. Молния – это множество электронов, которые с огромной скоростью летят из одной точки в другую.

Электричество в проводах фонарика, разумеется, гораздо благовоспитаннее, чем в искре или в молнии. Лампочка

горит ровно и непрерывно⁶, поскольку электроны не просто скачут с места на место. Когда один атом в электрической цепи теряет электрон, отдавая его другому атому, он сразу же захватывает электрон от соседнего атома, а тот – от следующего и т. д. Электричество в цепи – это переход электронов от атома к атому.

Все это происходит не само по себе. Нельзя просто взять, соединить проводами всякое барахло и рассчитывать, что в нем потечет электричество. Нужен какой-то иницирующий фактор, который запустит движение электронов в цепи. Возвращаясь к схеме простейшего фонарика, можно предположить, что электричество возникает не в проводах и не в лампочке. По-видимому, источником электричества являются батарейки.

Почти любому известно хотя бы кое-что о типах батареек, используемых в фонариках:

- батарейки цилиндрические бывают разных размеров, например D, C, A, AA, AAA;
- независимо от размера на любой батарейке указана величина 1,5 вольта;
- один кончик батарейки плоский, на нем стоит знак «–»; на другом конце небольшой выступ и знак «+»;

⁶ На самом деле интенсивность света лампочки флуктуирует, то есть пульсирует, но наш глаз не способен различать настолько быстрые и мелкие пульсации.
Прим. науч. ред.

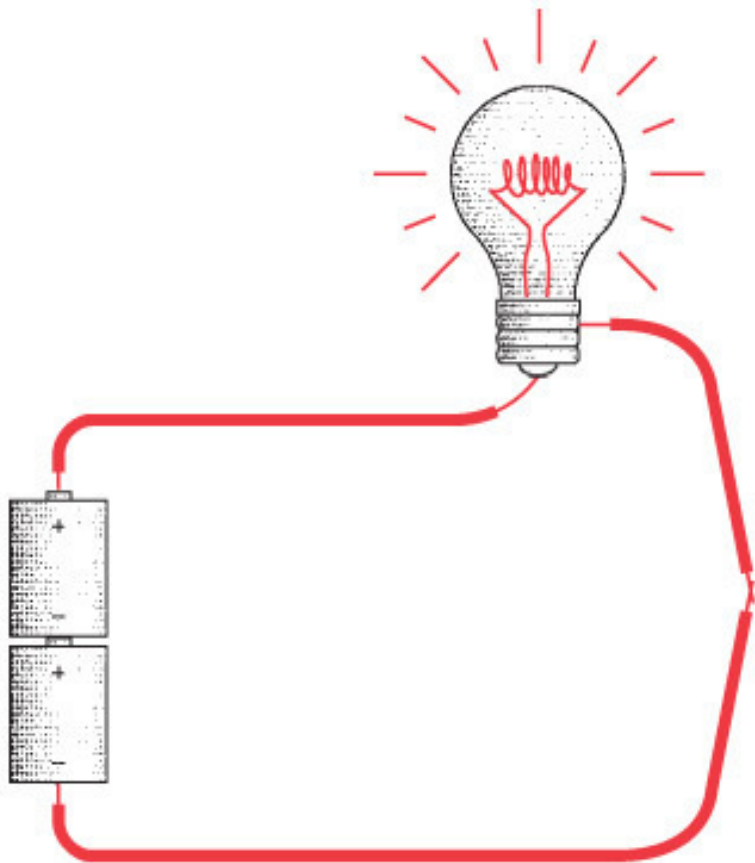
- если вы хотите, чтобы прибор работал нормально, правильно вставляйте батарейки, чтобы плюсы и минусы располагались верно;
- мы полагаем, что батарейки каким-то хитрым образом «дают» электричество.

Во всех батарейках происходят химические реакции: либо одни молекулы распадаются на другие, либо одни молекулы соединяются с другими, образуя третьи. Химические вещества в батарейке подбираются так, чтобы в результате реакции между ними с минусового конца образовывались свободные электроны (этот конец называется «отрицательная клемма» или «катод»), которые так нужны на плюсовом конце батарейки (он же «положительная клемма» или «анод»). Таким образом химическая энергия преобразуется в электрическую.

Химическая реакция может протекать лишь при условии, что лишние электроны каким-то образом будут извлекаться с отрицательного полюса батареи и доставляться обратно к положительному. Если батарейка ни к чему не подключена, ничего особенного в ней происходить не будет. (На самом деле химическая реакция там все-таки идет, но очень медленно.) Химические реакции разгоняются лишь при наличии электрического тока, несущего электроны с отрицательного конца батарейки к положительному. Электроны движутся по

этой цепи против часовой стрелки⁷.

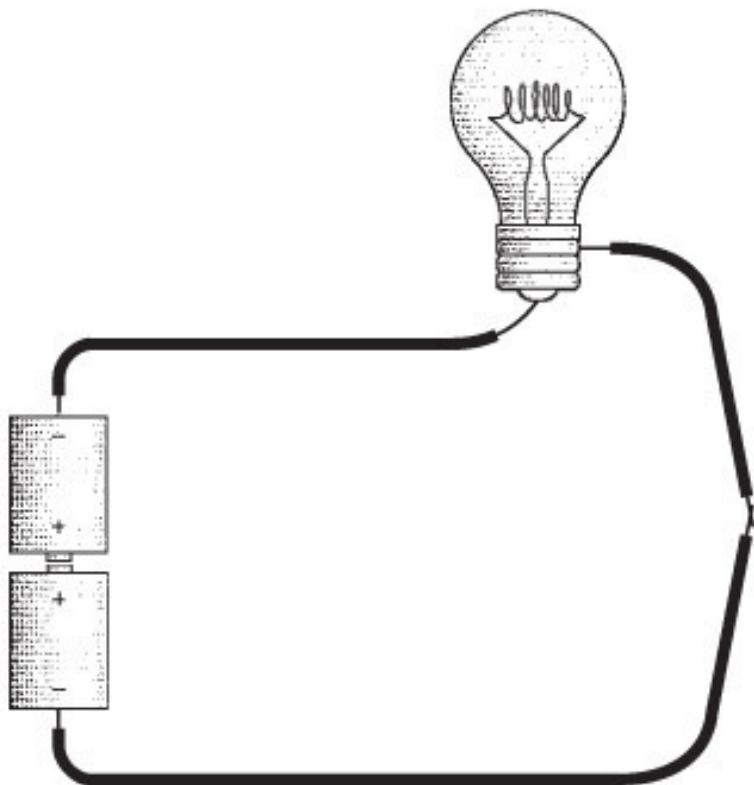
⁷ Принято считать за направление тока направление положительно заряженных частиц. По факту ток создается электронами и течет в противоположном направлении. *Прим. науч. ред.*



В этой книге красным цветом обозначаются провода, по которым течет электричество.

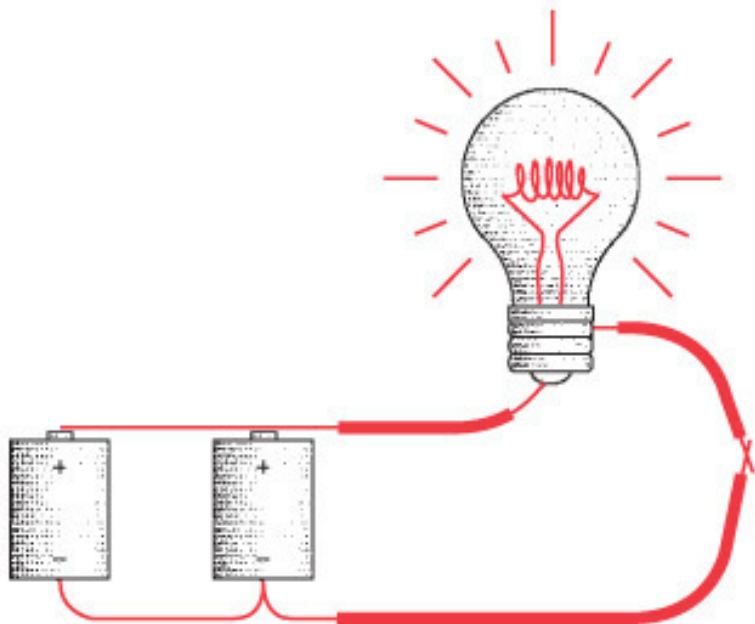
Электроны из химикатов, содержащихся в батарейке, мог-

ли бы свободно смешиваться с электронами из медного провода, если бы не один простой факт: все электроны, где бы они ни находились, идентичны. Электрон из атома меди ничем не отличается от любого другого электрона.



Обратите внимание: обе батарейки ориентированы в одном и том же направлении. Положительный полюс нижней батарейки принимает электроны с отрицательного полюса верхней батарейки, как будто мы сложили из двух маленьких батареек одну большую, общая мощность которой составляет не 1,5, а 3 вольта.

Если повернуть одну из батареек в противоположную сторону, то электрическая цепь будет разорвана.



Для химических реакций двум положительным полюсам батареи нужны электроны, но поскольку полюса подсоединены друг к другу, путь для электронов закрыт. Если соединены два положительных полюса батарейки, нужно соединить и два отрицательных.

Все работает. Принято говорить, что в таком случае батарейки подключены *параллельно*, а не *последовательно*. Общее напряжение равно 1,5 вольта, как и у каждой батарейки по отдельности. Лампочка горит не слишком ярко, зато батарейки проработают вдвое дольше.

Принято считать, что батарейка подает ток в электрическую цепь. Аналогично можно думать, что электрическая цепь открывает путь для химических реакций в батарейке, которые продолжаются, пока весь химикат в ней не будет израсходован, после чего батарейку нужно выбросить или перезарядить.

Электроны попадают от отрицательного полюса к положительному, проходя через провода и лампочку. Зачем нужны провода? Не может ли электричество передаваться просто по воздуху? И да, и нет. Да, электричество передается по воздуху (особенно если воздух влажный), поэтому и возникают молнии. Но электричество течет по воздуху «неохотно».

Некоторые вещества проводят электричество существенно лучше, чем другие. Это связано со строением атома. Электроны вращаются вокруг ядра на разных энергетических уровнях, которые называются оболочками или орбита-

лями. Если у атома на внешней оболочке всего один электрон, он легко его отдает, – как раз это и нужно для передачи электричества. Такие вещества хорошо проводят электричество, поэтому их называют *проводниками*. Лучшие проводники – медь, серебро и золото. Не случайно эти элементы расположены в одном и том же столбце периодической системы. Медь – самое распространенное сырье для изготовления проводов.

Свойство, противоположное электропроводимости, называется *сопротивлением*. Некоторые вещества сильнее сопротивляются току, нежели другие, – это *резисторы*. Если вещество обладает очень высоким сопротивлением, практически не проводит электричество, его называют диэлектриком (*изолятором*). Резина и пластик – хорошие изоляторы, вот почему из них часто делают оболочку для проводов. Ткань и дерево, сухой воздух тоже хороши в таком качестве. Однако при достаточно высоком напряжении практически любой материал приобретает электропроводимость.

Сопротивление меди невелико, но оно *присутствует*. Чем длиннее провод, тем выше его сопротивление. Если бы вы попытались зажечь фонарик с проводами длиной в несколько километров, то их сопротивление оказалось бы чрезмерным, и фонарик бы не работал.

Чем толще провод, тем ниже его сопротивление. Это может показаться нелогичным. Кажется, что чем толще провод, тем больше нужно электричества, чтобы его «наполнить».

На самом деле в толстом проводе доступно гораздо больше электронов, образующих электрический ток.

Я уже говорил о напряжении, но не дал определения этому явлению. Напряжение батарейки составляет 1,5 вольта. Что это значит? Напряжение, измеряемое в вольтах (единица напряжения названа так в честь графа Алессандро Вольта (1745–1827), который в 1800 году сконструировал первую батарею), – это одна из самых сложных концепций в элементарной электротехнике. Напряжение описывает *потенциал* для выполнения работы. Напряжение существует независимо от того, подключены ли к батарее какие-либо приборы.

Возьмем, к примеру, кирпич. Когда он лежит на полу, его потенциальная энергия очень мала. Она увеличится, если вы поднимете кирпич на высоту метр двадцать от земли. Чтобы высвободить потенциальную энергию, достаточно отпустить кирпич. Если забраться на крышу высокого здания и поднять кирпич, его потенциальная энергия будет еще больше. Во всех трех случаях вы держите кирпич, сам он ничего не делает, но *потенциал* его отличается.

Гораздо проще определить, что такое *ток*. Сила тока зависит от того, сколько электронов мчится по проводнику. Сила тока измеряется в *амперах*, названных так в честь Андре Ампера (1775–1836). Чтобы достичь силы тока в один ампер, через поперечное сечение проводника нужно пропустить 6 240 000 000 000 000 электронов в секунду.

Здесь уместна аналогия с водой, текущей по трубам. Ток

подобен *объему* воды, проходящему через трубу в единицу времени, напряжение – *давлению* воды. Сопротивление можно сравнить с шириной трубы: чем уже труба, тем выше сопротивление. Таким образом, чем выше давление, тем больше воды проходит через трубу, чем меньше сечение трубы, тем меньше воды через нее течет. Объем воды, текущей через трубу (ток) в единицу времени прямо пропорционален давлению воды (напряжению) и обратно пропорционален толщине трубы (сопротивлению).

Электротехника позволяет вычислить силу тока, если известны напряжение и сопротивление. Сопротивление – способность вещества тормозить поток электронов – измеряется в омах. Эта единица названа в честь Георга Ома (1789–1854), который также сформулировал знаменитый закон Ома:

$$I = E / R,$$

где I традиционно обозначает силу тока в амперах, E – *электродвижущая сила*, ЭДС (это первая буква в английском словосочетании *electromotive force*), а R – сопротивление.

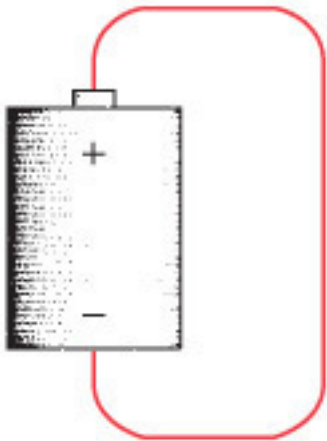
Так, рассмотрим батарею, которая просто лежит в покое и ни к чему не подключена.



ЭДС E равна 1,5 вольт. Это потенциал для выполнения работы⁸. Поскольку между плюсовой и минусовой клеммой лишь воздух, сопротивление получается очень высоким, а значит, сила тока равна 1,5 вольт, деленному на очень большое число. Таким образом, ток практически нулевой.

Теперь соединим положительную и отрицательную клемму коротким отрезком медной проволоки (здесь и далее изоляцию на проводах показывать на рисунках не буду).

⁸ Напряжение – работа поля по переносу заряда. Электрический ток – это изменение объемного заряда во времени, но поскольку со временем заряды (электроны) кончатся, необходим источник, восполняющий «запасы» электронов, которые могли бы перемещаться по проводнику. Таким источником может быть источник ЭДС. ЭДС, в свою очередь, – это работа внешних сил по переносу заряда, то есть сил не электромагнитной природы. В рассматриваемом примере это химические реакции. *Прим. науч. ред.*

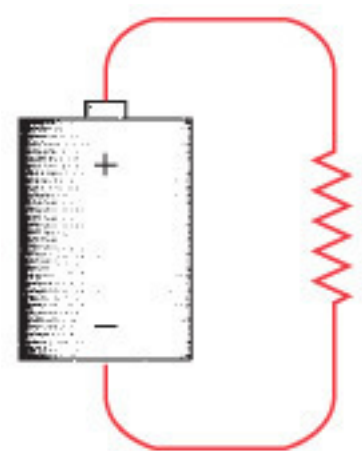


Перед вами *короткое замыкание*. ЭДС по-прежнему равна 1,5 вольт, но сопротивление очень низкое. Узнаем силу тока, разделив 1,5 вольт на очень малое значение. Сила тока получится огромной. По проводу побежит целая уйма электронов. На практике фактическое значение силы тока ограничено физическим размером батареи. Вероятно, батарея просто окажется не в состоянии выдать ток такой силы, и напряжение упадет ниже 1,5 вольт. Если батарея окажется достаточно велика, то провод разогреется, поскольку электрическая энергия станет превращаться в тепловую. Если провод нагреется слишком сильно, он может раскалиться и даже расплавиться.

Большинство электрических цепей попадает в промежу-

ток между этими двумя крайностями. Их можно символически изобразить следующим образом.

Любой электротехник понимает, что зубчатая линия на этом рисунке обозначает резистор. В данном случае показано, что сопротивление в электрической цепи среднее – не высокое, не низкое.



Если сопротивление у провода низкое, он может сильно нагреться и раскалиться. Так устроена лампа накаливания. Честь создания электрической лампы накаливания обычно приписывается самому знаменитому американскому изобретателю Томасу Эдисону (1847–1931), но по состоянию на 1879 год, когда он запатентовал электролампочку, прин-

цип ее работы был хорошо известен, и другие ученые тоже работали над этой проблемой⁹.

Внутри лампы находится тонкая проволока, именуемая «нить накаливания», которая обычно изготавливается из вольфрама. Один кончик этой спирали подключен к нижнему контакту металлического цоколя, другой – к резьбовой поверхности цоколя, причем между нижним контактом и резьбой цоколя проложен изолятор. Провод обладает сопротивлением, поэтому нагревается. На воздухе вольфрамовая спираль раскалилась бы настолько, что просто сгорела бы, но внутри лампочки вакуум, поэтому раскаленная нить накаливания хорошо светится.

В типичном фонарике – две батарейки с последовательным соединением. Общее напряжение составляет три вольта. Сопротивление типичной лампочки из карманного фонарика – четыре ома. Следовательно, чтобы узнать силу тока в такой лампочке, делим три вольта на четыре ома и получаем 0,75 ампера, или 750 миллиампер. Таким образом, каждую секунду через лампочку пролетает 4 680 000 000 000 000 000 электронов.

Краткая проверка на практике: если попытаться измерить сопротивление лампочки карманного фонарика при помощи омметра, результат получится гораздо ниже четырех омов. Сопротивление вольфрама зависит от температуры, и по ме-

⁹ В России разработкой ламп накаливания занимался физик Александр Николаевич Лодыгин. *Прим. науч. ред.*

ре нагревания лампочки оно возрастает.

Вероятно, вы знаете, что на бытовых лампочках пишут, сколько в них ватт. Эта единица названа в честь Джеймса Уатта (1736–1819), прославившегося своей работой над паровым двигателем. Ватт – это единица мощности (P), которая вычисляется по формуле:

$$P = E \times I.$$

Показатели нашего фонарика – три вольта и 0,75 ампера, то есть мы имеем дело с лампочкой мощностью 2,25 ватта.

Возможно, у вас в комнате горит стоваттная лампочка, которая рассчитана на бытовое напряжение 120 вольт. Следовательно, сила тока, идущего через такую лампочку, равна 100 ватт разделить на 120 вольт, то есть примерно 0,83 ампера. Таким образом, сопротивление стоваттной лампы накаливания равно 120 вольт разделить на 0,83 ампера – примерно 144 ома.

Кажется, мы проанализировали все элементы фонарика: батарейки, провода, лампочку. Но забыли о самом важном!

Да, еще выключатель. От положения выключателя зависит, есть ли ток в электрической цепи. Когда ток идет, говорят, что фонарик *включен*, или *контур замкнут*. Когда фонарик *выключен* (*контур разомкнут*), ток идти не может. Таким образом, провод и дверь в некотором смысле противоположны: когда дверь закрыта (замкнута), через нее нельзя пройти, а в случае с проводом всё наоборот.

Выключатель либо включен, либо выключен, ток или

идет, или нет, лампочка или светится, или не светится. Подобно двоичным кодам, изобретенным Морзе и Брайлем, обычный фонарик может быть лишь в двух состояниях: включен либо выключен. Промежуточных состояний не существует. Понимание сходства между двоичными кодами и простыми электрическими цепями нам еще пригодится.

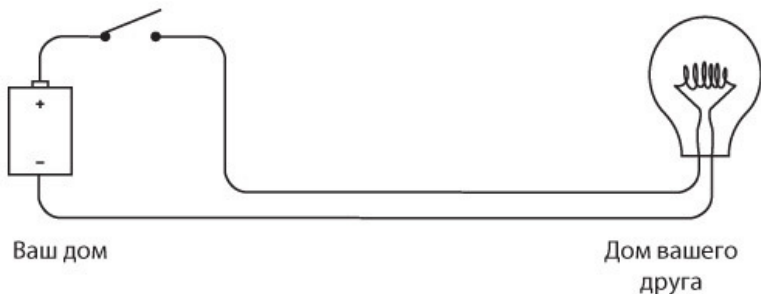
Глава 5. Заглядывая за угол

Вам двенадцать. Наступает ужасный день: семья вашего лучшего друга переезжает в другой город. Вы время от времени перезваниваетесь, но разве сравнишь беседы по телефону с полуночными посиделками, когда вы, вооружившись фонариками, сигнализировали друг другу азбукой Морзе! В итоге вы близко сходитесь еще с одним другом, живущим по соседству. Теперь надо обучить его азбуке Морзе, чтобы общаться за полночь, обмениваясь фонарными вспышками.

Проблема в том, что окно вашей спальни и окно спальни нового друга не обращены друг к другу. Дома стоят на одной улице, но окна смотрят в одну и ту же сторону. Если на улице не получится каким-то образом установить систему зеркал, азбукой Морзе через окно не пообщаешься.

Или все же пообщаешься?

Вероятно, к тому моменту вы уже что-то узнали об электричестве, так что решаете собрать собственные фонарики из батареек, лампочек, выключателей и проводов. Первым делом вы прямо в спальне соединяете батарейки и выключатель. Два провода тянутся из окна через забор в спальню вашего друга, где он подключает их к лампочке.



Я показываю всего одну батарейку, но вы можете пользоваться двумя. Здесь и далее на схемах так будет обозначаться выключенный (разомкнутый) переключатель.



А так – включенный (замкнутый).



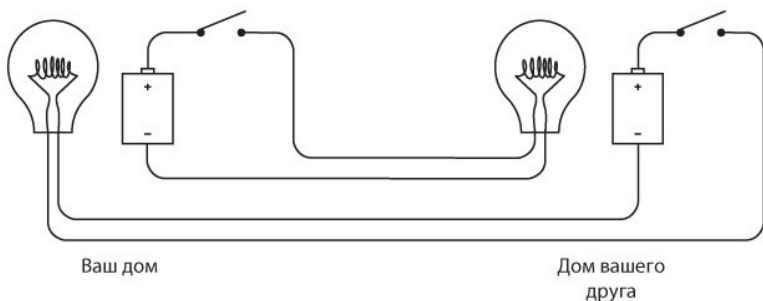
Фонарик в этой главе работает по тому же принципу, что и в предыдущей, но провода, подключаемые к элементам схемы, немного длиннее. Когда вы замыкаете цепь, лампочка

зажигается в комнате вашего друга.



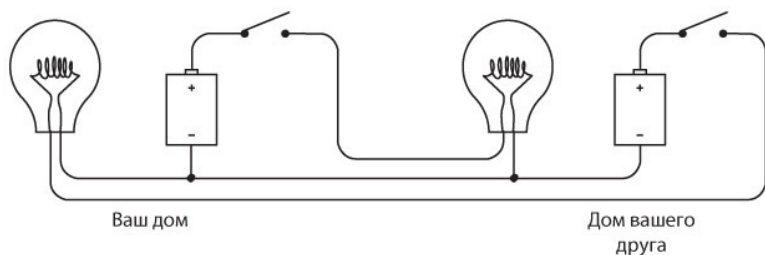
Теперь вы можете обмениваться сообщениями при помощи азбуки Морзе.

У вас получился один «дальнобойный» фонарик; значит, можно подключить второй, которым будет пользоваться ваш друг.



Поздравляем! Вы только что соорудили двунаправленный телеграф. Как видите, здесь две одинаковые электрические цепи, которые совершенно не зависят друг от друга и нигде одна с другой не соединяются. Теоретически вы можете отправлять сообщение в момент, когда друг отправляет его вам (хотя это серьезная умственная нагрузка – отправлять и читать сообщения одновременно).

Возможно, вы догадаетесь, что длину проводов можно сократить на четверть, выстроив такую конфигурацию.

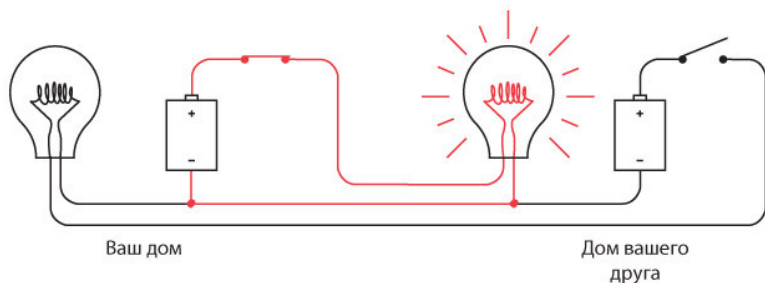


Обратите внимание: теперь мы соединили отрицательные клеммы двух батареек. Две кольцевые электрические цепи (от батарейки к выключателю, от выключателя к лампочке и от лампочки к батарейке) по-прежнему работают независимо друг от друга, хотя они и соединены, подобно сиамским близнецам.

Такое соединение называется «с общим проводом». В этой

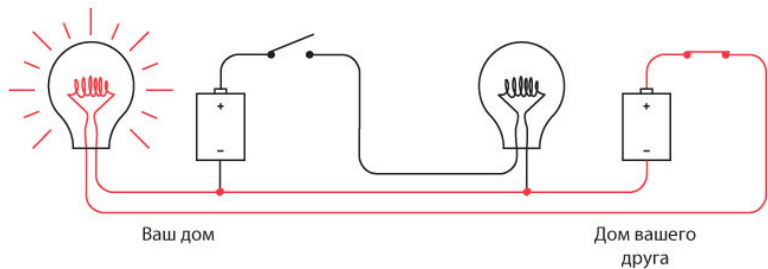
схеме общий провод проложен от левой оконечности, где соединены левая лампочка и батарейка, до правой, где соединены правая лампочка и батарейка. Эти подключения обозначены точками.

Давайте убедимся, что никаких фокусов тут нет. Во-первых, если нажать переключатель на вашей стороне, загорится лампочка дома у вашего друга. Красными линиями показано направление тока в электрической цепи.

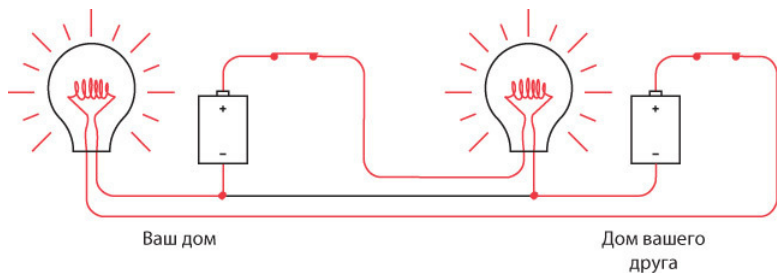


В другую часть схемы электричество не попадает: электронам туда попросту не добраться.

Когда сигнал отправляете не вы, а ваш друг, лампочка у вас в комнате зажигается и гаснет от выключателя, находящегося у него в спальне. Опять же, направление электричества в цепи показано красными линиями.



Когда вы одновременно с другом пытаетесь передать сигналы, в некоторые моменты оба переключателя выключены, в других случаях один включен, а второй выключен, в третьих – оба включены. Тогда направление тока в цепи выглядит так.



По общему проводу ток не идет.

Когда мы соединяем две цепи в одну при помощи общего провода, у нас остается три провода вместо четырех, и длина всей проводки уменьшается на 25 %.

Если бы нам пришлось протянуть провода на достаточно большое расстояние, возможно, мы захотели бы сэкономить и избавиться еще от одного провода. К сожалению, это невозможно при работе с 1,5-вольтными батарейками и маленькими лампочками. Однако если вооружиться стовольтными батареями и более крупными лампами, вероятно, все получится.

Вот какой фокус: как только вы оборудовали общую часть цепи, на этом отрезке уже необязательно использовать провод; его можно заменить чем-нибудь еще. Например, шаром диаметром 12 тысяч километров, состоящим из металла, камней, воды и органических веществ. Этот гигантский шар – планета Земля.

В прошлой главе, описывая хорошие проводники, я упоминал серебро, медь и золото, но ничего не сказал о гальке и перегное. Земля и правда не идеальный проводник, хотя некоторые виды грунта (например, влажная почва) проводят электричество лучше других (в частности, сухого песка). Существует одно общее правило, касающееся проводников: чем он больше, тем лучше. Очень толстый провод обеспечивает большую электропроводимость, чем очень тонкий. Вот в чем главное достоинство Земли: она огромная.

Чтобы задействовать Землю в качестве проводника, мало просто воткнуть провод в грядку с помидорами. Нужно устройство, которое обеспечит хороший контакт, – я имею в виду, что у проводника должна быть обширная поверхность.

В данном случае хорошо подойдет медный прут длиной хотя бы 2,5 метра и примерно 1,5 сантиметра в диаметре. Тогда мы получим площадь контакта проводника с землей, равную 1200 см^2 . Такой прут можно загнать в землю кувалдой, а затем подключить к нему провод. Если у вас дома проложены медные водопроводные трубы, выходящие из земли где-то за домом, провод можно подсоединить к подобной трубе.

Термин «*заземление*» немного неудачный, поскольку именно им обозначается и тот элемент цепи, который мы выше называли *общим проводом*. В этой главе (если не будет указано иное) «заземление» означает физическое соединение с грунтом.

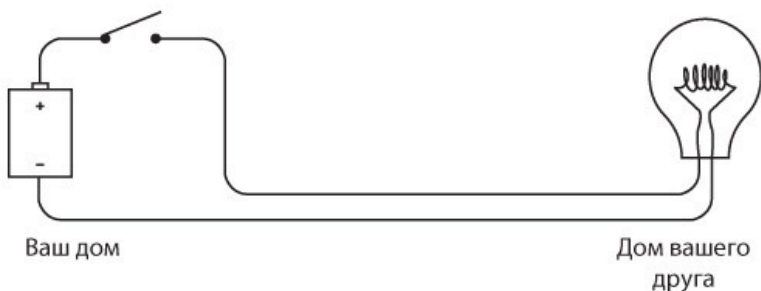
На схемах электрических цепей Земля обозначается так.



Электрики пользуются таким символом, потому что им лень рисовать саженный медный прут, закопанный в землю.

Рассмотрим, как все устроено. В начале главы была при-

ведена вот такая однонаправленная конфигурация.



Если работать с достаточно мощными лампочками и батарейками, между вашим домом и домом вашего друга потребуется протянуть всего один провод, ведь в качестве второго проводника будет использоваться Земля.



Когда вы включите систему, электричество потечет так.



Электроны попадают в дом вашего друга прямо из земли, проходят через лампочку и провод, через выключатель у вас дома, а затем отправляются на положительную клемму батареи. Электроны с отрицательной клеммы батареи идут в землю.

Возможно, вы также пожелаете изобразить электроны, вылетающие из саженного медного прута, закопанного на заднем дворе вашего друга.

Если учесть, что Земля в данном случае выполняет точно такую же функцию для тысяч электрических цепей по всему миру, возможен вопрос: откуда электроны знают, куда именно лететь? Разумеется, не знают. В данном случае удобнее описать Землю при помощи другой метафоры.

Да, Земля – огромный проводник, но ее можно рассматривать и как хранилище, и как источник электронов. *Земля полна электронами, как океан – каплями воды.* Земля – не только неисчерпаемый источник электронов, но и огромный «сток» для этих частиц.

Однако Земля обладает *некоторым* сопротивлением. Вот почему не применяется заземление, когда требуется укоротить провода при опытах с батареями и сигнальными лампочками. Сопротивление Земли просто слишком велико, если речь идет о работе с низковольтными батарейками.

Обратите внимание: на двух предыдущих схемах батарейка заземлена через отрицательную клемму.



Я больше не буду рисовать заземленную батарейку. Вместо этого стану писать заглавную букву V , которая означает напряжение. Теперь однонаправленный телеграф с лампоч-

кой выглядит так.



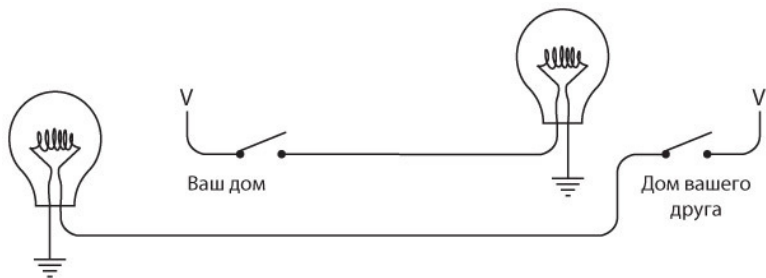
V означает «напряжение» и «вакуум». Считайте, что V – это электронный вакуум, а Земля – океан электронов. Электронный вакуум тянет электроны из Земли через электрическую цепь, тем временем совершая работу (например, зажигая лампочку).

Точка заземления иногда именуется *точкой с нулевым потенциалом*. Это значит, что в ней отсутствует напряжение. Как я уже рассказывал, напряжение – это потенциал для выполнения работы, и приводил пример с кирпичом, поднятым в воздух и обладающим потенциальной энергией. Нулевой потенциал будет у кирпича, лежащего на земле: оттуда некуда падать.

В главе 4 мы отметили, что электрические цепи закольцованы. Наша новая цепь совершенно не похожа на кольцо. Однако она все равно закольцована. Можно заменить V на батарейку, заземленную через отрицательную клемму, а за-

тем нарисовать провод между всеми точками, где стоит символ заземления. Получится такая же схема, как и приведенная в начале этой главы.

Итак, вооружившись парой медных штырей (или водопроводных труб), можно сконструировать двунаправленную систему для обмена кодом Морзе и при этом обойтись всего двумя проводами, которые будут протянуты через изгороди между вашим домом и домом вашего друга.



Функционально эта цепь не отличается от конфигурации, показанной выше, где через забор между двумя домами протянуты три провода.

Итак, мы рассмотрели важный этап в развитии телекоммуникаций. Ранее мы могли общаться при помощи азбуки Морзе, но только по прямой, в пределах видимости, и только на таком расстоянии, на какое добивает луч фонарика.

При помощи проводов мы изготовили систему, которая

позволяет не только общаться с другом «по кривой» (вне зоны прямой видимости), но и избавиться от ограничений, связанных с расстоянием между нами. Можно общаться с кем-то, до кого сотни и тысячи километров, – нужно лишь протянуть достаточно длинные провода.

Нет, в принципе, не совсем так. Пусть медь и очень хороший проводник, она неидеальна. Чем длиннее провода, тем выше их сопротивление. Чем выше сопротивление, тем слабее проходящий по ним ток, чем слабее ток – тем тусклее светит лампочка.

Итак, насколько длинные провода мы можем протянуть? Зависит от ситуации. Допустим, мы работаем с исходной двунаправленной конструкцией на четыре провода, без заземления и общего провода, используем батарейки от фонарика, а также лампочки. Можно для начала приобрести акустический кабель 20-го калибра. Такой кабель обычно применяется для подключения микрофона к стереосистеме. В нем два провода, так что он хорошо подойдет и для двунаправленного телеграфа. Если между вашей комнатой и комнатой друга меньше 15 метров, потребуется всего одна катушка провода.

Толщина провода измеряется по системе AWG (American Wire Gauge, американский калибр проводов)¹⁰. Чем мень-

¹⁰ В России толщина провода традиционно описывается через площадь сечения, которая измеряется в квадратных миллиметрах, либо через диаметр провода в миллиметрах. *Прим. науч. ред.*

ше калибр, тем толще провод, соответственно тем ниже его сопротивление. Диаметр провода 20-го калибра – около 0,8 миллиметра, а сопротивление – 10 омов на 300 метров либо один ом на удвоенное расстояние между комнатами.

Неплохо, но что делать, если бы мы протянули провод на полтора километра? Общее сопротивление такого провода составило бы более 100 омов. Как вы помните, сопротивление нашей лампочки составляло всего четыре ома. По закону Ома можно рассчитать, что сила тока, который потечет по такой цепи, составит уже не 0,75 ампера (три вольта, деленные на четыре ома), а менее 0,03 ампера (три вольта, деленные более чем на 100 омов). Наверняка лампочка от такого низкого тока не загорится. Хороший выход – взять провод потолще. Но это может выйти дороже. Провода 10-го калибра потребуется вдвое больше, поскольку он одножильный, толщина его составляет около 2,54 миллиметра, но сопротивление – всего около пяти омов на 1,6 километра. Другое решение – увеличить напряжение и взять лампочки с гораздо более высоким сопротивлением. Например, стоваттная лампочка, освещающая вашу комнату, рассчитана на работу в сети напряжением 120 вольт и имеет сопротивление около 144 омов. В таком случае сопротивление проводов в меньшей степени отразится на всей нашей схеме.

Именно с такими проблемами столкнулись инженеры, которые 150 лет назад прокладывали первые телеграфные системы между Америкой и Европой. Независимо от толщи-

ны проводов и уровня напряжения, телеграфный провод просто невозможно протянуть на неограниченное расстояние. Согласно имевшейся схеме, работоспособная система могла охватить максимум несколько сотен километров, что несравнимо меньше тех тысяч километров, которые пролегают между Нью-Йорком и Калифорнией.

Решить проблему удалось, отказавшись от лампочек и сконструировав простые «щелкающие» телеграфы прошлого века. Получилось простое и неброское устройство, на основе которого впоследствии были созданы полноценные компьютеры.

Глава 6. Телеграфы и реле

Сэмюэл Морзе родился в 1791 году в городе Чарльзтауне. Сейчас это северо-восточная часть Бостона. К моменту рождения Морзе минуло уже два года, как ратифицировали Конституцию США. Шел первый президентский срок Джорджа Вашингтона, в России правила Екатерина Великая. Людовик XVI и Мария-Антуанетта спустя два года будут обезглавлены во время Французской революции. В 1791 году Моцарт завершил свою последнюю оперу «Волшебная флейта» и в тот же год умер в возрасте 35 лет.

Морзе получил образование в Йеле и изучал искусство в Лондоне. Он стал успешным портретистом. Портрет генерала Лафайета (1825) кисти Морзе до сих пор экспонируется в Ратуше Нью-Йорка. В 1836 году Морзе баллотировался в мэры Нью-Йорка как независимый кандидат и получил 5,7 % голосов. Кроме того, он был одним из первых, кто всерьез увлекался фотографией. Морзе учился у самого Луи Дагера и сделал одни из первых дагеротипов в Америке. В 1840 году он обучил этому искусству 17-летнего Мэтью Брэди, который вместе с коллегами впоследствии создал один из самых запоминающихся снимков Гражданской войны в США, портреты Авраама Линкольна и Сэмюэла Морзе. Все это лишь ремарки к его разносторонней карьере. В наши дни Сэмюэл Морзе наиболее известен как изобретатель телегра-

фа и азбуки, названной в его честь.

Мгновенная связь в глобальных масштабах, к которой мы так привыкли, — относительно недавнее изобретение. В начале XIX века можно было общаться либо в реальном времени, либо дистанционно, но то и другое сразу было невозможно. Дистанция реального общения была ограничена силой голоса (никаких звукоусилителей не существовало) и зоркостью собеседника (правда, вас могли рассматривать в подзорную трубу). Общаться на больших расстояниях можно было по переписке; для доставки писем требовались время и транспорт: лошади, поезда или корабли.

За многие десятилетия до изобретения, сделанного Морзе, предпринимались многочисленные попытки ускорить дистанционную коммуникацию. Самые примитивные варианты были связаны с выстраиванием цепочек людей-передатчиков. Они стояли на холмах и размахивали флажками, пользуясь семафорной азбукой. Существовали и более сложные конструкции с руками-манипуляторами, которые, в сущности, выполняли те же функции, что и люди-семафоры.

Конец ознакомительного фрагмента.

Текст предоставлен ООО «ЛитРес».

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

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